

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA
Hornicko-geologická fakulta
Katedra environmentálního inženýrství**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ostrava 2018

Jiří Habr

VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA
HORNICKO-GEOLOGICKÁ FAKULTA
Katedra environmentálního inženýrství

**POROVNÁNÍ KLASICKÝCH METOD FYZIKÁLNĚ
TERMICKÉHO ZPRACOVÁNÍ
VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH OSTATNÍCH ODPADŮ**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Autor:

Jiří Habr

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová

Ostrava 2018

Zadání bakalářské práce

Student:

Jiří Habr

Studijní program:

B2102 Nerostné suroviny

Studijní obor:

3904R022 Zpracování a zneškodňování odpadů

Téma:

Porovnání klasických metod fyzikálně-termického zpracování
vysokomolekulárních ostatních odpadů
Comparison of classical methods of physico-thermal processing of
high-molecular waste

Jazyk vypracování:

čeština

Zásady pro vypracování:

1. Úvod
2. Dosavadní přehled o současných metodách likvidace vysokomolekulárních ostatních odpadů
3. Legislativní zajištění procesu
4. Seznámení s technologií ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů
5. Srovnání technologie ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů se stávajícími metodami
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

Kepák, F. Průmyslové odpady, 1.část. Ústí n. L. : UJEP. 2005. ISBN 80-7044-709-5.

Richter, M. Technologie ochrany životního prostředí, 3.část, Technologie zneškodňování odpadů, Ústí n. L. : UJEP, FŽP. 2008. ISBN 978-80-7414-042-6.

Pustějovská, P.; Kardas, E. Energetické využití odpadů s ohledem na životní prostředí. Ostrava : Amos Repro. 2014. ISBN 978-80-248-3384-2.

Kuraš, M. Odpady a jejich zpracování. Ekomonitor 2014, ISBN 978-80-862-8328-07.

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

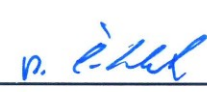
Vedoucí bakalářské práce: **doc. Dr. Ing. Radmila Kučerová**

Datum zadání: 31.10.2017

Datum odevzdání: 30.04.2018




doc. Ing. Vojtěch Václavík, Ph.D.
vedoucí institutu


doc. Ing. Jan Valíček, Ph.D.
děkan fakulty

Prohlášení autora bakalářské práce

Celou bakalářskou práci, včetně příloh, jsem vypracoval samostatně a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu. Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – využití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a využití díla školního a § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB – TUO) má právo nevýdělečně, ke své vnitřní potřebě, bakalářskou práci užit (§ 35 odst. 3).


Souhlasím s tím, že jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci umístěné v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.

Souhlasím s tím, že bakalářská práce je licencována pod Creative Commons Attribution-NonCommercial-ShareAlike 3.0 Unported licencí. Pro zobrazení kopie této licence je možno navštívit <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/3.0/>.

Bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu o komerční využití z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užit dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.

Bylo sjednáno, že užit své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu komerčnímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).

V Ostravě dne 28. 4. 2018.


.....
Jiří Habr

Poděkování

Mé upřímné poděkování patří vedoucí bakalářské práce doc. Dr. Ing. Radmile Kučerové, za příkladné vedení, trpělivost, pochopení a flexibilitu při zpracování této bakalářské práce. Zároveň bych chtěl poděkovat Ing. Stanislavu Štýsovi, DrSc., který mi poskytl cenné rady, materiály a informace a aktivně se podílel svým odborným dohledem na zpracovávání této práce.

V neposlední řadě bych chtěl vyjádřit svou úctu partnerce, která se ve velké míře podílela na vytvoření podmínek a podporovala mě při tvorbě mé bakalářské práce.

Anotace

Bakalářská práce je zaměřena na seznámení se s novým technologickým zařízením, které pyrolýzním zpracováním odpadů umožní snížit a energeticky zhodnotit širokou škálu odpadních materiálů, jako jsou pneumatiky, plasty, biomasa, směsi odpadů atd. Konečná pyrolýzní jednotka by měla být energeticky i ekonomicky soběstačná. V zahraničí je tato metoda patentována jako technologie Pyrotex. V ČR byl první funkční prototyp zprovozněn v roce 2003 pod názvem Pyrotronic, předmětem projektu byla pyrolýzní technologie Pyromatic, určená ke zpracování tříděného odpadu. Díky mnoha inovacím vznikla ve spolupráci s odborníky řady českých a zahraničních výzkumných institucí zcela nová koncepce pro recyklaci druhotných odpadních surovin, nazvaná jako jednotka ERVO Ekologická recyklace vysokomolekulárních odpadů. Recyklace odpadů touto technologií odpovídá přednostnímu umístění v hierarchii způsobů nakládání s odpady. Odpovídá všem optimálním tendencím environmentálního, sociálního a ekonomického rozvoje.

Klíčová slova: životní prostředí, recyklace odpadů, termická metoda, pyrolýza, polyetylen, polypropylen, pryžová pneumatika.

Annotation

The bachelor thesis is focused on acquainting with new technological equipment, which by pyrolysis waste processing can reduce and energetically evaluate a wide range of waste materials such as tires, plastics, biomass, mixtures of wastes etc. The final pyrolysis unit should be energetically and economically self-sufficient. Abroad, this method is patented as Pyrotex technology. In the Czech Republic, the first functional prototype was launched in 2003 under the name of Pyrotronic, the subject of Pyromatic pyrolysis technology was designed for the processing of sorted waste. Thanks to many innovations, a completely new concept for the recycling of secondary waste materials, called ERVO (Ecological Recycling of High-Molecular Waste), was created in cooperation with experts from a lot of Czech and foreign research institutions. Waste recycling by this technology corresponds to a preferential placement in the waste management hierarchy. It fits all optimal trends in environmental, social and economic development.

Keywords environment, waste recycling, thermal method, pyrolysis, polyethylene, polypropylene, rubber tire.

OBSAH:

1	ÚVOD.....	1
2	DOSAVADNÍ PŘEHLED O SOUČASNÝCH METODÁCH LIKVIDACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH OSTATNÍCH ODPADŮ.....	3
2.1	Vysokomolekulární ostatní odpady	3
2.1.1	Polyetylen	3
2.1.2	Polypropylen.....	4
2.1.3	Pryžové pneumatiky	5
2.2	Termické metody zneškodňování odpadů	6
2.2.1	Pyrolýza	7
2.3	Produkty termických procesů	13
2.3.1	Kapaliny.....	13
2.3.2	Plyny	13
2.3.3	Tuhé látky	14
3	LEGISLATIVNÍ ZAJIŠTĚNÍ PROCESU.....	15
3.1	Odpadové hospodářství.....	15
3.2	Stavební zákon.....	15
3.3	Posuzování vlivů na životní prostředí.....	16
3.3.1	Novela zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší	16
3.4	Perspektiva a pyrolýzní metody při zpracování opotřebovaných pneumatik	17
4	SEZNÁMENÍ S TECHNOLOGIÍ EKOLOGICKÉ RECYKLACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH ODPADŮ	18
4.1	Charakter záměru Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů	18
4.1.1	Stručný popis technologie.....	19
4.1.2	Pyrolýzní proces v reaktoru ERVO	19
4.1.3	Významné technické parametry modulu Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů	21
4.1.4	Produkty technologické jednotky Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů.....	22
4.2	Pyrolýzní jednotka PYROMATIC.....	23

4.2.1	Pyrolýza odpadů - moderní způsob jejich zneškodnění.....	23
4.2.2	Testované odpady – odpadní materiály	24
4.2.3	Výstupní produkty	27
4.2.4	Technologické zařízení	27
5	SROVNÁNÍ TECHNOLOGIE EKOLOGICKÉ RECYKLACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH ODPADŮ SE STÁVAJÍCÍMI METODAMI.....	29
5.1	Objem.....	29
5.2	Vstupy	30
5.3	Technologie	31
5.4	Výsledky porovnání technologií Pyromatic a ERVO.....	34
6	ZÁVĚR	35

Seznam použité literatury

Seznam použitých zkratk

Seznam obrázků

Seznam tabulek

1 ÚVOD

Životní prostředí se skládá z několika složek a každá z nich je stejně důležitá. Už dávno nežijeme v přírodě, která vznikla výhradně působením přírodních krajinotvorných procesů. Jako jediný krajinný typ vydržela pouze do neolitu, kdy se z člověka lovce stával zemědělec. Tehdy začala vznikat krajina kulturní, kterou člověk výrazně od základů přetvářel. Dokud byla zachována rovnováha mezi působením člověka a schopností ekosystému se s jeho působením vyrovnávat, bylo vše v pořádku.[36]

Spolu s celkovým rozvojem společnosti, se zdokonalováním technologií a se stále větším využíváním přírodních zdrojů, se postupně začala vytvářet nerovnováha mezi stupněm rozvoje společnosti a schopností ekosystému se s působením vlivů člověka sám vypořádat.

Akcelerace tohoto vývoje nastala v 19. století, kdy průmyslová revoluce zrychlila exploataci přírodních zdrojů bez ohledu na následky. Tento vývoj gradoval v 1. polovině 20. století, kdy v důsledku výrazných technických a technologických inovací výrazně vzrostla spotřeba. A zvolna se začala ukazovat rizika a omezení takového vývoje. Ukázalo se, že přírodní ekosystém není schopen se sám vypořádat s civilizačními vlivy a bude nutné, aby se člověk sám začal starat o důsledky své činnosti a napravovat je.

Jednou z důležitých oblastí, v níž se člověk snaží přispívat k omezení vlivů na ekosystém a životní prostředí, je oblast odpadů. Produkce odpadů soustavně narůstá v souvislosti s ekonomickým růstem, rozvojem průmyslové výroby, technologií a výrobní i konečné spotřeby. Vedle toho klesají celosvětové zásoby primárních surovin a společnost si čím dál, tím víc uvědomuje jejich omezenost a vyčerpatelnost.

Proto se stále více věnuje pozornost nejen co nejefektivnějšímu využívání primárních surovin, ale nabývá na důležitosti i otázka odpadů, jakožto finálního "produktu" spotřeby. Tradiční metody likvidace odpadů, zejména skládkování, se v současnosti jeví jako nejméně účelné a měly by být co nejrychleji opuštěny a měly by být používány pouze pro odpady, se kterými při současném stavu rozvoje technologií neumíme nakládat lépe.

Jak je vidět, je zcela nezbytné odvrátit se od prosté likvidace odpadů směrem na jejich využívání v daleko větší míře než dosud. Způsobů využívání odpadů je celá řada

a závisí především na druhu zpracovávaného odpadu. Účelem zpracování odpadů bývá vyrobít energii nebo jiné látky, snížit objem odpadu, snížit nebezpečnost, upravit odpad pro opětovné využití, zneškodnit v odpadech škodlivé látky apod. Jedním z důležitých faktorů nárůstu vzniku odpadů v posledních desetiletích je rovněž překotný růst užívání vysokomolekulárních látek ve všech oblastech. Bohužel většina těchto látek je velmi odolná vůči biodegradaci, takže vyvstává nutnost stále více se věnovat možnostem, jak odpady vzniklé z používání těchto látek dále zpracovávat a využívat.

Moderní metodou využívání odpadů v přírodě nerozložitelných plastových odpadů a pneumatik (perzistentní odpady) je mj. metoda pomalého pyrolýzního zpracování, která vede k využití jejich energetického potenciálu a k jejich zpracování efektivní recyklací.

Cílem mé bakalářské práce je popsat a vysvětlit novou moderní depolymerizační technologii ERVO (Ekologická recyklace vysokomolekulárních odpadů). Technologie "Zařízení pro výrobu aromatických uhlovodíků molekulární destrukcí a reformingem polymerů" byla 30.10.2017 patentována na Úřadu průmyslového vlastnictví jako Užité vzor.[6]

Zároveň ve své práci srovnávám výše uvedenou technologii ERVO s již provozovanou prototypovou poloprovozní jednotkou Pyromatic, která umí zpracovat tento druh druhotných odpadních surovin na suroviny, které jsou běžně využitelné na trhu.

Pyrolýzní zpracování zdokonalenou technologií je tedy aktuálním řešením a není jen technologickou předností, ale přímo společenskou nutností, neboť perzistentní odpady jsou již nyní nejen ekologickým, ale i společenským problémem na celém světě.

