

České vysoké učení technické

Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd



Diplomová práce

Analýza využití plazmového zplyňování odpadů v ČR

Autor práce: Tomáš Molek

Vedoucí: Ing. Petr Břenek

2017

České vysoké učení technické v Praze
Fakulta elektrotechnická

Katedra ekonomiky, manažerství a humanitních věd

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student: Molek Tomáš

Studijní program: Elektrotechnika, energetika a management
Obor: Ekonomika a řízení energetiky

Název tématu: Analýza využití plazmového zplyňování odpadů v ČR

Pokyny pro vypracování:

- princip plazmového zplyňování
- plazmové zplyňování v legislativě ČR a EU
- využití technologie plazmového zplyňování ve světě
- modelový projekt provozu ZEVO na bázi technologie plazmového zplyňování
- vyhodnocení modelového projektu

Seznam odborné literatury:

Teorie a praxe firemních financí - Brealey, R.A., Myers, S.C., Allen, F., ISBN
9788026500285
Municipal Solid Waste to Energy Conversion Processes: Economic, Technical and
Renewable Comparisons - Young, G.C., ISBN 978-1-118-02927-5

Vedoucí diplomové práce: Ing. Petr Břenek – spol. PGP terminál

Platnost zadání: do konce letního semestru akademického roku 2016/2017

L.S.

Prof. Ing. Jaroslav Knápek, CSc.
vedoucí katedry

Prof. Ing. Pavel Ripka, CSc.
děkan

V Praze dne 11.2.2016

Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

V Praze dne

podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu své práce Ing. Petru Břenkovi a společnosti PGP Terminal a.s., za to že mi poskytli podklady k vypracování této práce a umožnili mi spolupracovat na projektu plazmového zplyňování odpadu.

Dále děkuji Mgr. Petru Vaněčkovi za jeho cenné rady, ochotu a čas, který mi věnoval při odborných konzultacích, bez kterých by nebylo možné tuto práci dokončit.

Své poděkování chci také věnovat rodinně a svým nejbližším za jejich podporu po celou dobu mého studia.

Anotace

Byla provedena technicko-ekonomická analýza možného uplatnění zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO) využívající technologii plazmového zplyňování v České republice. Pro modelový projekt realizace plazmového ZEVO byla stanovena minimální cena poplatku za zpracování odpadu, pro kterou je investice do zařízení efektivní. Dále byla stanovena minimální výše zákonem daného poplatku za skládkování, který přímo ovlivňuje cenu za skládkování odpadu. Pro vybrané parametry byly provedeny citlivostní analýzy.

Klíčová slova: plazmové zplyňování, zařízení na energetické využití odpadu, ZEVO, poplatek za ukládání odpadu na skládku, IPGCC, syngas

Abstract

A complex technical-economical analysis of options for plasma gasification waste to energy (WtE) plant realization in Czech Republic was conducted. The minimal price of plasma WtE gate fee (price of waste treatment) for economic effectiveness such investment was calculated. Furthermore the minimal landfill tax was calculated, because landfill tax directly influences the final price of landfilling. Sensitivity analyses were conducted for selected parameters.

Key words: plasma gasification, waste to energy, WtE, landfill tax, IPGCC, syngas

