VŠB TECHNICKÁ UNIVERZITA OSTRAVA | CENTRUM ENERGETICKÝCH A ENVIRONMENTÁLNÍCH TECHNOLOGIÍ | CENTRUM ENET

**Příloha č. 1**

# Termické procesy – pyrolýza a plazmové zplyňování

# Obsah

1 Úvod ..... 3
2 Termické procesy ..... 4
3 Pyrolýza ..... 5
3.1 Popis technologie pyrolýzy ..... 5
3.2 Produkty pyrolýzy ..... 6
3.3 Instalace technologie pyrolýzy – komerčně využívané linky ..... 7
4 Plazmové zplyňování ..... 9
4.1 Popis technologie plazmy ..... 9
4.2 Produkty plazmového zplyňování ..... 10
4.3 Instalace technologie plazmy – komerčně využívané linky ..... 10
5 Závěr ..... 12
6 Reference ..... 13

# 1 Úvod

Tento text a jednotlivé oddíly jsou teoretickou statí a současně přílohou navazující na dokument „Dopadová studie energetické bezpečnosti a soběstačnosti MSK po odchodu od spalování uhlí“, se zaměřením na kapitolu alternativních řešení při zpracovávání odpadů. Vychází se z platné legislativy, plánovaných změn v oblasti nakládání s odpady a technologickými možnostmi, zkušenostmi a zjištěními podloženými řadou odborníků a dostupných zdrojů.

Je potřeba uvést, že v rámci prováděné studie byly nastíněny možnosti využití alternativních a netradičních technologií, které se zabývají využitím odpadních materiálů a alternativních paliv. V budoucnu je tedy možné využít právě některou z níže popsaných technologií za účelem zpracování nejméně hodnotných odpadů a jejich alternativ.

Důvodem, proč je potřeba se zabývat možnostmi alternativního zpracování odpadních materiálů a alternativních paliv s ohledem na konec této dekády, je především současná legislativa a plánované změny legislativy v oblasti nakládání s odpady. Tyto změny vstoupily v platnost dne 1. 1. 2021, kdy byla posunuta hranice ukončení skládkování na rok 2030. Celkový koncept pak vychází ze strategie tzv. „Green Deal“ na úrovni Evropské unie, plánovaných změn cirkulární ekonomiky, udržitelnosti a obnovitelných zdrojů energie. Z dostupných materiálů a Zákona o odpadech [1] lze zjistit, že se stanovují jisté výjimky, kdy například skládkovat je teoreticky možné odpady, které budou mít výhřevnost menší než 6,5 MJ/kg v sušině. Jako další příklad lze uvést skládkování zbytků z dotřiďování odpadu. Jedná se především o odpady z třídících linek I. a následně i II. generace, a to do doby zajištění potřebných kapacit. Další věcí, která se týká třídicích linek I. a II. Generace, je ta, že i přes snahu o co nejvyšší efektivitu je zde stále jisté množství odpadu, které není možné dále recyklovat a musí se s ním nakládat. Z tohoto důvodu je zde vhodné místo právě pro alternativní metody zpracování. Alternativními metodami zpracování odpadů v daných podmínkách při technologické návaznosti na procesy třídění a separace v první fázi se rozumí především procesy pyrolýzy a plazmového zplyňování.

Pyrolýza a plazmové zplyňování patří mezi procesy, které lze v současnosti označit jako alternativní či netradiční. V MSK již máme s těmito technologiemi zkušenosti jak na úrovni vědeckého výzkumu, tak na úrovni reálného nasazení. Zamýšlené technologie jsou vhodné pro zpracování odpadních materiálů a alternativních paliv, ale také pro zpracování nebezpečných a nežádoucích odpadů. Například pyrolýzní technologie je vhodná pro zpracování separovaných plastů a biomasy.