2 DOSAVADNÍ PŘEHLED O SOUČASNÝCH METODÁCH LIKVIDACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH OSTATNÍCH ODPADŮ

Když se pozorně rozhlédneme kolem sebe, zjistíme, že jsme doslova obklopeni plasty, které tvoří většinu věcí kolem nás. Bez plastů si nedokážeme představit současný život a mnozí lidé v nadsázce nazývají dnešní dobu dobou plastovou, podobně jak byla v minulosti třeba doba železná či bronzová. Plasty mají jistě velkou řadu předností a nacházejí uplatnění ve všech odvětvích lidské činnosti, jejich nespornou nevýhodou je však velmi dlouhá doba rozkladu v přírodě (desítky let ale i desetitisíce let).[7]

Vše začal v roce 1907 belgický chemik Leo Baekeland, když vyrobil první umělou hmotu na světě - bakelit. Plast se rychle rozšířil a již od 60. let lidé upozorňovali na jeho škodlivost. Dominance plastů by však měla pokračovat i nadále, navzdory rostoucím obavám z dopadu na životní prostředí. Hlavní problém spočívá v důkladné recyklaci. Zatímco Češi jsou schopni recyklovat 70 procent plastového odpadu, celosvětový průměr je pouhá sedmina.[2]

Výzva dnešní doby je směřována k likvidaci a recyklaci odpadů (plasty, pneumatiky, kaly), depolymerizaci polymerních druhotných surovin a k vývoji a výrobě technologického zařízení pro tyto účely.[12]

2.1 Vysokomolekulární ostatní odpady

Fyzikální i chemické vlastnosti vysokomolekulárních látek jsou závislé na jejich struktuře a na délce a vzájemném vztahu řetězců makromolekul.[1]

2.1.1 Polyetylen

Jedná se o semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou značně závislé na molekulové struktuře: tvaru makromolekul, jejich délce, prostorovém uspořádání metrů v řetězci a stupni krystalinity. Molekulová struktura polyetyleny je ovlivněna způsobem jeho výroby. Základními dvěma typy (podle tvaru makromolekul) je lineární, *vysokohustotní polyetylen* (PE-HD) a rozvětvený, *nízkohustotní polyetylen* (PE-LD) viz tabulka 1.[4]



Tabulka 1: Typické vlastnosti polyethylenu.[4]

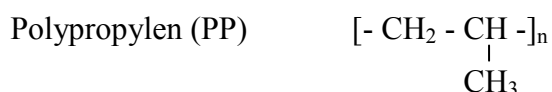
Polyetylen	Zkratka	Stupeň krystalinity [%]	Hustota [g/cm ³]	Teplota tání [°C]	Modul pružnosti [MPa]	Mez pevnosti [MPa]
Vysokohustotní polyetylen	PE-HD	65 + 90	0,940+0,960	130+135	700+1400	8 + 35
Nízkohustotní polyetylen	PE-LD	50 + 70	0,914+0,928	105+115	200+500	8 + 23

Polyetylen je nepolární a tedy nenavlhavý plast, který má výborné elektroizolační a dielektrické vlastnosti. Vzhledem k jeho nepolárnosti odolává za běžných podmínek polárním rozpouštědlům, vodě, kyselinám, zásadám a solím.

Polyetylen má hustotu menší než voda. Jeho pevnostní charakteristiky jsou nejnižší ze všech standardních termoplastů.[4]

2.1.2 Polypropylen

Jedná se o semikrystalický termoplast, jehož vlastnosti jsou značně závislé na indexu izotakticity (tabulka 2). Obchodní produkty polypropylenu obsahují vždy určitý podíl ataktické složky a teplota tání je na rozdíl od čistého izotaktického polypropylenu nižší, cca (160 ÷ 170) °C.[4]



Tabulka 2: Vlastnosti polypropylenu v závislosti na prostorovém uspořádání substituentů v makromolekule.[4]

Polypropylen	Hustota [g.cm ⁻³]	Teplota tání [°C]	Mez pevnosti [MPa]	Rozpustnost v uhlovodících při 23 °C
Izotaktický (čistý)	0,905+0,920	176	vysoká	nerozpustný
Syndiotaktický	0,890+0,910	135	střední	středně rozpustný
Ataktický (kašovitý stav)	0,850+0,900	nemá	velmi nízká	snadno rozpustný

2.1.3 Pryžové pneumatiky

Vymyslel je jistý skotský lékař John Dunlop, a to někdy kolem roku 1887 proto, aby se jeho synovi jezdilo pohodlněji na kole. Jeho vynález se dodnes v principu nezměnil.

Největším spotřebitelem pneumatik v současnosti je bezpochyby automobilový a letecký průmysl, tedy doprava. Ačkoli doprava (automobilová i letecká) je neustále kontrolována z pohledu emisí CO₂, tuny použitých pneumatik nechávají veřejnost chladnou.[20]

Rozvoj automobilismu přináší stále rostoucí problém související s nutností řešení problému nakládání s opotřebenými pneumatikami. Problém recyklace pneumatik je problémem celosvětovým. Jako příklad může sloužit Švédsko a jiné vyspělé země, kde se tímto problémem vážně začínali zabývat již počátkem 70. let 20. století. V USA je tento problém řešen již od počátku 60. let 20. století.[18]

Tabulka 3: Materiálové složení pneumatik.[24]

Materiál	Objem v %
Kaučuk / elastomer	45 – 48
Saze	22
Ocel	15 - 25
Textil	0 – 5
ZnO	1 – 1,2
Síra	1
Selen a Tellur	0 – 0,2
Další přísady*	6 - 8

*.....urychlovače, aktivátory, plniva, pigmenty, změkčovadla, antioxidanty aj.

Dosavadní praxe při zneškodňování těchto pneumatik (složení je uvedené v tabulce 3) šla cestou využití jako materiálu pro technické zabezpečení skládek, z hlediska energetického využití se pak jako nejúčelnější a nejefektivnější využití jevílo použití pneumatik v cementářském průmyslu jako paliva i jako stabilizátor vlastností vyráběného cementu. Dalším způsobem nakládání s opotřebenými pneumatikami je jejich použití

cestou regenerace při využití pryže – výroba protektorů a jiných výrobků s příměsí pryže.[18]

Zajímavou cestou řešení je pyrolytické zpracování opotřebovaných pneumatik, se kterým však jsou doposud malé zkušenosti. V laboratorních podmínkách různých pracovišť byly touto cestou získávány různé materiálové výstupy ve formě plyných a kapalných směsí, chemických individuí, která jsou za obvyklých okolností získávány, případně vyráběny z primárních a neobnovitelných přírodních zdrojů. Tato laboratorní šetření doznávají v současné době verifikace do podmínek trvalého provozního užívání.[18]

2.2 Termické metody zneškodňování odpadů

Zahrnují především jejich spalování, dále pyrolýzu, různé systémy zplyňování nebo zkapalňování odpadů, případně mokrou oxidaci.[18] Srovnání parametrů - podmínek a produktů při pyrolýze a spalování je uvedeno v tabulce 4.

Základními cíli a výhodami termických metod jsou:

- energetické využití odpadních materiálů pro přípravu teplé užitkové vody (TUV), vytápění, výrobu elektřiny nebo pro technologické účely;
- produkce kapalných nebo plyných paliv;
- snížení objemu odpadů cca na desetinu původního objemu, úspora skládkování prostoru a prodloužení životnosti skládek;
- pokles emisí oxidovatelných plynů do atmosféry;
- nezvýší se absolutní množství CO₂ emitovaného do atmosféry;
- řízené spalování a vícestupňové čištění spalin s kontinuálním monitorováním obsahu znečišťujících látek snižuje počet a celkové množství škodlivin emitovaných do atmosféry;
- inertizace zbytkového nespalitelného podílu;
- odstranění většiny nebezpečných vlastností odpadů;
- vitrifikace sloučenin těžkých kovů do škváry formou ve vodě omezeně rozpustných sloučenin.[30]

Termickými procesy se odstraní většina nebezpečných vlastností odpadů:

- hořlavost;
- oxidační schopnost;
- emise těkavých organických sloučenin do ovzduší;
- výbušnost;
- infekčnost;
- karcinogenní, teratogenní a mutagenní sloučeniny se chemicky přemění v látky méně nebezpečné nebo v látky zcela neškodné – inertní;
- mineralizace s vitifikací potlačí vyluhovatelnost nebezpečných složek (sloučenin těžkých kovů) ze škváry a popílků.[30]

Tabulka 4: Srovnání parametrů – podmínek a produktů při pyrolýze a spalování.[30]

Parametry	Pyrolýza	Spalování
Princip procesu	tepelný rozklad	oxidace, reakce s kyslíkem
Podmínky	redukční	oxidační
Teplota [°C]	500 - 1000	800 – 1500
Převládající reakce	endotermní	exotermní
Produkty - odpady	pyrolýzní koks H ₂ S, NH ₃ , CO, CO ₂ CH ₄ a další pevné uhlovodíky	škvára, popílek H ₂ O, CO ₂ , SO ₂ , SO ₃ , NO _x

K procesu rozkladu neboli destrukci, depolymeraci (depolymerizaci) polymerů dochází v nízkotlakém hermeticky uzavřeném prostředí při teplotách do 600 °C bez kontaktu s atmosférickým vzduchem. Často, z historického důvodu, se používá slovo "pyrolýza".[12]

2.2.1 Pyrolýza

Původ slova pyrolýza je z řeckého pyr (pyros) = oheň a lysis = uvolňovat.[26]

Pyrolýza (nebo též odplynění) představuje tepelný rozklad organických materiálů za nepřístupu zplyňovacích médií, jako jsou kyslík, vzduch, oxid uhličitý, vodní pára.[19] Jednotlivé fáze odplynovacího systému jsou uvedené v tabulce 5.

Tabulka 5: Pyrolýza – fáze odplyňovacího procesu.[3]

Teplota	Chemická reakce
100–200 °C	Termické sušení, fyzikální odštěpení vody.
250 °C	Deoxidace, desulfurace, odštěpení vázané vody a CO ₂ , depolymerace, začátek odštěpování H ₂ S.
340 °C	Štěpení alifatických uhlovodíků, vznik metanu a jiných alifatických uhlovodíků.
380 °C	Karbonizační fáze.
400 °C	Štěpení vazeb uhlík-kyslík, uhlík-dusík.
400-600 °C	Přeměna bitumenových složek na pyrolýzní olej a dehet.
600 °C	Krakování za vzniku plynných uhlovodíků s krátkým uhlíkovým řetězcem, vznik aromátů.
nad 600 °C	Dimerizace etyleny na buten, dehydrogenace na butadien, dienová reakce s etylenem na cyklohexan, termická aromatizace na benzen a výševroucí aromáty.

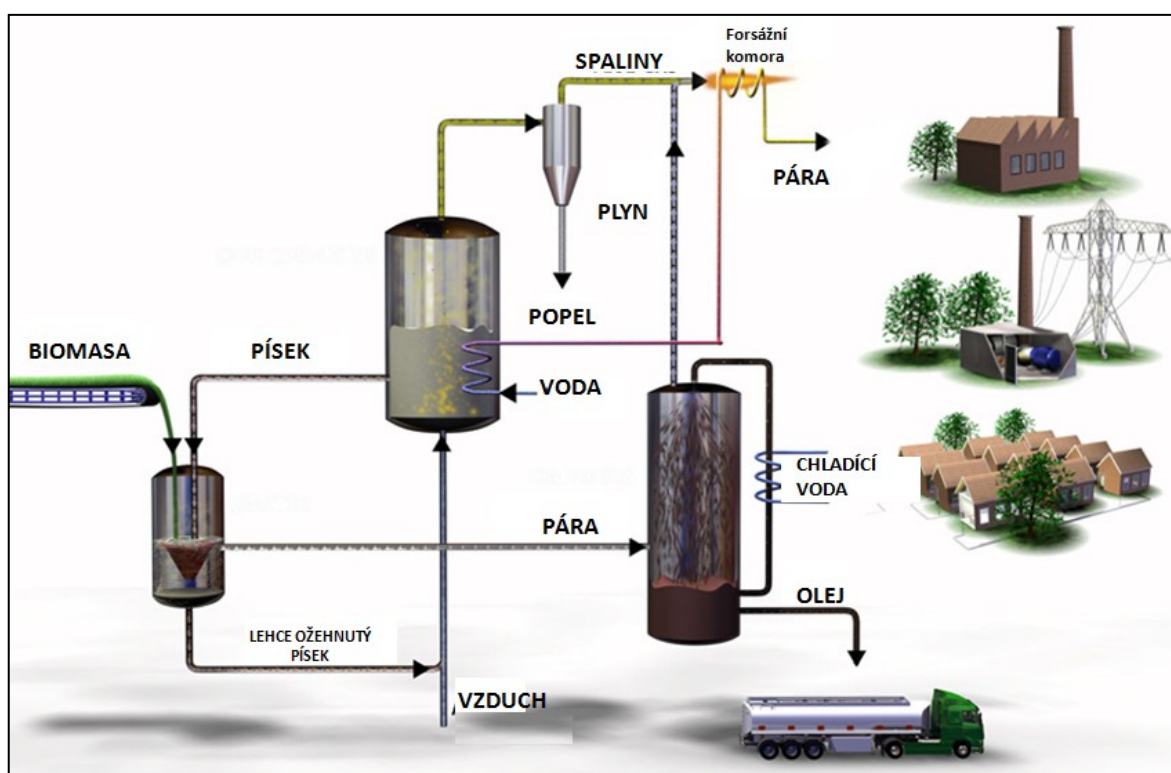
Historie využití pyrolýzy

Průmyslově je pyrolýza využívána již od 19. století k výrobě olejů a parafinů. Zásadního rozvoje se tato technologie dočkala v první polovině 20. století. Německo během 2. světové války vyrábělo pomocí pyrolýzy pohonné hmoty z uhlí. Závod na výrobu pohonných hmot se nacházel i u nás v Záluží u Litvínova, kde bylo tímto způsobem zpracovávalo hnědé uhlí.[26]