Obsah

Úvod.....	1
Definice	2
Vlastnosti komunálního odpadu.....	3
1. Technologie energetického využití odpadu.....	5
1.1 Spalování odpadu	6
1.2 Pyrolýza.....	7
1.3 Zplyňování.....	11
1.3.1 Plazmové zplyňování.....	11
1.3.2 Materiálové a energetické využití odpadu plazmovým zplyňováním.....	15
2. Energetické využití odpadů v legislativě.....	22
2.1 Legislativa Evropské unie	22
2.1.1 SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 98/2008.....	22
2.1.2 Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/76/ES.....	23
2.1.3 BREF/BAT	23
2.2 Česká republika	25
2.2.1 Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR).....	26
2.2.2 Zákon o odpadech 185/2001 Sb.....	27
2.2.3 Další podstatné zákony.....	28
2.3 Možnosti podpory plazmového zplyňování odpadů.....	29
2.3.1 Provozní podpora	29
2.3.2 Investiční podpora	33
3. Plazmové zplyňování ve světě a v České republice	34
3.1 Výrobci plazmových hořáků	36
3.1.1 Westinghouse	36
3.1.2 Europlasma	36
3.1.3 Phoenix Solution Company	37
3.1.4 Tetronics	37
3.2 Realizace projektů ZEVO využívající plazmové zplyňování ve světovém měřítku	37
3.2.1 Aktuálně komerčně provozované projekty	37
3.2.2 Ukončené projekty.....	38
3.2.3 Projekty ve výstavbě.....	44
3.3 Plazmové zplyňování v ČR	46
3.3.1 Plazmatrony Akademie věd ČR	46
3.3.2 Safina - PlasmaEnvi	46
4. Modelový projekt ZEVO využívající technologii plazmového zplyňování odpadu	47

4.1	Předpoklady modelového projektu.....	47
4.1.1	Specifikace modelového projektu.....	47
4.1.2	Materiálové a energetické vstupy a výstupy	48
4.1.3	Diskont	50
4.1.4	Doba hodnocení projektu a roční fond provozní doby.....	51
4.1.5	Ocenění vstupů a výstupů, indexace.....	52
4.1.6	Investiční výdaje a odepisování.....	53
4.1.7	Dotace.....	53
4.2	Cash flow modelového projektu.....	54
4.3	Ekonomické hodnocení	54
4.4	Citlivostní analýzy.....	56
5.	Závěr.....	59

Seznam zkratk

AC plazmový hořák - plazmový hořák na střídavý proud

ANRG - Alter NRG Corp.

BAT - Best Available Techniques (Nejlepší dostupné techniky)

BREF WI - referenční dokumentaci stanovující nejlepší dostupné techniky pro oblast spalování odpadů

BRKO - biologicky rozložitelný komunální odpad

DC plazmový hořák - plazmový hořák na stejnosměrný proud

ERÚ - Energetický regulační úřad

EVO - energetické využití odpadu

HHV - higher heating value (spalné teplo)

HRSG - Heat Recovery Steam Generator (kotel na odpadní teplo)

IPGCC - Integrated Plasma Gasification Combined Cycle

IPGSC – integrated Plasma Gasification Combined Cycle (integrovaná technologie plazmového zplyňování s navazujícím parním cyklem)

KO - komunální odpad

krajský POH - krajský plán odpadového hospodářství

LHV - lower heating value (výhřevnost)

MŽP - ministerstvo životního prostředí

NASA - Národní úřad pro letectví a kosmonautiku (americká vládní agentura)

PCB - polychlorované bifenyly

POH ČR - Plán odpadového hospodářství České republiky

RF plazmový hořák - indukční plazmový hořák

SKO - směsný komunální odpad

Syngas - syntézní plyn

WPG - Westinghouse Plasma Gasification

ZEVO - zařízení na energetické využití odpadu

ZMEVO - zařízení na energetické a materiálové využití odpadu

Úvod

V současné době se situace v oblasti odpadového hospodářství oproti minulosti dynamicky vyvíjí. V České republice se podnikají kroky, které mají za cíl omezit skládkování a navýšit materiálové a energetické využití odpadu. Vzhledem k aktuálnosti problematiky nakládání s odpady bude v této práci analyzována možnost zvýšení kapacity zařízení na energetické využití v odpadu v ČR, se kterým počítá také Plán odpadového hospodářství ČR.

Kromě tradičních způsobů nakládání s odpadem jako je skládkování nebo spalování, existují také alternativní způsoby, jako například plazmové zplyňování odpadu, kterému se podrobně věnuje tato práce.

Cílem práce je ověřit jaké podmínky musí nastat na trhu se zpracováním odpadu a na trhu s energiemi, aby byla investice do zařízení na energetické využití odpadu pomocí plazmového zplyňování efektivní.