V dalším textu jsou krátce vysvětleny základní parametry a princip fungování obou technologií. Jsou zde také shrnuty dílčí výhody a nevýhody. Zároveň je potřeba uvést, že se jedná o technologie již běžně ve světě využívané, avšak stále jsou vyvíjeny a dále zlepšovány za účelem širšího komerčního nasazení. [1],[2]

# 2 Termické procesy

Definice termických procesů (nebo též termické konverze) je možné popsat následovně. Jedná se o působení tepla, specifické procesní atmosféry (oxidační, částečně oxidační, redukční, inertní) a dalších procesních parametrů na zvolený materiál v takové míře, že dochází k jeho celkové degradaci a porušení jednotlivých chemických vazeb daného materiálu. Právě díky působení zvolených procesních podmínek pak dochází ke štěpení organických složek materiálu na jednodušší vazební řetězce, kdy dochází k jejich přeměně buď na plynnou, kapalnou případně tuhou frakci, v závislosti na druhu a složení vstupního materiálu.

Mezi základní termické procesy patří především pyrolýza, zplyňování, plazmové zplyňování (částečně i spalování). Každý proces má pak svá specifika, co se týče kompozice technologie, procesních a provozních parametrů a je vhodná pro různé druhy odpadních a alternativních materiálů.

# 3 Pyrolýza

Princip a technologie pyrolýzy je znám relativně dlouhou dobu. Je to právě jeden z výše zmíněných termických procesů, kdy zpracování zvoleného materiálu (odpadního materiálu, separovaného recyklátu, alternativního paliva apod.) probíhá za předem definovaných podmínek (teplota, tlak, doba zdržení…) v atmosféře bez přítomnosti kyslíku.

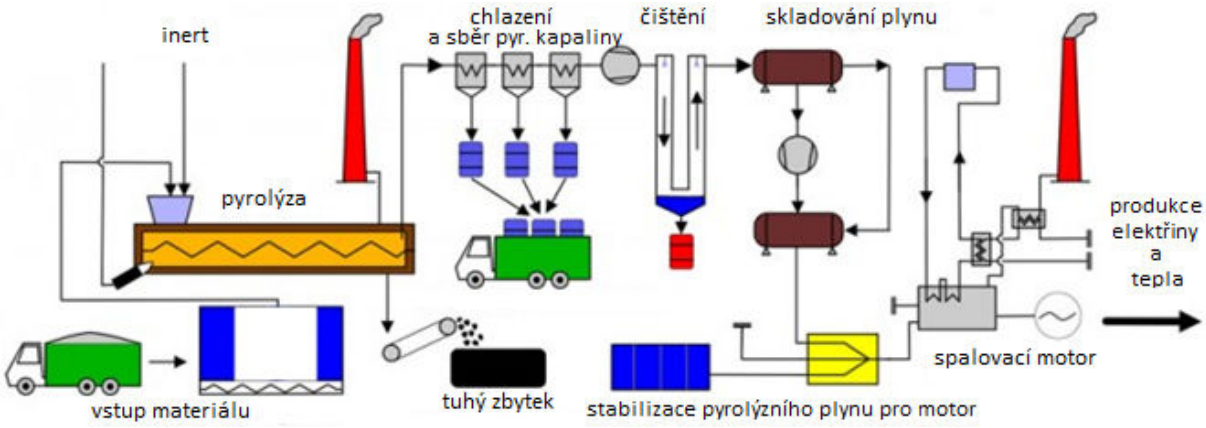
Díky těmto procesním podmínkám a působení předem zvolených vlivů dochází k degradaci materiálu a jeho vnitřních vazeb. Výstupem z procesu jsou pak tři základní frakce: tuhá, kapalná a plynná. Druh výstupní frakce je závislý především na tom, jaký vstupní materiál, v jakém složení či stupni recyklace je podroben působení tohoto termického procesu. Pokud je materiál jednodruhový, recyklovaný či předem připravený, je vedení celého procesu relativně jednoduché a stabilní. Pokud je materiál vstupující do pyrolýzního procesu například v podobě mixu, směsného materiálu nebo materiálu kontaminovaného, je nutné proces a provozní parametry průběžně řídit a více sledovat.