Počátkem 60. let minulého století se začala prosazovat k výrobě paliva ropa a její rafinace. Pyrolýza tak byla na několik desetiletí upozaděna. V posledních dvou dekádách zažívá tato technologie částečnou renesanci, dochází totiž k celosvětovým snahám o snižování využívání fosilních paliv k získávání energie. Jednou z alternativ k fosilním palivům je pyrolýzní zpracování odpadů a biomasy, tedy energetické využití těchto surovin.[26]

Technologie pyrolýzy ve světě

Pyrolýzní technologie jsou používány na mnoha místech po celém světě. Jednou z příkladů praktické aplikace pyrolýzní technologie je projekt společnosti BTG (Biomass Technology Group). Technologie BTG (obrázek 1) je založena na principu rychlé pyrolýzy, jejím účelem je získání maximálního množství bio-oleje z biomasy. Zhruba 60 - 70 % ze vstupních surovin je přeměněno na bio-olej. Základem procesu výroby bio-oleje pomocí této technologie je kuželový reaktor, vyvinutý Univerzitou v Twente. Pro zahřívání biomasy v reaktoru je využíváno horkého písku jako teplosměnného média.[26]



Obrázek 1: Schéma technologie BTG na výrobu biooleje z biomasy.[26]

Pyrolytickou technologií společnosti BTG lze zpracovat různé druhy biomasy jako jsou například dřevo, sláma, energetické plodiny apod.[26]

Dvě pilotní jednotky tohoto typu jsou v provozu v Holandsku. Menší jednotka zpracovává 2 - 3 kg biomasy za hodinu a používá se na testování různých druhů vstupů. Druhá, větší jednotka, která je v provozu, dokáže zpracovat až 200 kg biomasy za hodinu. Společnost WPP Energy vyvinula technologii umožňující pyrolyticky zpracovávat

až 90 tun komunálního odpadu denně s předpokládanou výhřevností zpracovávaného odpadu 8,4 MJ/kg a vlhkostí 40 %.[26]

Další technologií je technologie S-B-V (Schwel-Brenn-Verfahren), jejíž realizace byla provedena na testovací jednotce v Ulm-Weiblingenu na základě patentu společnosti Siemens – KWU už v roce 1988.[26]

Za dalších deset let byla uvedena do provozu jednotka v německém Fürthu. V rotačních pyrolýzních pecích je zpracováván rozdrčený směsný odpad spolu s čistírenským kalem, tato směs je zahřívána na 450 °C. Zařízení má plánovanou kapacitu 100 000 tun odpadu a dokáže z jedné tuny odpadu vyrobit 1,05 MWh energie.[26]

Současné využití pyrolýzy

Alternativou spalovacích zařízení je v současné době pyrolýza, která se pro odstraňování odpadů považuje za velice perspektivní technologii. Pyrolýza (nebo též odplynění) představuje tepelný rozklad organických materiálů za nepřístupu zplyňovacích médií, jako jsou kyslík, vzduch, oxid uhličitý, vodní pára. Probíhá tak, že v oblasti teplot 150 až 900 °C se uvolní těkavé látky a vysokomolekulární organické látky se rozloží na nízkomolekulární a molekuly s dlouhými řetězci se rozštěpí na kratší.[19]

Podle použité teploty se rozlišuje:

- nízkoteplotní pyrolýza (reakční teploty pod 500 °C);
- středněteplotní pyrolýza (reakční teploty 500 – 800 °C);
- vysokoteplotní pyrolýza (reakční teploty nad 800 °C).[19]

Principy pyrolýzy odpadů

Organické sloučeniny se při vyšších teplotách stávají méně stabilními a rozpadají se na jednoduché těkavé produkty a koks. Rozklad organických látek probíhá odštěpením malých molekul z původních makromolekul. Chemické reakce při pyrolýze závisí na chemickém složení výchozího materiálu, obsahu vlhkosti, pyrolýzní teplotě a reakční době. Se zvyšující se teplotou a délkou reakční doby dochází ke vzniku stabilnějších produktů.[19]

V oblasti teplot do 200 °C dochází k termickému sušení a tvorbě vodní páry, fyzikálnímu odštěpení vody; tyto procesy jsou silně endotermické. V rozmezí teplot 200 až

500 °C je oblast suché destilace. Zde nastává ve značné míře odštěpení pobočných řetězců z vysokomolekulárních organických látek a přeměna makromolekulárních struktur na plynné a kapalné organické produkty a pevný uhlík. Ve fázi tvorby plynu v oblasti teplot 500 až 1 200 °C jsou produkty vzniklé suchou destilací dále rozštěpeny a transformovány. Přitom jak z pevného uhlíku, tak i z kapalných organických látek vznikají stabilní plyny, jako jsou H₂, CO, CO₂ a CH₄. [19]

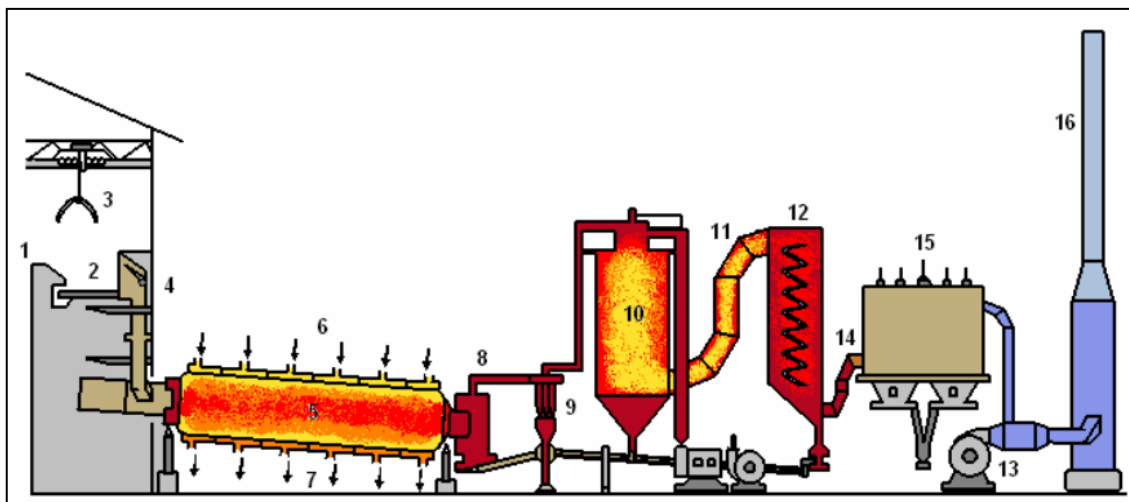
Materiály nevhodné pro pyrolýzu

- toxický odpad;
- inertní materiál;
- sklo;
- kovové předměty. [25]

Pyrolýzní technologie

Pyrolýza je vhodná pro odpady s neměnným složením. Neosvědčila se pro směsné odpady průmyslové. Odpady se zpravidla pyrolyzují v rotační peci vytápěné zevně spaliny. Vlastní pyrolýzní proces (obrázek 2) probíhá bez přístupu vzduchu při teplotách 500 až 550 °C v pyrolýzní komoře, vzniklé plyny se spalují ve druhém stupni, v termoreaktoru. Termoreaktor je vybaven přídatným hořákem pro udržení požadované teploty (v rozmezí 900 až 1 300 °C). Pyrolýzní jednotka je vhodná pro šaržovitý provoz pro odpad, který nemá příliš vysoký obsah škodlivin a nemá tendenci ke spékání. Výkon těchto jednotek je maximálně 2,5 tuny odpadu za hodinu. [19]

Dosavadní laboratorní a poloprovozní zkoušky ukázaly, že pyrolýza je nákladnější než spalování a jsou problémy zejména s odstraňováním pevných materiálů (pyrolýzní koks) a kapalných uhlovodíků vznikajících při pyrolýze. Na druhé straně při pyrolýze činí menší potíže zneškodňování plynných emisí. Pyrolýzou lze kromě pevného odpadu zpracovávat kaly a podobné polotekuté odpady, včetně nebezpečných odpadů. [19]



Obrázek 2: Schéma pyrolýzní jednotky.[5]

Legenda k obrázku: 1 – svoz odpadu do bunkru, 2 – násypka, 3 – drapák suroviny, 4 – vstup vápna, 5 – rotační pyrolýzní pec, 6 – vstup otopových spalin, 7 – odtah otopových spalin, 8 – vynášecí komora, 9 – cyklon, 10 – spalovací komora, 11 – vstup spalin do kotle, 12 – kotel na odpadní teplo, 13 – spalinový ventilátor, 14 – sekundární vstup vápna, 15 – tkaninový filtr, 16 – komín.

Recyklace pneumatik zkapaňováním

Tento proces je ve vývoji. Uskutečňuje se při atmosférickém tlaku a teplotě 400 °C. Jako kapalně topné médium lze využít libovolné levné oleje, zbytky těžkého oleje nebo použitý motorový olej.

Předehřátý olej zbavený vody je přečerpán do reaktoru, do kterého se přidávají staré rozřezané pneumatiky „oplachované“ dusíkem. Reaktor se uzavře a olej přes síto a vyhřívací zařízení cirkuluje tak, aby se teplota v reaktoru udržovala na 400 °C. Během reakce se uvolňuje plyn bohatý na uhlovodíky. Plyn se odebírá a po ochlazení se získá frakce lehkých kapalných uhlovodíků a nekondenzovaný plyn. Kondenzát se označuje jako lehký olej z pneumatik. Nezkondenzovatelný podíl má také vysoký energetický obsah a může být použit jako palivo pro topná zařízení. Po uplynutí potřebné reakční doby se olej označovaný jako těžký odčerpá z reaktoru. Ocelový materiál z výztužného pásu pneumatiky zůstane na roštu. Šnekovým zařízením se kousky ocelového kordu transportují do pece, kde z něj vzniká recyklovatelný kovový produkt, uhlíková hmota, další hořlavý plyn a lehký olej. Provozní náklady tohoto provozu jsou však zatím neúměrně vysoké.[22]

2.3 Produkty termických procesů

Zařízení pro termické odstraňování odpadů sice přinášejí celou řadu příznivých aspektů do oblasti nakládání s odpady, přesto však jejich použití není zcela bez negativních vlivů na prostředí, jež vyplývají především z nutnosti ošetřit produkty spalovacích procesů.[12]

Existuje několik faktorů, které významně ovlivňují složení a množství produktů:

- chemické složení, obsah vody a velikost částic vstupního materiálu;
- provozní podmínky (teplota odplynění, doba ohřevu, doba zdržení, tlak);
- plynná atmosféra, katalytické účinky přítomných látek;
- typ reaktoru, ve kterém probíhá reakce.[3]

2.3.1 Kapaliny

Kapalný podíl se skládá mimo biooleje z několika frakcí: těžký a lehký dehet, střední olej, karbonizační benzin nebo pyrolýzní voda. Těžký dehet obsahuje velké množství popelovin a uhelného prachu. Jeho část může být využita jako palivo pro ohřev reaktoru. Pyrolýzní olej (bioolej) je směsí několika stovek látek. Mezi významné patří fenolové sloučeniny, organické kyseliny, furfural a jeho deriváty aj. Hlavní využití biooleje je jeho spalování a přeměna v tepelnou nebo elektrickou energii, např. v kogeneračních jednotkách.[21]

Kapalná frakce obsahuje až 70 % aromatických uhlovodíků a cca 28 % fenolů a v karbonizačním benzínu je až 90 % uhlovodíků (obrázek 3).

Využití: do zpracovatelského průmyslu nebo pro jiné komerční využití.[12]

Kapaliny: organické látky, např.: kyselina octová, aceton, metanol.[27]

2.3.2 Plyny

Složení pyrolýzního plynu se odvíjí především od vlastností pyrolyzovaného materiálu a teploty pyrolýzy. Pyrolýzní plyn je ve většině případů využíván k ohřevu pyrolýzních reaktorů.[21]

Využití: po mechanickém vyčištění a vysušení se dá použít jako vysoce kalorické palivo. Část lze použít na provoz vlastního zařízení a část lze nabídnout na prodej nebo nasměrovat plyn na kogenerační jednotku pro výrobu elektřiny a tepla.[12]

Plyny: vodík, metan, oxid uhelnatý, oxid uhličitý.[27]

2.3.3 Tuhé látky

S rostoucí teplotou procesu klesá výtěžek polokoksu (se současně rostoucím obsahem popela v polokoksu) a roste výtěžek prchavých látek. S rostoucí dobou zdržení klesá výtěžek kapalných produktů, a to z důvodu probíhajících sekundárních reakcí (termické krakování, polymerizace, kondenzace). Polokoks je velmi reaktivní a čerstvě vyrobený má sklon k samovznícení.[21]

Pevný zbytek – uhlíkový, ze kterého lze vyrobit saze nebo aktivní uhlí (obrázek 3).