Součástí této práce je popis jednotlivých možností energetického zpracování odpadu. Podrobně je rozebrána především možnost energetického využití odpadů pomocí plazmového zplyňování, včetně dodavatelů této technologie.

Dále je v práci analyzována legislativa Evropské unie a České republiky zabývající se nakládáním s odpadem. Detailně je analyzován možný vývoj poplatku za skládkování, který bude v následujících letech určujícím faktorem pro stanovení ceny za zpracování odpadu v zařízeních na energetické využití odpadu. V práci jsou rozebrány možnosti investiční a provozní podpory zařízení na energetické využití odpadu s ohledem na aktuální dění ohledně notifikace jednotlivých schémat podpory ze strany EU.

V souvislosti s možnou výstavbou zařízení na energetického využití odpadu pomocí plazmového zplyňování v České republice je v práci analyzován historický a aktuální stav výstavby takových zařízení ve světě a v České republice.

V závěrečné praktické části je na modelovém projektu plazmového zařízení na energetické využití odpadu ověřena efektivita takovéto investice. Cílem práce také je stanovení minimální ceny za zpracování odpadu a minimální výše výkupní ceny za elektřinu vyrobenou z biologicky rozložitelné části komunálního odpadu, při které bude investice do takovéhoho zařízení ekonomicky efektivní.

Definice

Následuje uvedení základních legislativních definic pro oblast odpadového hospodářství a způsobů nakládání s odpady. Dále jsou uvedeny i vlastnosti komunálního odpadu v ČR, jakožto hlavního vstupu pro energetické využití odpadů.

Odpad

Odpadem je dle zákona 185/2001 Sb. (zákon o odpadech) každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.

Komunální odpad

Komunálním odpadem se dle zákona 185/2001 Sb. rozumí veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v prováděcím právním předpisu s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.

Nebezpečný odpad

Odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů. Konkrétně se jedná o nařízení komise (EU) č. 1357/2014.

Směsný komunální odpad

Směsný komunální odpad je dle vyhlášky 93/2016 Sb. odpad, který zůstává po oddělení využitelných složek a nebezpečných složek z komunálních odpadů.

Odpadové hospodářství

Odpadové hospodářství je dle zákona 185/2001 Sb. činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, na nakládání s odpady a na následnou péči o místo, kde jsou odpady trvale uloženy, a kontrola těchto činností.

Hierarchie nakládání s odpadem

V rámci odpadového hospodářství dle zákona 185/2001 Sb. musí být dodržována tato hierarchie způsobů nakládání s odpady:

1. předcházení vzniku odpadů,
2. příprava k opětovnému použití,
3. recyklace odpadů, materiálové využití
4. jiné využití odpadů - například energetické využití,
5. odstranění odpadů (skládkování).

Podle ustanovení § 9a tohoto zákona je přípustné odchýlit se od hierarchie způsobů nakládání s odpady v případech, u nichž je to vhodné podle posouzení celkových dopadů životního cyklu (tzv. Life Cycle Assessment – LCA) zahrnujícího vznik a způsoby nakládání s odpady, a sice s ohledem na nejlepší celkový výsledek z hlediska ochrany životního prostředí.

Při uplatňování hierarchie se zohlední:

- celý životní cyklus výrobků a materiálů, zejména s ohledem na snižování vlivu nakládání s odpady na životní prostředí a lidské zdraví,
- technická proveditelnost a hospodářská udržitelnost,
- ochrana zdrojů surovin, životního prostředí, lidského zdraví a hospodářské a sociální dopady.

Vlastnosti komunálního odpadu

Pro účely této práce je důležité nejprve charakterizovat vlastnosti a složení komunálního odpadu v ČR s ohledem na jeho materiálové a energetické využití. Pokud není uvedeno jinak, vstupní data v této kapitole pocházejí z Výzkumu vlastností komunálních odpadů a optimalizace jejich využívání, který v roce 2009 provedla Univerzita Karlovy a jehož výsledky byly publikovány ve sborníku Odpadového Fóra 2010 [1].