## 3.1 Popis technologie pyrolýzy

Zpracovávaný materiál je vložen do nádoby reaktoru, kterou je možné plynotěsně uzavřít. Tento reaktor může být naplněn materiálem jednorázově nebo může být vytvořen jako průběžný, kdy materiál je přiváděn kontinuálně. Pro správné vedení pyrolýzního procesu je žádoucí vytvoření inertní atmosféry, jelikož pyrolýzní proces je v principu proces probíhající bez přítomnosti vzduchu. Přesněji řečeno bez přítomnosti kyslíku, který způsobuje hoření. Toho je dosaženo například použitím inertního plynu jako je dusík nebo argon, kterým je reaktor naplněn. Inertizovány reaktor s materiálem je poté možné zahřívat na požadovanou teplotu, kdy uvnitř reaktoru dochází k postupnému rozkladu jednotlivých vnitřních vazeb materiálu. Tento proces se nazývá termická degradace. Materiál je postupně rozložen a částečně se „odpařuje“, to vše v závislosti na procesní teplotě a době setrvání v reaktoru. Odpařením materiálu vzniká syntetický plyn o různém složení, které je závislé především na druhu vstupního materiálu a opět i na procesní teplotě. V základním složení se mohu v této směsi nejčastěji vyskytovat plyny: $CO$, $CO_2$, $H_2$, $CH_4$, $C_xH_y$ a další.

Syntetický plyn je pak možné odvádět z reaktoru potrubím či jiným odvodem do chladičů, kde je postupně snižována jeho teplota. Následně dochází ke kondenzaci různých složek plynu, kdy je získávána pyrolýzní kapalina, která je dle procesních podmínek vhodná k dalšímu chemickému zpracování. Po zchlazení a separaci některých frakcí a jejich následné kondenzaci se může zbylý plyn dále vyčistit a filtrovat. Takto zpracovaný plyn je možné použít pro klasické spalování, například v plynovém motoru. Zároveň může zůstat v reaktoru jisté množství tuhého zbytku, kterému se říká pyrolýzní uhlík, který je většinou v podobě prášku nebo materiálu připomínajícího jemný prachový či kusový „koks“. [3],[4]

Základní schéma pyrolýzního celku je vyobrazeno na Obr. 1, na kterém jsou znázorněny všechny technologické celky nutné k provozu pyrolýzní technologie pro výrobu tepla a elektřiny.

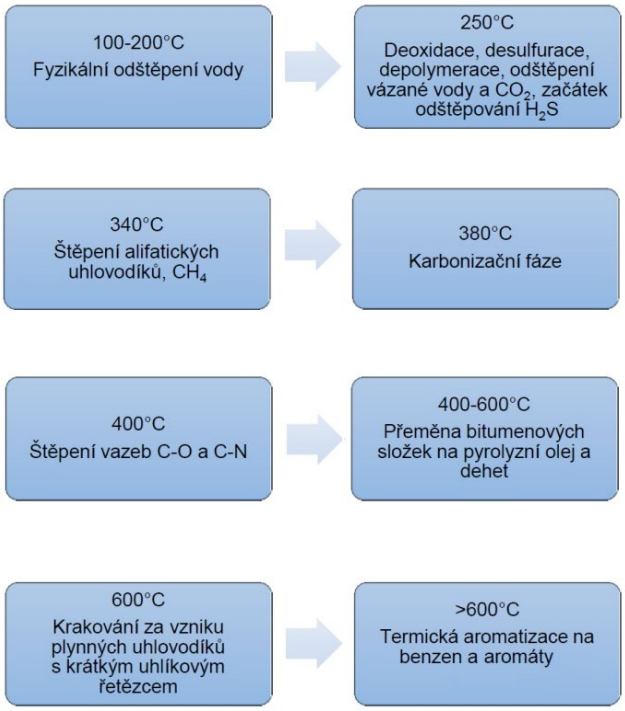



Obr. 1 Základní schéma pyrolýzy – celku.