Využití: jako technické saze na výrobu gumárenských směsí, mohou být nabídnuty výrobcům pneumatik. Aktivní uhlí, které lze ze sazí vyrobit, se běžně používá jako produkt k likvidaci ekologických havárií na vodní ploše nebo při autonehodách, v chemickém průmyslu, má ale řadu dalších uplatnění.[12]

Tuhé odpady: koks; skládají se z uhlíku a inertních látek. [27]



Obrázek 3: Pevný zbytek a kapalný produkt termických procesů.[12]

3 LEGISLATIVNÍ ZAJIŠTĚNÍ PROCESU

Právní předpisy vztahující se k problematice výstavby a provozu výzkumně-průmyslového zařízení pro depolymerizaci plastových odpadů.

3.1 Odpadové hospodářství

Odpadovým hospodářstvím se rozumí činnosti: předcházení vzniku odpadů, nakládání s odpady, následná péče o místo, kde jsou odpady trvale uloženy a kontrola. Odpadové hospodářství je dynamicky se rozvíjející oblastí národního hospodářství. Průmyslově a ekonomicky vyspělé země se začaly odpadovým hospodářstvím intenzivně zabývat v 80. letech minulého století. V České republice vznikl první zákon o odpadech v roce 1991. V současnosti nakládání s odpady upravuje zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. Zákon stanovuje práva a povinnosti osobám v oblasti odpadového hospodářství, klade důraz na předcházení vzniku odpadů, stanoví hierarchii nakládání s nimi a prosazuje základní principy ochrany životního prostředí a zdraví lidí při nakládání s odpady.[33]

3.2 Stavební zákon

Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu upravuje:

- ve věcech územního plánování zejména cíle a úkoly územního plánování, soustavu orgánů územního plánování, nástroje územního plánování, vyhodnocování vlivů na udržitelný rozvoj území, rozhodování v území, možnosti sloučení postupů podle tohoto zákona s postupy posuzování vlivů záměrů na životní prostředí, podmínky pro výstavbu, rozvoj území a pro přípravu veřejné infrastruktury, evidenci územně plánovací činnosti a kvalifikační požadavky pro územně plánovací činnost;
- ve věcech stavebního řádu zejména povolování staveb a jejich změn, terénních úprav a zařízení, užívání a odstraňování staveb, dohled a zvláštní pravomoci stavebních úřadů, postavení a oprávnění autorizovaných inspektorů, soustavu stavebních úřadů, povinnosti a odpovědnost osob při přípravě a provádění staveb;
- podmínky pro projektovou činnost a provádění staveb, obecné požadavky na výstavbu, účely vyvlastnění, vstupy na pozemky a do staveb, ochranu veřejných zájmů a některé další věci související s předmětem této právní úpravy.[32]

3.3 Posuzování vlivů na životní prostředí

Informační systém EIA České republiky dle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, je určen pro potřeby úřadů vykonávajících funkci příslušného úřadu dle zákona o posuzování vlivů na životní prostředí. Slouží k vedení evidence posuzovaných záměrů a ke zveřejňování dokumentů souvisejících s procesem posuzování vlivů na životní prostředí tak, jak ukládá zákon o posuzování vlivů na životní prostředí.[31]

Novela stavebního zákona a zákona o EIA č. 225/2017 Sb.

Dne 1. ledna 2018 nabyl účinnosti dlouho očekávaný zákon č. 225/2017 Sb., který novelizoval stavební zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) a dalších 43 souvisejících zákonů. Současně s novelou stavebního zákona byla přijata tzv. “transpoziční” novela zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (tj. Zákon č. 326/2017 Sb.), který by mohl mít další pozitivní dopad na délku a složitost povolovacích procesů v České republice.

Mezi nejvýznamnější změny vyplývající z tzv. “transpoziční novely” patří úprava podlimitních záměrů, tj. těch, ke kterým se vždy musí provádět tzv. “velká EIA” nebo alespoň zjišťovací řízení. Podle dosavadní úpravy musí každý podlimitní projekt získat stanovisko příslušného odboru životního prostředí k tomu, zda nevyžaduje provedení zjišťovacího řízení za účelem vyloučení negativního vlivu na životní prostředí. Protože se v praxi osvědčilo, že podlimitní záměry zpravidla nemají negativní vliv na životní prostředí, tak transpoziční novela odstranila v určitých případech administrativu spojenou s vydáváním těchto podlimitních stanovisek.[37]

3.3.1 Novela zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Dne 14. listopadu 2016 vyšla v pořadí již čtvrtá novela zákona o ochraně ovzduší. Jedná se o zákon č. 369/2016 Sb., kterým se mění zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů, a zákona č. 634/2004 Sb., o správních poplatcích, ve znění pozdějších předpisů. Novela je platná od 1. ledna 2017.[23]

3.4 Perspektiva a pyrolýzní metody při zpracování opotřebených pneumatik

Nakládání s opotřebenými pneumatikami v současné době v rámci zemí EU není upraveno samostatným právním předpisem. Dílčí problémy nakládání s tímto materiálem řeší některé směrnice EU a další významné dokumenty. Je zde konstatováno, že by neměly být ukládány na skládkách a i pro spalování, z důvodu využití chemické energie tepelným procesem, by mělo mít své omezení.

Evropa čím dále více pociťuje absenci regulativu, který by řešil nakládání s opotřebenými pneumatikami cestou materiálového využití netradičními způsoby.

Způsob odstraňování odpadů, mezi které patří i opotřebené pneumatiky, řeší tři směrnice EU:

- Směrnice Rady 99/31/ES z 26. 4. 1999 o skládkování odpadů. Směrnice má za cíl předcházet, nebo maximálně omezit negativní dopady skládek na povrchové vody, podzemní vody, půdu, ovzduší a lidské zdraví. Tohoto cíle dosahuje zaváděním přísných technických požadavků.[15]
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2000/53/ES z 18. 9. 2000 o vozidlech s ukončenou životností (autovraky). Cílem této směrnice je stanovit opatření, která mají zabránit a omezit odpad z vozidel s ukončenou životností a jejich součástí a zajišťuje, že je pokud možno opětovně používán, recyklován nebo využíván.[16]
- Směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2000/76/ES ze dne 4. 12. 2000 o spalování odpadů. Cílem této směrnice je předcházet negativním účinkům spalování a spoluspalování odpadu na životní prostředí, zejména znečištění ovzduší, půdy a vod povrchových i podzemních, a z toho vyplývající ohrožení lidského zdraví, nebo tyto účinky podle možností omezit.[17]

Právní úprava v ČR zohlednila nutnost nakládání s pneumatikami jako součást „autovrakové“ novely zákona č. 185/2001 Sb. a zavedla zároveň povinnost zpětného odběru některých výrobků, mj. i pneumatik (vyhl. MŽP č. 237/2002 Sb. ve znění vyhl. č. 353/2005 Sb.).

4 SEZNÁMENÍ S TECHNOLOGIÍ EKOLOGICKÉ RECYKLACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH ODPADŮ

Jedná se o výstavbu malokapacitního „laboratorního“ zařízení za účelem ověření výstupů v českých akreditovaných laboratořích, resp. získání nezbytných podkladů pro následné vyhodnocení vlivů na životní prostředí v procesu EIA a po stavebním povolení. Předpoklad pro denní kapacitu zkušebního zařízení je 5 tun zpracovaných odpadů (pneumatiky). Jedním z výrobků je pyrolýzní plyn, který bude využíván pro pohon vlastní jednotky, dále pevná složka v podobě uhlíku a oceli, odpadní voda žádná nevzniká.[11]

4.1 Charakter záměru Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů

Předkládaný záměr je „Zařízení k odstraňování nebo využívání ostatních odpadů spalováním nebo fyzikálně chemickou úpravou s kapacitou nad 100 tun/den, kategorie I přílohy č. 1 k zákonu č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí.[11]

Výrobní kapacita předmětného modulu Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů je dle charakteru recyklované suroviny 5 až 20 tun/den. Během této ověřovací etapy bude spalováno 5 tun odpadů za 24 hodin. Předmětná malokapacitní zařízení jako jednotka určená ke zkoušení nových procesů podle znění § 2 písm. e) zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší se nejedná o stacionární zdroj znečišťování ovzduší.[11]

Původ technologie ERVO pochází ze syntézy pyrolytických a také petrochemických technologií. Než tato technologie dospěla do současného stavu, bylo nutné analyzovat materiály specialistů z celého světa (mezi nejdůležitější patří: USA, Japonsko, Německo, Ukrajina, Indie, Rusko, Súdán). Zdokonalení a vývoj technologie ERVO 5 nastaly až díky dlouhodobému laboratornímu výzkumu, a hlavně díky praktickým zkušenostem – na základě provozu výzkumně-průmyslové (5 tun/24 hod.) depolymerizační jednotky ERVO. Průmyslové zkoušky byly odstartované v únoru 2017 v průmyslovém areálu nedaleko města Most.[14]

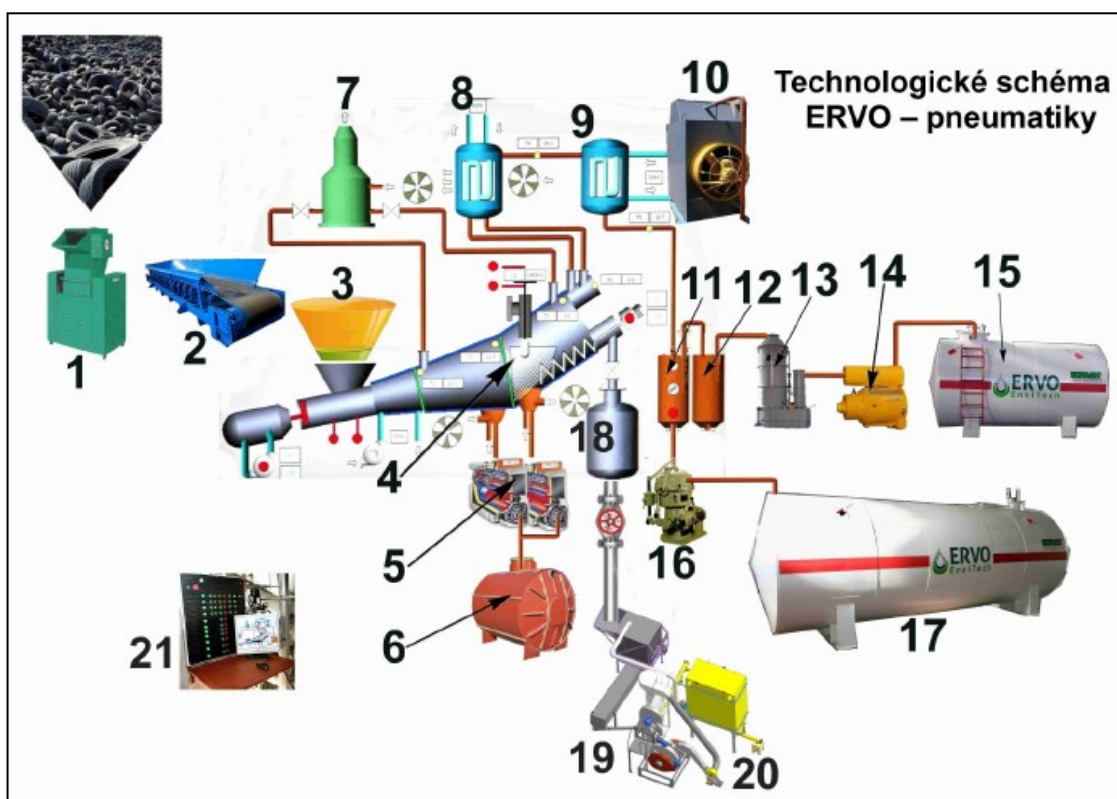
4.1.1 Stručný popis technologie

Pyrolýzní technologie jsou obecně známé. Technologie Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů mnohonásobné cirkulační pyrolýzy, jehož schéma je na obrázku 4, je unikátní v tom smyslu, že umožňuje řídit hloubku destrukce celé hmoty vysokomolekulárních (vesměs ostatních) polymerových odpadů se získáním:

- tekutého vysoce hodnotného paliva,
- lehkých frakcí pyrolýzního plynu,
- pevného zbytku – pyrokarbonu (koku).[11]

4.1.2 Pyrolýzní proces v reaktoru ERVO

Pyrolýzní proces probíhá v inertním prostředí bez přístupu vzduchu.