Ve výzkumu Univerzity Karlovy byl analyzován odpad z domácností, což je běžný odpad z denní spotřeby domácností. Domovní odpad je součástí komunálního odpadu a je to ta část, která vzniká na území obce a má původ v činnosti fyzických osob (nepodnikatelských subjektů). Domovní odpad tvoří dominantní podíl komunálního odpadu, nicméně ve stávající platné v legislativě odpadového hospodářství není tento pojem nijak vymezen [2].

Mezi faktory, jenž nejvíce ovlivňují možnosti energetického i materiálového využití odpadu, patří jeho chemicko-fyzikální parametry a složení. Složení domovního odpadu závisí na tom, v jaké zástavbě vzniká. Obecně existují tři typy zástavby, které produkují domovní odpad s různou skladbou. Jedná se o:

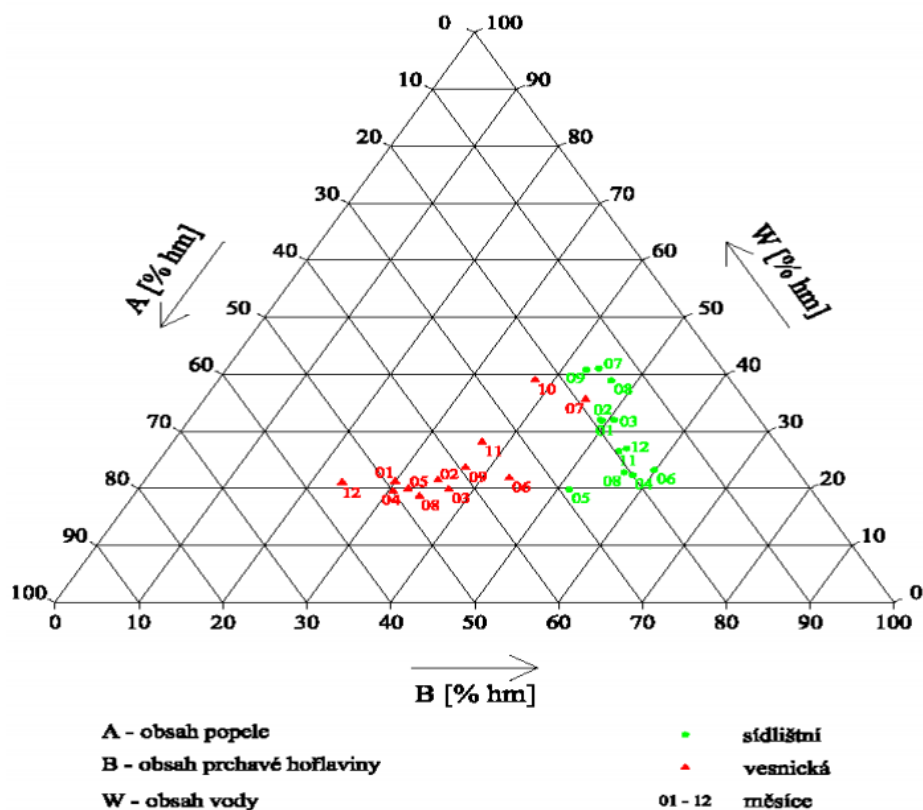
- **sídlištní zástavbu,**
- **venkovskou zástavbu a**
- **přechodný typ mezi těmito dvěma typy tzv. smíšenou zástavbu.**

Jak je patrné z následující tabulky (Tabulka 1), ve skladbě odpadů produkovaných v jednotlivých typech zástavby se významným způsobem liší např. podíl plastů. Obsah plastů přitom hraje významnou roli při energetickém využití odpadu, protože navyšuje parametry celkové výhřevnosti odpadu na vstupu do zařízení na energetické a materiálové využití odpadu (ZMEVO). Výhřevnost plastů se v závislosti na jejich typu pohybuje mezi 32 - 43 MJ/kg. Podíl plastů v odpadu se v sídlištní a smíšené zástavbě pohybuje na úrovni 17 %, zatímco u venkovské zástavby nepřesahuje 10 % celkového. Další významnou složkou je frakce o granulometrii menší než 20 mm, která může obsahovat významný podíl nebezpečných těžkých kovů nebo polychlorovaných bifenylů (PCB). Tato složka odpadu je dominantní pro venkovskou zástavbu, kde tvoří téměř 40 % z celkového objemu odpadu, na druhou stranu u zbylých dvou typů zástavby nepřesahuje tato frakce více než 6 % hmotnostního podílu odpadu z domácností.