Detailněji je možné samotný pyrolýzní proces dělit např. dle procesní teploty, a to na:

- Nízkoteplotní pyrolýza T < 500 °C
- Střednéteplotní pyrolýza 500°C < T < 800 °C
- Vysokoteplotní pyrolýza T > 800 °C

Některé základní pyrolýzní procesy u zpracovávaného materiálu probíhající v pyrolýzním reaktoru v závislosti na teplotě jsou vyobrazeny na Obr. 2.




Obr. 2 Základní děje u pyrolýzních pochodů vzhledem k teplotě procesu.

## 3.2 Produkty pyrolýzy

Obecně u této technologie produkujeme až 3 základní frakce (produkty), vždy záleží na vstupním materiálu a procesních a provozních parametrech.

Kapalná frakce nachází využití především v petrochemickém průmyslu a energetice. Je nutné podoktnout, že pokud není vstupní materiál na začátku procesu dobře ošetřen (dostatečně separován) a obsahuje materiál s obsahem chloru, fluoru, síry, apod., ovlivní to negativně výsledné fyzikálně – chemické vlastnosti pyrolýzní kapaliny. Takováto kapalina je klasifikována v katalogu odpadů jako nebezpečný odpad. Z pohledu vedení procesu pyrolýzy separovaných či jednodruhových plastů se jedná o jednu z frakcí nejvhodnějších pro další chemicko-technologické zpracování. Kapalná frakce tak v komerčních provozech a v rámci petrochemických závodů často slouží jako základ pro přípravu primárních plastů pro další zpracování.

Syntézní pyrolýzní plyn je energeticky velice hodnotná surovina, protože je možné ji použít jako alternativu klasického plynu z neobnovitelných zdrojů energie. Tento plyn je možné využít k výrobě elektrické energie a tepla. Plyn je dle typu technologie a vedení procesu vhodné zbavit tuhých nečistot a filtrovat. Jedná se však o prakticky nejlepší variantu pyrolýzního produktu pro následné energetické zhodnocení. K tomu může po vyčištění a stabilizaci dojít například v klasických pístových motorech kogeneračních jednotek. Jak již bylo zmíněno v popisu technologie, její výsledné složení je ovlivněno vedením procesu (nastavené procesní parametry) a složením vstupního materiálu. Obsahuje základní plyny a uhlovodíky v různém poměru, kdy pro další využití je někdy potřeba tento syntézní plyn také stabilizovat za pomocí například dusíku nebo metanu. Tyto stabilizační příměsi upravují vlastnosti plynu potřebné pro další zpracování.

Tuhý zbytek je využitelný při spalování k výrobě tepla a elektrické energie. Dá se také po další úpravě použít k filtraci v průmyslových filtrech, podobně jako při použití aktivního uhlí. Případný obsah těžkých kovů a jim podobných látek na vstupu do pyrolýzního procesu může vést ke kontaminaci tuhých produktů pyrolýzního procesu a jedná se stav obecně nechtěný a nebezpečný.

## 3.3 Instalace technologie pyrolýzy – komerčně využívané linky

Níže jsou uvedeny některé z komerčně provozovaných pyrolýzních jednotek, které jsou provozovány za účelem zpracování odpadních materiálů, především plastů a biomasy z dřevní výroby. V současné době jsou ve světě provozovány komerčně pyrolýzní jednotky především za účelem zpracování a separace plastů, zpracování odpadních materiálů typu pneumatiky a pryže, případně dřevní materiál z produkce a zpracování dřeva. Tyto komerční instalace jsou umístěny v rámci větších provozů jako jsou petrochemické závody, zpracovatelské linky, pily a dřevozpracující výroba. Pro představu jsou zde uvedeny fungující provozy, typ zpracovaného materiálu a účel produkce.