Obrázek 4: Technologické schéma ERVO – zpracování pneumatik.[14]

Legenda k obrázku: 1. drtič pneumatik, 2. nakládka drcených pneumatik do zásobníku, 3. zásobník, 4. reaktor, 5. hořáky, 6. nádrž s topným olejem pro hořáky, 7. komín, 8. rozdělovač depolymerizační paroplynové směsi, 9. chlazení paroplynové směsi, 10. chladicí věž, 11. prvotní akumuláční nádrž pro plyn a kapalné frakce, 12. nádrž pro depolymerizační (pyrolytický) plyn, 13. separátní filtr pro čištění a sušení plynu, 14. kompresor, 15. nádrž pro stlačený plyn – přechodné skladování, 16. separátní filtr pro čištění a sušení kapalného paliva, 17. cisterna pro přechodné skladování kapalného alternativního paliva, 18. kontejner pro pevný zbytek depolymerizačního procesu, 19. separátor uhlíkového zbytku a kovu, 20. mlýn na uhlíkový zbytek. Na schématu nejsou znázorněny přechodné nádrže pro uhlíkový zbytek a kov. 21. řídicí systém.

Pyrolýzní proces reaktoru ERVO je třístupňový:

První stupeň je zásoben horním napáječem, který zabezpečuje podání odpadů do reaktoru přes pohyblivou zátku, která vzniká ze samotného odpadu. Odpady se podávají do horního napáječe prostřednictvím pouzdra vedoucího od nižšího napáječe. První fáze zabezpečuje prvotní zahřívání odpadů na teplotu jejich roztavení pomocí zvláštního hořáku, který pracuje poháněn diesellovým palivem.[11]

Druhý stupeň zabezpečuje intenzivní zahřívání roztavené hmoty na teplotu 300 až 500 °C a oddělení pevného zbytku s jeho následným podáním do bunkru. Z bunkru se pevný zbytek odstraňuje z reaktoru pomocí zařízení pro vykládání, které zabezpečuje průchod pyrokarbonu přes pohyblivou zátku, vzniklou ze samotného zbytku. Dále se pevný zbytek ochlazuje vodní lázní a v podobě slisovaných dílů postupuje do kontejneru pro následné odstranění. Při kapacitě 5 tun/den vznikne 25 až 50 kg minerálního odpadu.[11]

Třetí stupeň zabezpečuje zahřívání tavné hmoty na teplotu 600 °C se vznikem paro-plynné směsi (PPS), která postupuje do mnohonásobného cirkulačního systému. Třetí stupeň zabezpečuje hluboký termický rozklad mnohomolekulárních komponentů PPS na úroveň zadaných lehkých frakcí, které se vyznačují nízkým obsahem škodlivin.[11]

Reaktor je opatřen mnohonásobným cirkulačním systémem, který zabezpečuje řízení hloubky termického rozkladu vysoce molekulárních komponentů PPS s výsledným ziskem tekutého paliva se zadanými vlastnostmi.[11]

Pyrolýzní plyn, který vzniká v průběhu hlubokého termického rozkladu odpadů, se dopaluje při teplotě 1 100 až 1 200 °C v pecích prvního a druhého hořáku.[11]

Předností této technologie je i nepřetržitý pracovní režim.

Technologická jednotka ERVO splňuje veškeré podmínky plně automatizovaného provozu. Z těchto důvodů jsou použity vysoce kvalitní materiály, odolávající nejen vysokým tlakům, ale i mechanickému zatížení a fyzikálně-chemickým reakcím probíhajícím během zplyňování odpadů. Tomu odpovídají žáruvzdorné materiály, prvky regulace a automatizace i kvalita technologického zpracování.[11]

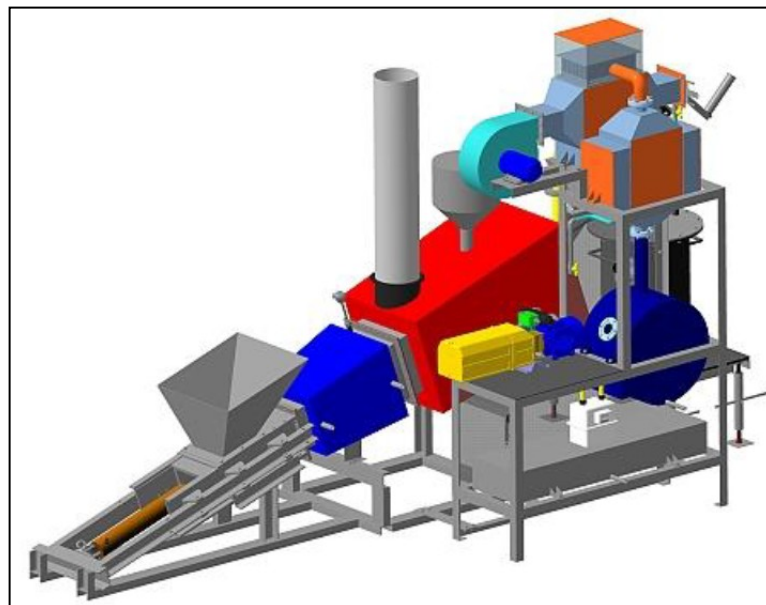
V zahraničí je tato metoda nízkoteplotní pyrolýzy patentována jako technologie PYROTEX (MODUL RCP5Č). Toto zařízení prošlo úspěšně i ekologicko-hygienickými zkouškami v „Institutu ekologické hygieny a toxikologie v Kyjevě“. [11]

Technologie ERVO vychází z patentované provozní jednotky PYROTEX (MODUL RCP5Č). Je však zdokonalená. Protože však není dosud používána v České republice, bude během tohoto inovativního provozu ověřována, a to jak z hledisek účinnosti, technologické spolehlivosti a životnosti, tak s ohledem na ekologickou a hygienickou únosnost provozu a všech výstupů. [11]

4.1.3 Významné technické parametry modulu Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů

Základní zobrazení Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů je na obrázku 5 a jeho parametry jsou:

- délka 7,5 m
- šířka 4,2 m
- výška 5,1 m
- hmotnost 3 650 kg [11]



Obrázek 5: Základní zobrazení Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů. [11]

- Výrobní kapacita: 5 až 20 tun/den dle charakteru zpracovávaných odpadů.
- Maximální teplota reaktoru: 500 až 600 °C.
- Teploty na plynovém hořáku při spalování pyrolýzního plynu: 1 100 až 1 200 °C.
Pozn.: Při těchto teplotách dochází k rozkladu všech organických látek. To vylučuje i únik dioxinů a furanů do ovzduší.
- Část pyrolýzního plynu bude využívána pro provoz modulu ERVO, část bude zkapaňována s externím využitím.
- Během tohoto ověřovacího provozu budou sledovány a vyhodnocovány všechny potřebné údaje a jejich parametry (provozní i environmentální).
Pozn.: Případná výstavba dalších modulů ERVO bude podrobena dalšímu schvalovacímu řízení.[11]

4.1.4 Produkty technologické jednotky Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů

Základním výstupem budou produkty nízkoteplotní pyrolýzy. Vyjdeme-li z výsledků obdobné jednotky provozované v zahraničí (na Ukrajině a v Bulharsku), pak produktem tohoto pyrolýzního procesu bude:

- **Tekuté palivo.** Z jedné tuny plastových odpadů lze získat 650 – 850 kg (700 – 1000 l) tekutého alternativního paliva složením blízkého k palivu lehkých frakcí. Je to kapalina s vysokým, až 70% obsahem aromatických uhlovodíků a je cenná zejména pro petrochemický průmysl).[14]
- **Plyn.** Druhým produktem je plyn, který může být částečně využit jako zdroj tepla pro provoz jednotky ERVO a zbytek může být stlačen (zkapaňován) a externě využit jako surovina pro další zpracování.[14]
- **Pevný odpad.** Při zpracování plastů vzniká směs minerálních odpadů a popela, jehož množství záleží na čistotě zpracovávané suroviny.[14]

4.2 Pyrolýzní jednotka PYROMATIC

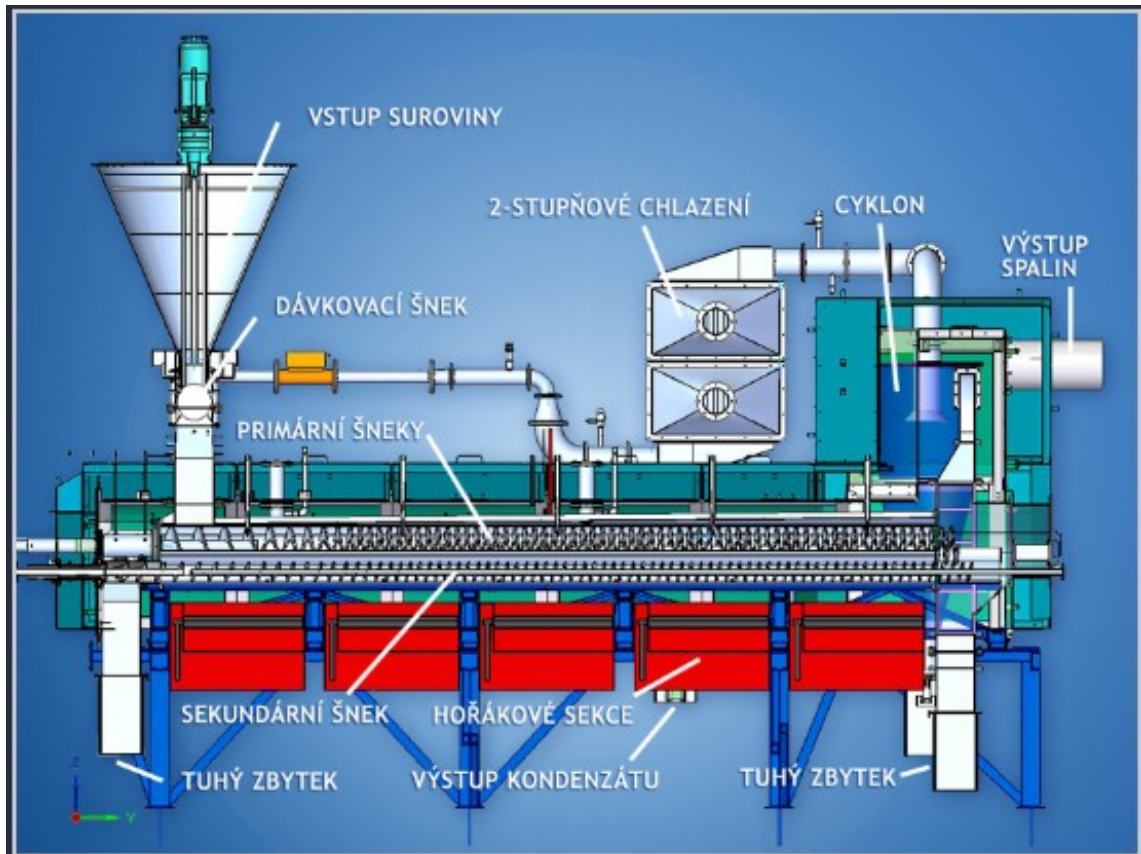
Spolupráce Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava, společnosti Arrowline a členů klastru Envicrack stála za vývojem pyrolýzní jednotky PYROMATIC, která byla uvedena do provozu v květnu roku 2009. Jednotka Pyromatic (obrázek 6) dokáže zpracovávat 50 – 200 kg/hod odpadního materiálu. Pyromatic dokáže pomocí pyrolýzního zpracování energeticky zhodnotit pneumatiky, plasty, biomasu, směsný odpad i další odpad a tím snižovat množství odpadu ukládaného na skládku.[26]

4.2.1 Pyrolýza odpadů - moderní způsob jejich zneškodnění

Mechanicky upravený materiál je navážen na požadovanou hmotnost a následně nadávkován pasovým dopravníkem do hermeticky uzavřeného zásobníku, který je proplachován inertním plynem, aby se zamezilo přístupu okysličovacích médií do pyrolýzního procesu. Jakmile je pec vyhřátá na požadovanou teplotu, je materiál postupně dávkován do pyrolýzní retorty. Minimální doba setrvání materiálů v pyrolýzní jednotce je 30 minut.[9]

Pyrolýzní retorta je ohřívána pomocí 5 sekcí plynových hořáků napájených propanem, které umožní dosažení maximální provozní teploty až 800 °C. Pyrolýzovaný materiál je tedy rozkládán na pevný uhlíkový zbytek, který je jímán do popelového boxu na konci pyrolýzní trasy a plynou fází, která je odváděna potrubím z retorty do cyklonu. Cyklon je zařízení, kde dochází ke zpomalení proudu plynu a pomocí gravitace jsou odloučeny tuhé znečišťující látky. Tento vyčištěný plyn je dále odváděn do primárního chladicího stupně s výměníkem (pyrolýzní plyn - vzduch). Sekundární dochlazování tvoří výměník pyrolýzního plynu a vody, kde je plyn podchlazován tak, aby v potrubí dále již nekondenzoval. Kondenzát vzniklý chlazením pyrolýzního plynu je shromažďován v nádrži na kapalnou pyrolýzní fází. Tato nádrž je vybavena míchadlem, aby se zamezilo sedimentaci těžkých uhlovodíků.[9]