Látková skupina	Průměrný podíl látkových skupin v komunálních odpadech z domácností (% hmotnostní)		
	Sídlištní zástavba	Směšovaná zástavba	Venkovská zástavba
Papír/lepenka	25,70	22,58	7,79
Plasty	16,76	17,58	9,75
Sklo	11,17	7,82	4,87
Kovy	1,68	2,13	2,60
Bioodpad	15,64	21,62	11,69
Textil	4,47	3,98	2,27
Minerální odpad	2,24	0,71	6,82
Nebezpečný odpad	0,56	0,31	0,32
Spalitelný odpad	10,61	12,37	9,42
Elektrozařízení	0,56	0,46	0,32
Zbytek 20-40 mm	5,03	4,68	4,87
Zbytek 8-20 mm	2,79	3,22	7,79
Frakce < 8 mm	2,79	2,54	31,49
Celkem	100,00	100,00	100,00

Tabulka 1 Ukazatele skladby komunálních odpadů z domácností, dělení dle původu [2]

Obsah vody v komunálních odpadech (KO) z domácností kolísá mezi 23 - 32 % hmotnosti rovněž v závislosti na typu obytné zástavby. Vlhkost KO ze sídlištní i smíšené zástavby vykazuje podobné hodnoty i rámci porovnání celoročních hodnot, přičemž v průměru mají nižší vlhkost komunální odpady z venkovské zástavby [1].



Obrázek 1 Vývoj procentuálního podílu popela, hořlaviny a vlhkosti KO v průběhu roku [2]

Výpočty pro vzorky KO původem z domácností byly provedeny podle hmotnostního podílu jednotlivých složek a granulometrických frakcí. Průměrná výhřevnost KO z domácností se pohybuje mezi hodnotami 6,6 až 10,7 MJ/kg v závislosti na druhu obytné zástavby [1]. Z diagramu (Obrázek 1) zobrazujícího vývoj podílu popela, hořlavin a vlhkosti v průběhu roku je patrné, že se v těchto parametrech se složení odpadu v jednotlivých měsících výrazně liší a že zde existují podstatné rozdíly mezi venkovským odpadem a odpadem ze sídlišť. Obsah hořlaviny a vlhkosti je vyšší u sídlištní zástavby, kdežto obsah popela je vyšší u venkovské zástavby a nejvyšší je v období topné sezóny.

Pro srovnání uvádím hodnotu průměrné výhřevnosti odpadu v zařízení na energetické využití odpadů (ZEVO) Termizo Liberec, která dosahovala v letech 2004 - 2013 úrovně 10,07 GJ/t. [3] Podle údajů SAKO Brno za rok 2014 byla průměrná výhřevnost odpadů zpracovaných v tomto ZEVO 9,32 MJ/kg. V roce 2014 SAKO Brno vyrobilo 2 198,6 TJ tepla ze zpracování 235 802 tun spáleného odpadu [4].

Data z reálného provozu ZEVO potvrzují závěry studie Univerzity Karlovy o výhřevnosti komunálního odpadu.

1. Technologie energetického využití odpadu

Dle hierarchie nakládání s odpadem je energetické využití odpadů až na předposledním místě v preferovaných způsobech nakládání s odpady. Lze však předpokládat, že s postupujícím časem se bude jeho význam pro společnost zvyšovat. Hlavním důvodem rostoucího významu energetického využití odpadu je především omezování skládkování recyklovatelných nebo jinak využitelných materiálů na jedné straně a také nemožnost 100% recyklace odpadu na straně druhé. Pokročilé technologické procesy dnes sice umožňují navýšení výrobní kapacity sekundárních materiálových produktů s vyšší mírou recyklace určitého podílu odpadu na vstupu do zařízení (např. materiálově-biologické úpravy), přesto lze očekávat, že v budoucnu bude nutné udržitelně zpracovat stále větší část odpadu jiným způsobem než recyklací.