Finská společnost Neste Oyj Keilaranta: Firma se zabývá mimo jiné produkcí a vývojem alternativních paliv. V současné době provozuje tato společnost pyrolýzní jednotku na zpracování odpadních plastů, pneumatik a pryže. Instalovaná jednotka zpracovává od roku 2023 cca 6 000 tun plastů ročně. Účelem této instalace je zpracování odpadních plastů pyrolýzou k následné další rafinaci a výrobě základních surovin pro novou výrobu plastů (recyklace). Výhledově je v plánu rozšířit zpracovatelské kapacity na 150 000 – 4 000 000 tun zpracovávaného materiálu. [5]

Nizozemská jednotka v lokalitě Weert: Pyrolýzní jednotka zpracovávající plasty za účelem jejich recyklace provozovaná firmou Fuenix Ecogy Group. Výstupním produktem je surovina pro výrobu nových polymerů. Provozovatel technologie očekává, že dojde ke splnění jeho závazku zpracovávat alespoň 100 000 tun recyklovaných plastů do roku 2025 v rámci svého portfolia produkce v Evropské unii. [6]

Švédský projekt Pyrocell: Jedná se o pyrolýzní jednotku zpracovávající dřevní odpadní materiál. Pyrolýzní technologie je primárně koncipována za účelem výroby syntetického paliva, kdy je ročně zpracováno cca 40 000 tun dřevní hmoty. [7]

Finský projekt Pyrocell: Podobná instalace jako ve Švédsku, primárně určená za účelem výroby alternativních paliv. Instalovaná pyrolýzní technologie je schopna zpracovat ročně cca 90 000 $m^3$ surové dřevní hmoty a vyrobit až 24 000 tun bio oleje k další rafinaci a zpracování na biopalivo. [8]

Nizozemí, Twence project: V rámci této instalované pyrolýzní technologie je uvedeno, že zpracovává dřevní materiál ve formě pelet, kdy produktem je primárně pyrolýzní olej k dalšímu zpracování za účelem výroby energie (tepla). Uvedená bilance deklaruje, že z 1 000 kg vstupního materiálu vyrobí 650 kg oleje. Sekundárními produkty jsou pyrolýzní plyn, který se používá k dodatečné výrobě elektrické energie a produkce zahrnuje i technickou páru využitelnou v dalším provozu pro zpracování solí. [9]

# 4 Plazmové zplyňování

Plazmovou technologii, resp. plazmové zplyňování, je termický proces využitelný pro zpracování nejenom odpadních materiálů. Zplyňování jako takové je termický proces, který probíhá za vysokých teplot. Jedná se o proces přeměny pevných nebo kapalných uhlíkatých materiálů, jako je uhlí, biomasa nebo odpad, na plynná paliva. U technologie plazmového zplyňování tento proces probíhá v atmosféře s částečným přístupem kyslíku, páry nebo jiných oxidačních činidel. Procesy plazmového zplyňování probíhají při teplotách 1 200 °C až 10 000 °C. Technologie plazmového zplyňování je oproti pyrolýze vhodná ke zpracování směsných odpadních materiálů, nebezpečných a jinak kontaminovaných materiálů.

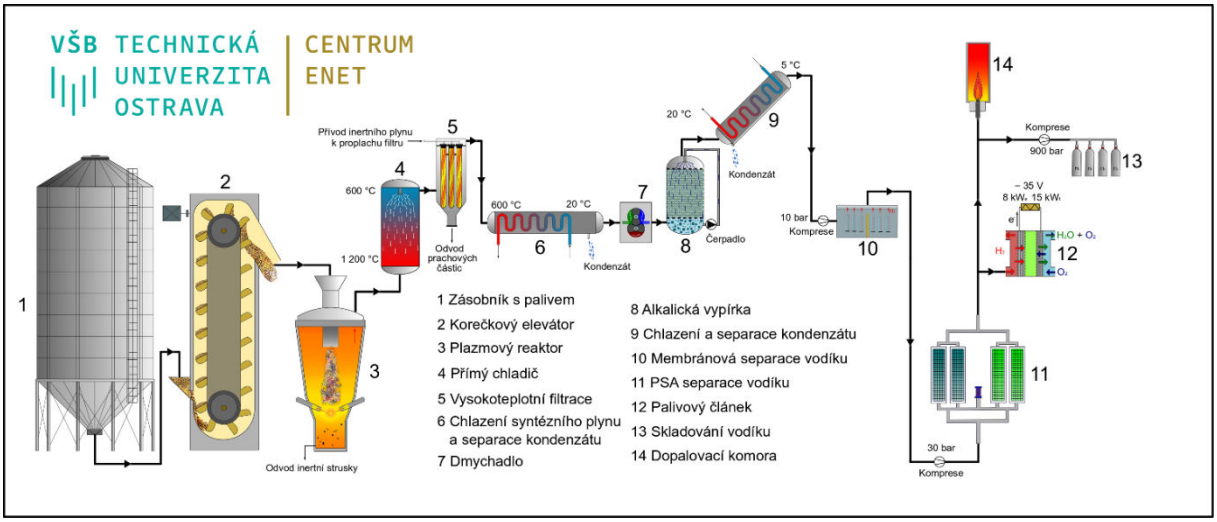
V běžných provozech se pak můžeme setkat s využitím plazmové technologie, respektive ionizovaného plynu plazmového oblouku například při svařování (TIG), řezání, využití při tavení kovů a keramických materiálů apod. Je vhodné zmínit, že plazmové technologie jsou energeticky relativně náročné.