Celá pyrolýzní jednotka je řízena pomocí počítače z velínu, jenž je umístěn v přilehlé budově. Výstupy z odběrové sondy jsou vedeny do analyzátorové skříně, kde jsou analyzovány H₂, CO, CO₂, CH₄ a TOC.[9]



Obrázek 6: Pyrolýzní jednotka PYROMATIC.[35]

4.2.2 Testované odpady – odpadní materiály

Vstupní surovina/odpad může být v různých formách, nejlépe však nadrcená nebo nařezaná do objemu 125 cm³. Lze zpracovávat i sypké a tekuté materiály (prášková forma není doporučena).[29]

Na jednotce PYROMATIC byly z hlediska pyrolýzního procesu testovány převážně kaučukovité materiály, a to odpadní pneumatiky. Důvodů, proč za základní vstupní materiál pyrolýzního procesu byl zvolen právě tento druh odpadu, se nabízelo hned několik:

- množství odpadních pneumatik s nízkou životností každoročně stoupá;
- pneumatiky jsou biologicky nerozložitelné, netavitelné, nerozpustné;
- hromadění tohoto druhu odpadu způsobuje značný environmentální problém;
- největší množství pneumatik je uloženo na skládky, pouze 20 % z celkového množství je recyklováno různými technikami (např. jako palivo v cementářských

pecích, jako aditiva do asfaltů používaných na vozovky, ve spalovnách nebo spoluspalováním s uhlím, surovina v gumárenském průmyslu);

- pneumatiky mají podobné chemické složení;
- pro pyrolýzní zkoušky snadno dostupný materiál.[9]

Vstupní produkty

Předmětem pyrolýzních zkoušek bylo ověřit si změnu hmotnostních bilancí u odpadních pneumatik za různých teplot, přičemž ostatní podmínky zůstaly zachovány. Před každým pokusem byla retorta předehřata na požadovanou teplotu. Rozklad probíhá vždy za konstantní teploty. Základní kritéria a podmínky pyrolýzních zkoušek:

- granulometrie (velikost zrna materiálu) do 30 mm;
- vlhkost materiálu do 20 %;
- navážka vstupního materiálu 20 kg;
- doba zdržení materiálu v retortě 40 min;
- rychlost dávkovacího šneku 600 1/min;
- sypná hustota pneumatik 500 kg/m³;
- udržování nízkého podtlaku v desítkách Pascalů.[9]

Na základě měření byl pozorován vznik třech pyrolýzních produktů, jejich množství a následné vyhodnocení hmotnostních bilancí:

1. pevná fáze: pyrolýzní uhlí (s);
2. kapalná fáze: pyrolýzní olej (l);
3. plynná fáze: pyrolýzní plyn (g).[9]



Obrázek 7: Příklad investičního celku na zpracování 500, 1 000 a 2 500 kg tříděného odpadu za hodinu.[29]

Výsledky hmotnostních bilancí (obrázek 7) potvrdily předpoklad, že se vzrůstající teplotou dochází k vyššímu vývinu plynu. Vzájemný poměr výstupních produktů nezávisí pouze na vstupních podmínkách (organická/anorganická složka), ale závisí převážně na teplotě, době zdržení, rychlosti dávkování materiálu. Vzhledem k velké škále a různorodosti odpadních materiálů musí být pro pyrolýzní proces zvoleny optimální podmínky tak, aby směřovaly v konečném stádiu k nejlepšímu využití produktů.[9]

Proto je při dalších zkouškách potřeba soustředit se na optimalizaci provozních podmínek, testování různorodých odpadních materiálů (např. plastů, uhlí, biomasy, čistírenských kalů). Aktuální zkoušky a analýzy ukázaly, že pyrolýzní technologie je vhodná metoda k využití energetického potenciálu, který je ukryt v odpadu, a to ekologickou cestou vedoucí k výrobě tepla a elektrické energie.[9]

4.2.3 Výstupní produkty

Výstupní produkty pyrolýzní jednotky lze velmi efektivně skladovat, uchovávat a přepravovat. Příklad struktury výstupů při zpracování 1 tuny odpadů je na obrázku 8. Technologie je bezodpadová a proces je plně automatizovaný. Nulové emise z termického rozkladu v uzavřeném inertním prostředí neovlivňují životní prostředí. Pyrolýzní plyn lze po očištění skladovat v plynojemu a následně distribuovat nebo spalovat v kogenerační jednotce. Kapalné uhlovodíky i tuhý zbytek lze skladovat v akumulacích nádržích a zásobnících. [29]

PYROMATIC			
VSTUP 1000 KG DRCENÉHO ODPADU			
VÝSTUP / HOD	PNEUMATIKY	PLASTY	BIOMASA
PYROLÝZNÍ KOKS	350-400 kg	250-300 kg	200-300 kg
PYROLÝZNÍ KONDENZÁT	170-250 l	140-170 l	190-290 l
PYROLÝZNÍ PLYN	180-200 m ³	140-160 m ³	120-140 m ³
TEPLO	850-970 kWt	500-570 kWt	240-280 kWt
ELEKTRICKÁ ENERGIE	600-680 kWe	350-400 kWe	160-200 kWe
PRŮMĚRNÁ VÝHŘEVNOST	38 MJ/kg	25 MJ/kg	14 MJ/kg

Obrázek 8: Příklad struktury výstupů při zpracování vybraných odpadů v objemu 1 tuny. [29]

4.2.4 Technologické zařízení

Technologické zařízení a jeho části splňují veškeré podmínky náročného a plně automatizovaného provozu. Z těchto důvodů jsou použity velmi kvalitní materiály odolávající nejen vysokým teplotám, mechanickému zatížení, ale i fyzikálně-chemickým reakcím probíhajícím v průběhu zplyňování odpadu. Žáruvzdorné materiály, kvalitní technologické zpracování, prvky regulace a automatizace jsou pro danou technologii naprostou nutností. S těmito faktory bylo počítáno již při výzkumu a vývoji. [8]



Obrázek 9: Plně automatizovaný kompletní investiční celek pyrolýzního zpracování.[8]

Pro tuto technologii je připraveno několik inovativních řešení a postupů, které zvyšují celkovou účinnost i životnost investičního celku (obrázek 8).[8]

5 SROVNÁNÍ TECHNOLOGIE EKOLOGICKÉ RECYKLACE VYSOKOMOLEKULÁRNÍCH ODPADŮ SE STÁVAJÍCÍMI METODAMI

Pyrolýzní zpracování organické hmoty představuje dosud málo využívanou metodu pro zhodnocování tříděných odpadů. Energetický potenciál ukrytý v odpadech vysoce převyšuje dnes potenciál biomasy. První funkční prototyp zařízení pro pyrolýzní zpracování byl vyroben v roce 2003 pod názvem Pyrotronic. Předmětem projektu byla pyrolýzní technologie s názvem Pyromatic.[28]

Novější, zdokonalená technologie ERVO vychází z patentované provozní jednotky Pyrotex. Průmyslové zkoušky byly započaty v únoru 2017. Příprava provozování v nepřetržitém provozu se plánuje v roce 2018.[13]

V této části mé práce bych chtěl porovnat obě uvedené pyrolýzní jednotky – PYROMATIC a ERVO.

5.1 Objem

Pro představu o rozměrech obou pyrolýzních jednotek uvádím porovnání základních parametrů.

Pyrolýzní jednotka ERVO

Délka:	7 500 mm
Šířka:	4 200 mm
Výška:	5 100 mm, nepočítá se délka potrubí komínového systému
Hmotnost:	3 650 kg [10]

Pyrolýzní jednotka PYROMATIC

Délka:	6 500 mm
Šířka:	4 000 mm
Výška:	3 200 mm
Hmotnost:	2 500 kg [34]

5.2 Vstupy

Pyrolyzovat lze obecně jakýkoliv materiál obsahující organickou složku, ale efektivnost procesu závisí na vlastnostech materiálu.

Rozměry materiálů, které jsou určeny k pyrolyzování, často nevyhovují svou velikostí, proto musí být tento materiál před nadávkováním do násypky předupraven drcením na správnou granulometrii.[25]

Systém Pyromatic byl konstruován na zpracování 1,2 – 4,8 tun/24 hod. (50 - 200 kg/hod.), což je srovnatelné se systémem ERVO, jehož výrobní kapacita předpokládá 5 tun/den.[10] [34]

Pyrolýzní jednotka ERVO

Surovinové zdroje: polyetylen, polypropylen, polystyren, pneumatiky, čistírenské kaly nebo kaly po rafinérském zpracování ropy. Jednotka umožňuje depolymerizovat i PET-lahve, ale z ekonomického hlediska je výhodnější je roztřídit a recyklovat pro další použití.

Energetické zdroje: z energetického hlediska je provoz modulu ERVO téměř vyvážený a soběstačný. Pouze pro začátek se jako zdroj používá lehký topný olej, během provozu se jako zdroj tepelné energie využívá vlastní produkt – především pyrolýzní plyn.

Spotřeba elektrické energie: maximální spotřeba elektřiny v jednotce ERVO o kapacitě 5 tun za 24 hodin v základním provedení (elektromotory, ventilátory, pumpy) je 15,7 kW. Maximální spotřeba přídatných zařízení (drtič, filtr, bloky čištění suroviny) je 43,2 kW.

Odběr a spotřeba vody: je zapotřebí 5 m³ oběhové chladicí vody, která zde působí v uzavřeném cyklu. Doplnována bude v množství 1 m³ za měsíc, ročně cca 12 m³. [13]

Pyrolýzní jednotka PYROMATIC

Surovinové zdroje: testovaný odpad na jednotce PYROMATIC byly převážně kaučukovité materiály, a to odpadní pneumatiky. Dále pak plasty a tříděný odpad, biomasa (dřevní štěpka, seno), biologický odpad (nemocniční), koks, kaly, nízkenergetické uhlí apod.

Energetické zdroje: jako topný plyn byl používán propan a zemní plyn.

Spotřeba elektrické energie: Maximální tepelný příkon pece je požadován 200 kW, tedy max. 40 kW na jednu hořákovou sekci.[34]

5.3 Technologie

Pyrolýzní technologie umožňují zpracovat druhotné suroviny se ziskem cenných využitelných produktů. Při pyrolýze vznikají pevné, kapalné a plynné produkty. Pyrolýza může být vhodným postupem zpracování odpadů a druhotných surovin s obsahem organické složky. Vzájemný poměr výstupních produktů nezávisí však pouze na vstupních podmínkách (organická/anorganická složka), ale na řadě technických parametrů, jako jsou teplota, doba zdržení materiálů, použitý nosný plyn a v konečném důsledku i na konstrukci reaktoru.[34]

Pyrolýzní jednotka ERVO

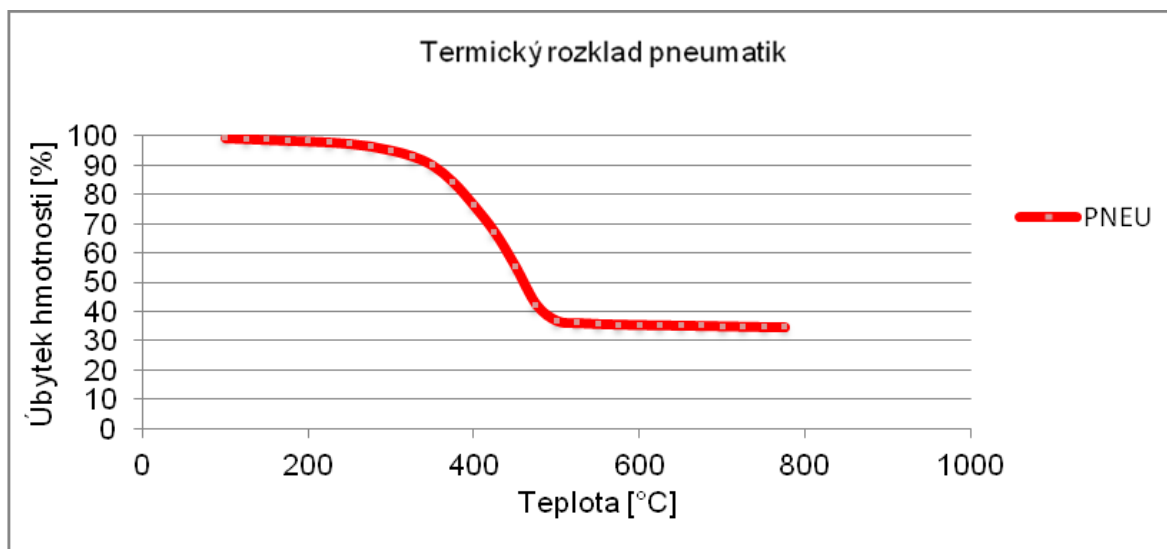
Protože bude jednotka ERVO zprovozněna až v průběhu letošního roku 2018, uvedu technologické, provozní a environmentální přednosti, které tato pyrolýzní jednotka představuje:

- Kontinuální provoz každého modulu \Leftrightarrow technologie bude vybavena uzavřeným zařízením pro odsávání vzdušnin. Tím se zamezí úniku emisí do prostoru provozní haly.
- Reaktor vybaven multicirkulačním systémem \Leftrightarrow k zabezpečení řízení žádoucí hloubky termického rozkladu vysokomolekulárních struktur s výsledným ziskem tekutého produktu se zadanými vlastnostmi.
- Produktivita \Leftrightarrow založena na automatizaci a absenci prostojů a minimální lidské obsluhy.
- Délka životnosti zařízení \Leftrightarrow díky nepřetržitému provozu nebude trpět materiál velkými výkyvy teplot.
- Řízený process destrukce vysokomolekulární substance \Leftrightarrow zajistí vysoký podíl žádoucí kapalné frakce, bohaté na aromatické uhlovodíky (až do 80 %).