V současnosti existují následující možnosti tepelného zpracování odpadů [5]:

- **spalování**
- **pyrolýza**
- **zplyňování**

Dle zákona o ochraně ovzduší č. 201/2012 Sb. se tepelným zpracováním odpadu rozumí oxidace odpadu nebo jeho zpracování jiným termickým procesem, včetně spalování vzniklých látek, pokud by tím mohlo dojít k vyšší úrovni znečištění oproti spálení odpovídajícího množství zemního plynu o stejném energetickém obsahu.

Dle této definice spadají všechny tři výše uvedené technologie do kategorie zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO). Každá ze zmíněných technologií má ovšem svá specifika, přičemž pyrolýza a zplyňování odpadu jsou stále více vnímány jako ekonomicky výhodné a dostupné technologie pro zpracování komunálního odpadu (KO). [5]

Ačkoliv jsou všechny varianty energetického využívání odpadu známé již mnoho desetiletí, doposud se významně komerčně uplatnila pouze zařízení na spalování odpadu, která jsou i přes aplikaci tzv. primárních úprav (úprava procesu spalování v ohništi nebo komplexní denitrifikace) a sekundárních opatření (např. selektivní nekatalytická reakce) ze zmíněných přístupů nejméně šetrná k životnímu prostředí.

S nastupující érou uvědomění si lidského vlivu na přírodní ekosystémy nastává posun i v oblasti odpadového hospodářství. Koncem 80. let započal intenzivní výzkum a vývoj jak pyrolýzních, tak zplyňovacích procesů, což vedlo k tomu, že se dnes obě tyto alternativy ke klasickému spalování odpadů, začínají prosazovat v oblasti zpracování odpadů a jeho materiálovém a energetickém využití.

1.1 Spalování odpadu

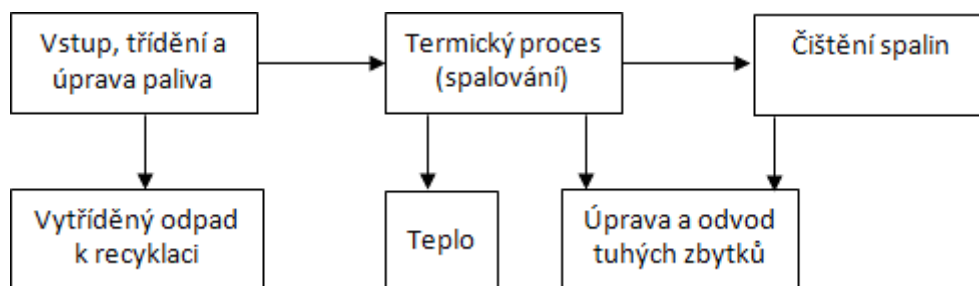
Spalováním odpadů se rozumí zpracování odpadů, při němž je v reaktivním prostoru obsah kyslíku stechiometrický nebo vyšší než je třeba k oxidaci přítomných látek spálením. Jedná se o kontrolovaný proces oxidace tuhých, kapalných nebo plynných látek na CO_2 , vodu, popel a další látky, které jsou obsaženy v kouřových plynech a popelu nebo nedopalu.

Spalování odpadů se dělí na nízkoteplotní (do $1000\text{ }^\circ\text{C}$) a vysokoteplotní (nad $1000\text{ }^\circ\text{C}$) a energeticky využít lze takto komunální odpad, průmyslový odpad, čistírenské kaly a další vstupy. [6]

Spalování odpadu probíhá ve spalovnách, tedy v zařízeních na energetické využití odpadu (ZEVO).