## 4.1 Popis technologie plazmy

Plazmové zplyňování probíhá opět v reaktoru, který je částečně inertizován plynem podobně jako u pyrolýzy a částečně probíhá v mírně oxidační atmosféře. V horní části reaktoru jsou „hořáky“, kde vzniká v elektrickém oblouku ionizovaný plyn ve formě přehřáté plazmy, která je vytvořená za pomoci plazmového hořáku (plazmatronu). Přes horké plazma propadává zpracovávaný materiál, který se díky vysoké teplotě a nastaveným procesním podmínkám rozloží na syntézní plyn (rozkládá se vše organického původu) a případně na taveninu (anorganické látky, kovy obsažené v materiálu, minerály apod.). Syntézní plyn je žádaná surovina, která následně odchází do sekce chlazení a čištění k následnému dalšímu použití. Vzhledem k možnému vysokému obsahu vodíku je pak jako další alternativa možná jeho individuální separace. Separaci vodíku je možné provádět několika způsoby, jedná se však o značně energeticky náročný proces. Samozřejmě proces plazmatického zplyňování a jeho nastavení je možné vést tak, aby bylo složení plynu vhodné právě pro požadované účely a další využití.

Právě z důvodu náročnosti této technologie a vysoké spotřebě elektrické energie je vhodné, aby se při provozu plazmatického zplyňování využívala co nejvíce energie z přebytků při výrobě z fotovoltaických elektráren. Z pohledu zpracovávaného materiálu je možné zaměření na nebezpečné odpady, případně problematické materiály, kdy je jejich likvidace jinými způsoby nežádoucí nebo finančně nákladná. Při procesu plazmového zplyňování dochází k inertizaci jinak nebezpečných organických a biologických odpadů za vzniku syntézního plynu. V případě vzniku taveniny, je tento produkt po ztuhnutí vlastnostmi podobný sopečnému sklu tzv. vitrifikátu. [10],[11]

Pro představu je dále připojeno schematické zapojení plazmové technologie tak, jak by mělo být vytvořeno v podobě logicky na sebe navazujících dílčích technologií za účelem výroby, čištění, separace a produkce vodíku s čistotou cca 99,99 % pro následné další technologické čištění zpracování. Schéma je vyobrazeno na Obr. 3.




Obr. 3 Základní typové schéma plazmové technologie.

## 4.2 Produkty plazmového zplyňování

Při využití plazmové technologie dochází k totální desintegraci vstupního materiálu – rozkladu na molekulové a atomární úrovni. Zároveň, pokud se jedná o nebezpečný či jinak kontaminovaný materiál, díky extrémní teplotě dojde k jejich inertizaci. Výstupem jsou dvě složky v podobě sklovitého/struskovitého materiálu, tzv. „vitrifikátu“, který vzniká z anorganické složky vstupního materiálu. Dále za vzniku syntézního plynu, který vznikne z organické části materiálu.