- Výstup hotových produktů \Leftrightarrow zpracované a vyčištěné produkty směřované k bezpečnému uskladnění a distribuci.
- Monitoring výrobního procesu \Leftrightarrow umožňuje zpětnou analýzu a možnost korekce procesu pro optimální zpracování.
- Kapacita zpracování druhotných surovin \Leftrightarrow 5 tun za 24 hodin = optimální ve vztahu k hloubce destrukce a výrobní nákladnosti.
- Uzavřený výrobní cyklus vylučuje únik zápachu.
- Úsporný uzavřený cyklus hospodaření s vodou \Leftrightarrow nedochází k jejímu znečišťování.
- Nenáročná k záboru půdy \Leftrightarrow výhodná k lokalizaci do opuštěných bývalých průmyslových objektů.
- Environmentálně přijatelný \Leftrightarrow nenarušuje ekologickou stabilitu.[13]

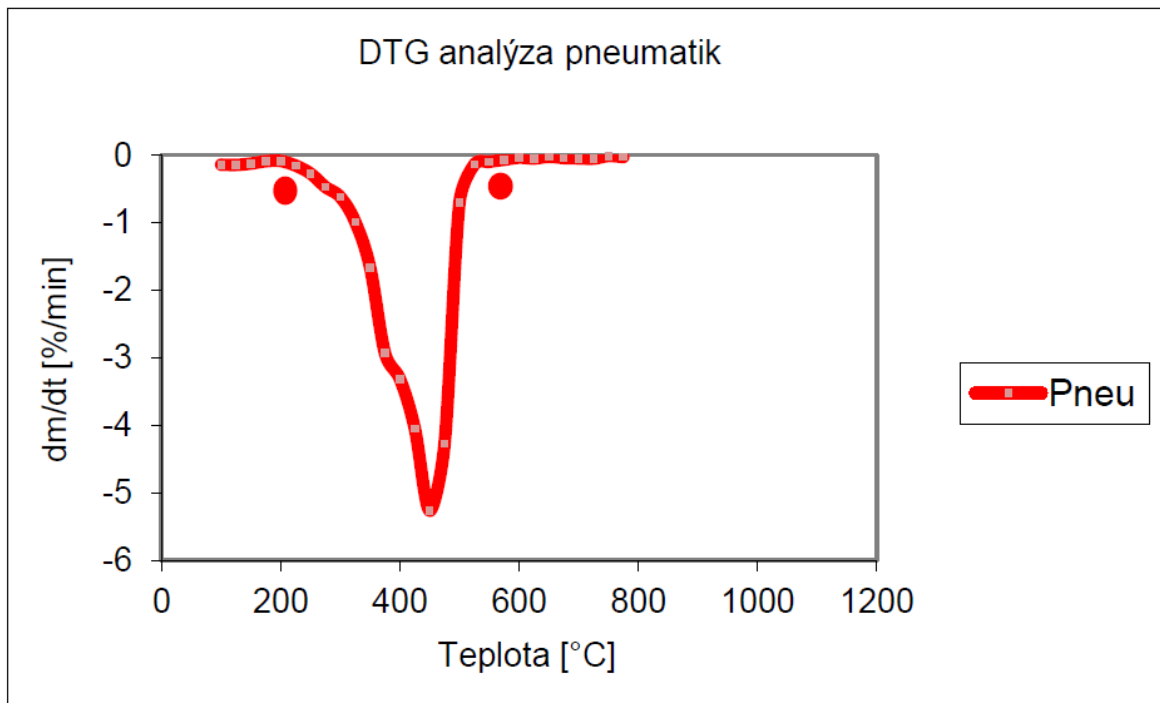
Pyrolýzní jednotka Pyromatic

Termický rozklad odpadních pneumatik i ostatních vybraných vstupních materiálů probíhaly za identických podmínek: hmotnost vzorku 10 mg, rychlost ohřevu 10 °C/min do max. teploty 1 200 °C, průtok inertního argonu 100 cm³/hod. Velikost frakce studovaných vzorků byla pod 1 mm. Následující obrázek 10 zobrazuje grafické výsledky termogravimetrické analýzy rozkladu odpadních pneumatik.[34]



Obrázek 10: Křivka rozkladu odpadních pneumatik.[34]

Z grafického záznamu na obrázku 11 je zřejmé, že se zvyšující se teplotou dochází k hmotnostnímu úbytku zkoumaného materiálu. V teplotním rozmezí od 200 do 500 °C došlo k největšímu úbytku hmotnosti o 63 hm.%. [34]



Obrázek 11: DTG analýza rozkladu odpadních pneumatik.[34]

Rozklad pneumatik (tabulka 6) začíná přibližně okolo 220 °C a končí okolo 520 °C. První zpomalení odpařovacího procesu při 378 °C odpovídá vypařování olejů, změkčovadel a aditiv ze struktury materiálu. Druhý pík při teplotě 460 °C odpovídá rozkladu butadienové pryže. Dále u rozkladů dochází k uvolňování aromátů a těžkých uhlovodíků.[34]

Tabulka 6: Průměrné teploty rozkladu pryží.[34]

Druh pryže	Přírodní pryž	Styren—butadienová pryž	Butadienová pryž
Teplota rozkladu (°C)	375	445	465

5.4 Výsledky porovnání technologií Pyromatic a ERVO

Pyromatic byl ve své době teoreticky nejbližší představě o ekologické likvidaci vysokomolekulárních odpadů. Zkušební provoz však ukázal, že při této technologii dochází k úniku spalin do ovzduší, proto na ni úředníci nahlíží jako na spalovnu. Nasvědčuje tomu i poznámka z média, že je u Pyromaticu ještě co řešit, cituji: *“Při pyrolýze mohou vznikat organické sloučeniny, které mohou být nepříjemné nebo i nebezpečné lidem a životnímu prostředí. Nejproblematictější jsou plynné produkty, někdy nebezpečné, někdy “pouze” zapáchající. Aby byl omezen špatný vliv pyrolýzní jednotky na okolí, je nutné zajistit těsnost systému. Z tohoto hlediska je nejlepší kontinuální automatizované zařízení s utěsněnými vstupy a výstupy a podtlakovým procesem.”*[28] Technologie ERVO je pokročilejší právě v tom, že má hermeticky uzavřený reaktor vůči ovzduší, takže polymerní tavenina nepřichází do styku s vnější atmosférou v uzavřeném cyklu, který vylučuje pronikání škodlivin do ovzduší. Všechny plyny jsou při této metodě využity, ať už pro vlastní spotřebu nebo pro další použití v chemickém průmyslu.

Pyromatic byl prototypovým zkušebním zařízením pro zpracování menšího množství vysokomolekulárních odpadů. Jedná se o tzv. “kotlíkovou metodu”, kdy se při každém novém spuštění musel reaktor vyčistit a znovu zprovoznit. To obnášelo nejen již zmiňované nebezpečí úniku nežádoucích látek do ovzduší, ale docházelo tím i k jeho celkovým ztrátám. Důsledkem je tím pádem i ekonomická a energetická náročnost. Při každém novém spuštění provozu docházelo i k větší spotřebě LTO, než kdyby jel provoz nepřetržitě.

Další podstatnou výhodou jednotky ERVO oproti Pyromaticu je to, že je vybavena multicirkulačním systémem k zabezpečení řízení žádané hloubky (teploty) termického rozkladu vysokomolekulárních struktur. To umožňuje další zpracování a využití všech plynů, které by jinak unikly do ovzduší.

ERVO je po zkušebním provozu v těsném sousedství moderního areálu Celio, a.s. (u Litvínova) připravena na spuštění v opravdovém provozu. Výsledky tohoto projektu jsou bezpečnostně a hygienicky v pořádku. O tuto technologii již projeví zájem mimo investorů také další zájemci ze zahraničí. Celý projekt ERVO nebyl, na rozdíl od Pyromaticu, dotován. Ministerstvo životního prostředí povolilo provoz v blízkosti osídlených měst (Litvínov, Most).

6 ZÁVĚR

Cílem mé bakalářské práce bylo popsat a vysvětlit novou moderní depolymerizační technologii ERVO (Ekologická recyklace vysokomolekulárních odpadů). Spolu s tím byla porovnána technologie ERVO s již dříve provozovanou prototypovou poloprovozní jednotkou Pyromatic, která rovněž umí zpracovat vysokomolekulární odpadní suroviny na suroviny, které jsou běžně využitelné na trhu.

Z výsledků porovnání obou technologií se jeví, že technologie ERVO vychází v určitých parametrech lépe než technologie Pyromatic. Například v oblasti potenciálního úniku látek do ovzduší má technologie ERVO výhodu, že má hermeticky uzavřený reaktor vůči ovzduší a všechny plyny jsou při této metodě využity. Výhodou technologie ERVO je také multicirkulační systém k zabezpečení řízení žádané hloubky (teploty) termického rozkladu vysokomolekulárních struktur.

Aby však bylo možné odpovědně porovnat obě technologie, bylo by zapotřebí delší dobu vyhodnocovat základní charakteristiky obou procesů v plném, zátěžovém (tj. nepřetržitém po srovnatelnou dobu) provozu. Proto ověření dosažitelnosti hodnot o kvantitativních a kvalitativních parametrech technologie ERVO bude možné až po uvedení technologie do plné (nepřetržité) zátěže, která se připravuje v průběhu letošního roku 2018. Bakalářská práce je proto zpracována i s perspektivou zpracování práce diplomové.

Podle aktuálně dostupných informací byl provoz technologie PYROMATIC pozastaven. Naproti tomu je provoz technologie ERVO před ukončením testovacího provozu s pozitivním výsledkem a je připraven k zařazení do běžného provozu ještě v roce 2018, a to i díky aktivnímu zájmu několika potenciálních investorů z ČR a ze zahraničí.

Orientace na technologie využívání a zpracování odpadů, zejména vysokomolekulárních, formou pyrolýzy je jedním z moderních trendů využití odpadů ve vyspělých zemích. Proto i práce na vývoji pyrolýzních zařízení v České republice představují připojení se k předpokládanému budoucímu vývoji nakládání s odpady. Konečným cílem je dosáhnout stádia průmyslového zpracování, neboť v konečném efektu jde o odstraňování odpadů s minimálními dopady na životní prostředí.

Seznam použité literatury

- [1] ADÁMEK, Jiří et al. Stavební látky: *Polymery a živice*. Vysoké učení technické v Brně: Fakulta stavební. Studijní materiály. [online] 2018 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://www.unium.cz/materialy/vut/fast/polymery-a-zivice-m16123-p1.html>>.
- [2] Aktuálně.cz. Věda. ČTK/29.9.2017. [online] 2018 [cit. 2018-01-05]. Dostupné z WWW: <<https://magazin.aktualne.cz/veda/doba-plastova-bude-pokracovat-lidi-ho-zatracuji-uz-pulstole/r~2fce86c4a38911e7ad190025900fea04/?redirected=1515004755>>.
- [3] ANDĚL, Matouš. Pyrolytické zpracování odpadů. ČVUT v Praze. Fakulta strojní: Ústav procesní a zpracovatelské techniky. Bakalářská práce. 2016. [online] 2018 [cit. 2018-04-21]. Dostupné z WWW: <[https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66530/F2-BP-2016-Andel-Matous-Matous%20Andel_Bakalarska%20prace\(2016\)-Pyrolyticke%20zpracovani%20odpadu.pdf?sequence=1](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/66530/F2-BP-2016-Andel-Matous-Matous%20Andel_Bakalarska%20prace(2016)-Pyrolyticke%20zpracovani%20odpadu.pdf?sequence=1)>.
- [4] BĚHÁLEK, Luboš. Polymery. Název projektu: *Podpora přírodovědného a technického vzdělávání v Pardubickém kraji*. Číslo projektu: CZ.1.07/1.1.00/44.0012. Název školy: Střední odborné učiliště Svitavy. Schválilo MŠMT č.j. MSMT-8727/2015-6 dne 16.6.2015 k zařazení do seznamu učebnic pro střední vzdělávání pro vzdělávací oblast technologie zpracování plastů s dobou platnosti 6 let. © Code Creator, s.r.o.; distribuce publi.cz; 2016. ISBN 978-80-88058-68-7. [online] 2018 [cit. 2018-02-12]. Dostupné z WWW: <<https://publi.cz/books/180/18.html>>.
- [5] BIOM.CZ. *Schéma pyrolyzní jednotky Babcock*. Obrázek [online] 2018 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z WWW: <<https://biom.cz/cz/obrazek/schema-pyrolyzni-jednotky-babcock>>.
- [6] DEMCHUK, Maksym, MARTÍNEK, Jan a MALÁ, Martina. *Užitný vzor: Zařízení pro výrobu aromatických uhlovodíků molekulární destrukcí a reformingem polymerů*. ČR: Úřad průmyslového vlastnictví. Číslo přihlášky: 2017-34170. Přihlášeno: 03.10.2017. Zapsáno: 30.10.2017. Číslo dokumentu: 31 153. Druh dokumentu: U1. Int.Cl.: C08J 11/12 (2006.01), C10G 1/10 (2006.01). Dostupné od zpracovatele Ing. Stanislava Štýse, odborného poradce při zpracování této BP.
- [7] ECOSERVIS. Komplexní nakládání s odpady s.r.o. *Co se děje se starými plasty*. [online] 2017 [cit. 2017-12-18]. Dostupné z WWW: <<http://www.ecoservis.eu/co-se-deje-se-starými-plasty>>.

- [8] envicrack. *Pyrolýzní zpracování odpadů*. [online] 2018. [cit. 2018-02-10]. Dostupné na WWW: <http://www.strobo.cz/img/down_soubor1091.pdf>.
- [9] EnviWeb. Zpravodajství životního prostředí od roku 1999. *Pyrolýza odpadů – moderní způsob jejich zneškodnění*. 2013. [online] 2018 [cit. 2018-02-10]. Dostupné na WWW: <<http://www.enviweb.cz/94618>>.
- [10] ERVO EnviTech. *Depolymerizační jednotka ERVO: Základní data*. Obchodní jméno firmy: ERVO EnviTech (IČ 04006585), Most, Radniční ½ - Pasáž U Iva. Dostupné od zpracovatele Ing. Stanislava Štýse, DrSc., odborného poradce při zpracování této BP.
- [11] ERVO EnviTech. *Oznámení podlimitního záměru ERVO (původní název PYROLUN) Ekologická recyklace vysokomolekulárních odpadů*. Oznámení ve smyslu bodu 10.2 v kategorii I přílohy č. 1 zákona č. 100/2001 Sb., zákon o posuzování vlivu na životní prostředí jako podlimitní podle přílohy č. 3a k zákonu č. 100/2001 Sb. Obchodní jméno firmy: ERVO EnviTech (IČ 04006585), Most, Radniční ½ - Pasáž U Iva. Oznamovatel záměru: Mgr. Jan Martínek. Dostupné od zpracovatele Ing. Stanislava Štýse, DrSc., odborného poradce při zpracování této BP.
- [12] ERVO EnviTech. *Pyrolýza – Likvidace a Recyklace plastů, pneumatik, kalů, bioodpadu*. [online] 2018 [cit. 2018-02-17]. Dostupné z WWW: <<http://ekorecyklace.cz/cs/content/pyrolyza-likvidace-odpadu>>.
- [13] ERVO EnviTech, *Řízená kontinuální multicyklická pyrolýza: Environmentálně přínosná transformace odpadů na užitečné suroviny*. Březen 2018. Obchodní jméno firmy: ERVO EnviTech (IČ 04006585), Most, Radniční ½ - Pasáž U Iva, oznamovatel záměru: Mgr. Jan Martínek. Dostupné od zpracovatele Ing. Stanislava Štýse, DrSc., odborného poradce při zpracování této BP.
- [14] ERVO EnviTech, *Řízená kontinuální multicyklická pyrolýza: Environmentálně přínosná transformace odpadů na užitečné suroviny*. Duben 2018. Obchodní jméno firmy: ERVO EnviTech (IČ 04006585), Most, Radniční ½ - Pasáž U Iva, oznamovatel záměru: Mgr. Jan Martínek. Dostupné od zpracovatele Ing. Stanislava Štýse, DrSc., odborného poradce při zpracování této BP.
- [15] EUR-Lex. *Přístup k právu Evropské unie*. [online] 2018 [cit. 2018-02-27]. Dostupné na WWW: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM:121208>>.

- [16] EUR-Lex. *Přístup k právu Evropské unie. [online] 2018 [cit. 2018-02-27].* Dostupné na WWW: <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=LEGISSUM%3A121225>>.
- [17] EUR-Lex. *Přístup k právu Evropské unie. [online] 2018 [cit. 2018-02-27].* Dostupné na WWW: <<http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=celex%3A32000L0076>>.
- [18] FEČKO, Peter; ČABLÍK, Vladimír. *Recyklace odpadů X*. Ostrava: Ediční středisko VŠB-TU Ostrava. Náklad: 150 ks. 394 s. ISBN 80-248-1214-2. s. 61.
- [19] HLAVATÁ, Miluše. *Odpadové hospodářství*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2004. ISBN 80-248-0737-8. s. 144-145.
- [20] HOBRLAND Martin. Jaro 2007. Projekt: *Třídění odpadů.cz. [online] 2018 [cit. 2018-02-12].* Dostupné na WWW: <<https://www.trideniodpadu.cz/pneumatiky>>.
- [21] JÍLKOVÁ, Lenka. CIAHOTNÝ, Karel. ČERNÝ Radek. *Technologie pro pyrolýzu paliv a odpadů*. VŠCHT Praha. FTOP: Ústav plynárenství, koksochemie a ochrany ovzduší. *[online] 2018 [cit. 2018-04-20].* Dostupné z WWW: <paliva.vscht.cz/download.php?id=76>.
- [22] KEPÁK, František. *Průmyslové odpady*. 1. část. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně Fakulta životního prostředí, 2005. 200 s. ISBN 80-7044-709-5. s. 121.
- [23] KLIKOVÁ Hana. *Poradenství a služby v oblasti ochrany ovzduší. [online] 2018 [cit. 2018-02-18].* Dostupné na WWW: <<http://www.hanaklikova.cz/news/novela-zakona-c-201-2012-sb-o-ochrane-ovzdusi/>>.
- [24] KONÍČKOVÁ, Hana. *Využití odpadní pryžové drti z pneumatik jako plniva do kopolymeru*. Diplomová práce. 2010 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická. Ústav inženýrství ochrany živ. prostředí, akademický rok: 2009/2010. *[online] 2018 [cit. 2018-02-14].* Dostupné na WWW: <https://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/14289/kon%C3%AD%C4%8Dkov%C3%A1_2010_dp.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- [25] LBG Moravia. *Zpracování komunálního odpadu pyrolýzou. [online] 2018 [cit. 2018-03-16]* Dostupné na WWW: <<https://www.lbgmoravia.cz/technologie/zpracovani-odpadu/pyrolyza-komunalniho-odpadu-p52/>>.

- [26] MOLEK, Tomáš. OENERGETICE.cz. Obnovitelné zdroje. Pyrolýza – princip, historie a současnost. [online] 2018 [cit. 2018-01-30]. Dostupné na WWW: <<http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/>>.
- [27] NESVADBA, Jindřich. VELEK, Karel. *Tuhé odpady*. 1. vyd. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983, 312 s., 112 obr., 36 tab. Typové číslo L17-B3-IV-31f/72194. s. 257.
- [28] ODPADY: *Pyrolýzní jednotka pro plasty už není jen teorií*. [online] 2018. [cit. 2018-03-24] Dostupné na WWW: <<http://odpady-online.cz/pyrolyzni-jednotka-pro-plasty-uz-neni-jen-teorii/>>.
- [29] PYROMATIC. *Nové výkonné technologické zařízení na pyrolýzní zpracování odpadů*. [online] 2018 [cit. 2018-04-03]. Dostupné na WWW: <http://www.strobo.cz/img/down_soubor1116.pdf>.
- [30] RICHTER, Miroslav. *Technologie ochrany životního prostředí*. 3. část, technologie zneškodňování odpadů. Edice: Skripta. Vyd. 1. Ústí nad Labem: Universita J. E. Purkyně, 2008. 72 s. Tisk: MINO, Ústí nad Labem. ISBN 978-80-7414-042-6 · il. s. 30, 40.
- [31] Sbírka zákonů ČR. *Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí*. [online] 2018 [cit. 2018-02-17]. Dostupné na WWW: <https://www.mzp.cz/cz/posuzovani_vlivu_zameru_zivotni_prostredi_eia>.
- [32] Sbírka zákonů ČR. *Zákon č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon)*. [online] 2018 [cit. 2018-02-17]. Dostupné na WWW: <<https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006-183>>.
- [33] Sbírka zákonů ČR. *Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů*. [online] 2018 [cit. 2018-02-17]. Dostupné na WWW: <https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi>.
- [34] SASSMANOVÁ, Veronika. *Možnosti využití pyrolýzního procesu v oblasti zpracování vybraných druhů materiálů na jednotce Pyromatic*. VŠB-TUO: Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství. Disertační práce. Ostrava, únor 2014.
- [35] Strojírny Bohdalice. *Zařízení na pyrolýzní zpracování odpadů PYROMATIC*. [online] 2018 [cit. 2018-02-25]. Dostupné z WWW: <<http://www.strobo.cz/editor.php?kategorie=1023sekce=1008>>.

- [36] ŠTÝS, Stanislav. *Proměny měsíční krajiny*. 1. vyd. Praha: Bílý slon, 1992. 256 s. ISBN 80-901291-0-2 · il., tabulky, grafy, s. 15-16.
- [37] tzbinfo. *Normy a právní předpisy: Změny ve stavebním zákoně a zákoně o EIA*. [online] 2018 [cit. 2018-04-08]. Dostupné z WWW: <<https://stavba.tzb-info.cz/normy-a-pravni-predpisy-hruba-stavba/16953-zmeny-ve-stavebnim-zakone-a-zakone-o-eia>>.

Seznam použitých zkratk

BTG	Biomass Technology Group
DTG	Derivační termogravimetrická analýza
EIA	Environmental Impact Assessment – vyhodnocení vlivů na životní prostředí
ERVO	Ekologická recyklace vysokomolekulárních odpadů
KWU	Kraftwerk Union
LTO	Lehký topný olej
PE	Polyetylen
PE-HD	Polyetylen s vysokou hustotou
PE-LD	Polyetylen s nízkou hustotou
PP	Polypropylen
PPS	Paro-plynné směsi
S-B-V	Schwel-Brenn-Verfahren (patent – technologie společnosti Siemens)
TUV	Teplá užitková voda
WPP	World Power Production (holandská společnost)

Seznam obrázků

<i>Obrázek 1: Schéma technologie BTG na výrobu biooleje z biomasy.</i>	9
<i>Obrázek 2: Schéma pyrolýzní jednotky.</i>	12
<i>Obrázek 3: Pevný zbytek a kapalný produkt termických procesů.</i>	14
<i>Obrázek 4: Technologické schéma ERVO – zpracování pneumatik.</i>	19
<i>Obrázek 5: Základní zobrazení Ekologické recyklace vysokomolekulárních odpadů.</i>	21
<i>Obrázek 6: Pyrolýzní jednotka PYROMATIC.</i>	24
<i>Obrázek 7: Příklady investičního celku na zpracování 500, 1 000 a 2 500 kg tříděného odpadu za hodinu.</i>	26
<i>Obrázek 8: Příklady struktury výstupů při zpracování vybraných odpadů v objemu 1 tuny.</i>	27
<i>Obrázek 9: Plně automatizovaný kompletní investiční celek pyrolýzního zpracování.</i>	28
<i>Obrázek 10: Křivka rozkladu odpadních pneumatik.</i>	32
<i>Obrázek 11: DTG analýza rozkladu odpadních pneumatik.</i>	33

Seznam tabulek

<i>Tabulka 1: Typické vlastnosti polyethylenu.</i>	4
<i>Tabulka 2: Vlastnosti polypropylenu v závislosti na prostorovém uspořádání substituentů v makromolekule.</i>	4
<i>Tabulka 3: Materiálové složení pneumatik.</i>	5
<i>Tabulka 4: Srovnání parametrů – podmínek a produktů při pyrolýze a spalování.</i>	7
<i>Tabulka 5: Pyrolýza – fáze odplynovacího procesu.</i>	8
<i>Tabulka 6: Průměrné teploty rozkladu pryží.</i>	33