Syntézní plyn je vhodný pro další zpracování, kdy jeho složení tvoří podíl CO, $CO_2$ a $H_2$, kterého může být i okolo 50 %, což je zajímavá alternativa k dalším technologiím produkujícím vodík, jako je elektrolýza vody. V případě cílené produkce syntetického plynu a následné přípravě pro produkci vodíku je nutné provést mezikroky čištění a separace syntetického plynu za účelem oddělení jeho jednotlivých složek.

Pevný výstup z plazmového zplyňování, tzv „vitrifikát”, je sklovitý materiál vznikající z anorganické části obsažené ve vstupním materiálu. Díky svým vlastnostem, kdy je chemicky stálý a inertní, je vhodné jeho další použití např. v pozemním stavitelství. Vlastnosti vitrifikátu, jeho výsledná struktura a množství jsou pak ovlivněny složením vstupního materiálu. Pokud jsou obsaženy ve vstupním materiálu kovy, tyto je možné separovat v mezikroku odběru taveniny ve spodní části reaktoru.

## 4.3 Instalace technologie plazmy – komerčně využívané linky

Nynější instalované kapacity plazmových technologií pro zpracování odpadu v komerčním provedení se nacházejí nejenom ve vyspělých zemích. Primární určení je pro zpracování odpadních materiálů, případně problematických materiálů a odpadů, které nejsou vhodné pro jiný druh technologie či separaci. Jedná se například o komunální odpad a kaly. Níže jsou uvedeny některé technologie s popisem kapacit a typem zpracovávaného materiálu.

Indická technologie ve městě Puna: V provozu od roku 2008, kdy tato plazmová technologie je primárně určena ke zpracování a inertizaci nebezpečných odpadů.

Dodávka technologie od Westinghouse. Svojí kapacitou cca 72 tun odpadu denně se řadí k největším komerčním provozům na světě. Výsledný produkt se částečně využívá ke generování elektrické energie v turbíně o výkonu 1,6 MW. [12]

Japonská technologie v Mihamě, která byla dodána opět společností Westinghouse v roce 2002 je primárně určena pro energetické využití odpadu plazmovým zplyňováním. Jedná se o první světový plazmový zplyňovací reaktor v komerčním provozu. Tato technologie pracovává 17,2 tun odpadního materiálu a komunálního odpadu spolu s cca 5 tunami čistírenských kalů denně. Produkovaný syntetický plyn se spaluje a teplo se využívá k sušení kalů před jejich zplyněním. [13]

Ve Velké Británii je instalována technologie ve městě Swindon, která byla uvedena do provozu v roce 2016 a je příkladem plazmové technologie zplyňující tzv. TAP (tuhá alternativní paliva). Jedná se o komerčně upravený komunální a další odpad. Kapacitou 8000 tun odpadu ročně se řadí k menším jednotkám. Primárně je produkován syntézní plyn s vysokým obsahem metanu, kdy energetická produkce plynu 22 GWh odpovídá roční kapacitě linky. Zároveň je součástí produkční linky, kdy tato technologie dodává extra 6000 tun kapalného $CO_2$ pro technologické účely. [14]

# 5 Závěr

S ohledem na kapacity zpracovatelských linek a subjektů nakládajícími s odpady a celkové produkci odpadů v MSK (roční produkce je dostupná z dat Českého statistického úřadu), je možné si udělat představu o množství teoreticky dostupného materiálu využitelného pro alternativní technologie. Jako s dostupným materiálem je možné počítat např. se zbytky již dále nerecyklovatelných odpadů z třídicích linek, kontaminovanými plasty, organickými zbytky, energeticky méně hodnotnou biomasou, za určitých podmínek částečně i s komunálním odpadem apod.

Možnost využít technologii pyrolýzy v rámci MSK je například ve formě doplňkové linky k místním producentům a podnikům zpracovávajícím dřevo. Je však otázkou, jestli by komerčně bylo výhodné pro provozovatele větších podniků (např. BBC Cellpack, příp. BBC Cellpack Czech s.r.o.) zaměřit se na přidruženou výrobu alternativních palivových příměsí. Kapacity pro provoz menší jednotky by bylo možné pokrýt od menších dodavatelů – lokálních pil.

Využití plazmové technologie je technologicky možné například za účelem produkce a separace vodíku k dalšímu energetickému zpracování. Ve vztahu k MSK je plán využívat TAP primárně ve spalovacích jednotkách klasických kotlových těles za účelem produkce elektrické energie a tepla pro centrální zásobování teplem. Další možností je využití odpadních materiálů po recyklaci či jinak kontaminovaných a nebezpečných odpadů, kde primárně chceme jejich bezpečnou likvidaci a neutralizaci (inertizaci), k čemuž se technologie plazmového zplyňování hodí a současně je benefitem produkce vodíku k dalšímu využití.

# 6 Reference


[1] *Nový zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech: účinnost - 1. ledna 2021. Edice AZ - aktuální úplná znění*. Praha: Verlag Dashöfer, [2021]. ISBN 978-80-7635-056-4. Dostupné také on-line na stránkách MŽP, https://www.e-sbirka.cz/sb/2020/541?zalozka=text.

[2] *Nová legislativa a metodické pokyny* [online]. Praha: Odbor odpadů MŽP, ©2018-2023. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_odpady

[3] IBRAHIM, Hassan Al-Haj. *Pyrolysis in the Chemical Industry and Its Major Industrial Applications.* Online. Innovation in Science and Technology. 2023, roč. 2, č. 2, s. 1-11. ISSN 27887030. Dostupné z: https://doi.org/10.56397/IST.2023.03.01. [cit. 2024-09-04].

[4] Elsevier B.V., ed. Pyrolysis: *Definition from Chapters and Articles published on ScienceDirect.com* [online]. In: In selected articles in the link provided. © 2024 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/topics/engineering/pyrolysis

[5] Neste Oyj Keilaranta. *Neste doubled the amount of waste plastic processed during 2023* [online]. In: Neste, 20 December 2023 at 12 p.m. (EET)n. l., © 2024 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.neste.com/news/neste-doubled-the-amount-of-waste-plastic-processed-during-2023

[6] SANDOVAL, Dan. *Dow, Fuenix Ecogy Group partner on plastics recycling project* [online]. In: Recycling Today, September 03, 2019, © 2024 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.recyclingtoday.com/news/dow-to-produce-new-plastics-from-pyrolysis-oil-netherlands/

[7] BTG Bioliquids, ed. *From sawdust to tank* [online]. In: . btg-bioliquids, 2020, © 2020 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.btg-bioliquids.com/plant/pyrocell-gavle-sweden/

[8] BTG Bioliquids, ed. *A true trailblazer* [online]. In: . btg-bioliquids, 2020, © 2020 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.btg-bioliquids.com/plant/green-fuel-nordic-lieksa-finland/

[9] Twence, ed. *Empyro: making pyrolysis* [online]. In: Twence, 2020, Netherlands, © 2020-2024 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://www.twence.com/processes/processing-biomass

[10] Český statistický úřad, ed. *Produkce, využití a odstranění odpadů - 2022* [online]. In: ČSÚ Praha, 15. 12. 2023, © 2024 [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://csu.gov.cz/produkty/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2022

[11] MOUSTAKAS, K., et al., 2005. *Demonstration plasma gasification/vitrification system for effective hazardous waste treatment, Journal of Hazardous Materials*. Journal of Hazardous Materials. 1-3(Vol. 123), Pages 120-126. ISSN ISSN 0304-3894.

[12] MAHARASHTRA ENVIRO POWER LTD. [online]. [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://smsmepl.com/plasma-gasification/

[13] TM & WESTINGHOUSE ELECTRIC CORPORATION, © 2023. From waste to electricity, liquids, and hazardous waste destruction [online]. [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://plasma.westinghouse.com/

[14] ADVANCED BIOFUEL SOLUTIONS LTD, © 2024. *Swindon Plant* [online]. [cit. 2024-09-04]. Dostupné z: https://absl.tech/swindon-plant