Spalovna odpadu je v zákoně o ochraně ovzduší definována jako stacionární zdroj určený k tepelnému zpracování odpadu, jehož hlavním účelem není výroba energie ani jiných produktů, dále jakýkoliv stacionární zdroj, ve kterém vzniká více než 40 % tepla tepelným zpracováním nebezpečného odpadu nebo zařízení, ve kterém se tepelně zpracovává neupravený směsný komunální odpad.

Schematicky je technologický proces spalování odpadu znázorněn na následujícím diagramu (Obrázek 2).



Obrázek 2 Proces spalování odpadu. Vlastní zpracování

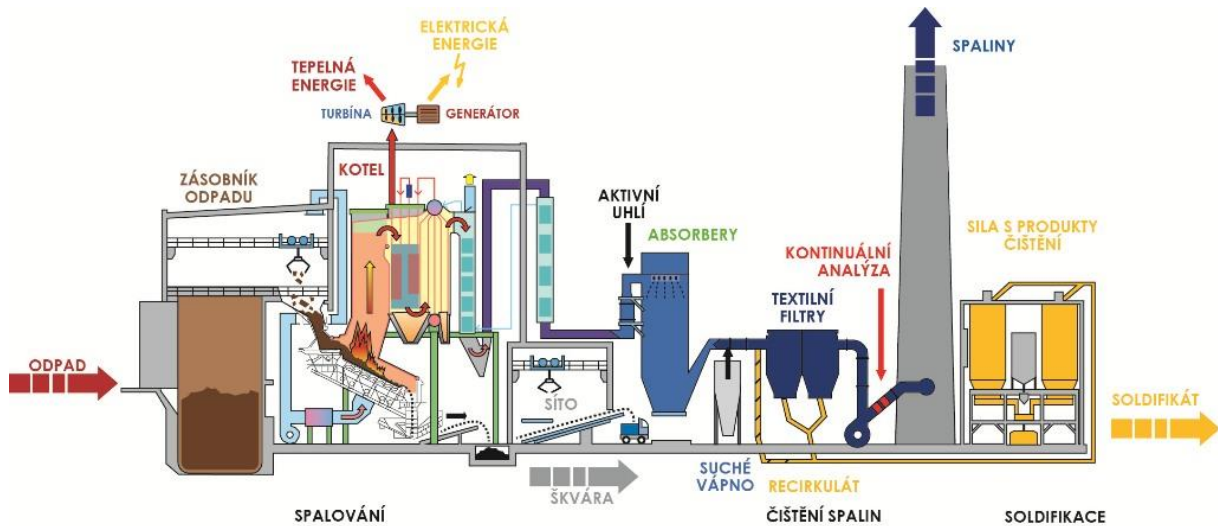
Jak je z diagramu patrné, vstupní surovinou je odpad, resp. palivo, z něhož jsou nejprve vyseparovány recyklovatelné složky, a po jejich vytřídění je vstupní surovina spálena, přičemž do pomocných nebo navazujících procesů vstupují rovněž pomocné suroviny, materiály a přídavné látky nebo chemikálie, při vzniku následujících výstupů:

- **Teplo**
- **Tuhé zbytky**
- **Škvára**
- **Popílek**
- **Železný šrot**
- **Plynné látky (CO_2 , SO_x , NO_x , CO , ...)**
- **Odpadní vody**

Před-třídění směsného KO (SKO), resp. odpadu z domácností, tj. odpadu určeného převážně pro energetické využití, je v České republice zajištěno zpravidla pouze prostřednictvím speciálních barevně odlišených kontejnerů na tříděný odpad a biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO). Klíčovou roli v procesu třídění odpadu tedy představují jeho původci. Odpad, který je uložen

v popelnicích a kontejnerech na směsný komunální odpad se sváží do zásobníků (bunkrů) spalovny a bez významnějšího zásahu do jeho složení nebo úpravy chemicko-fyzikálních vlastností je tento odpad spalován v kotlích.

Jak vypadá v praxi zařízení na energetické využití odpadu, zachycuje následující schéma (Obrázek 3).



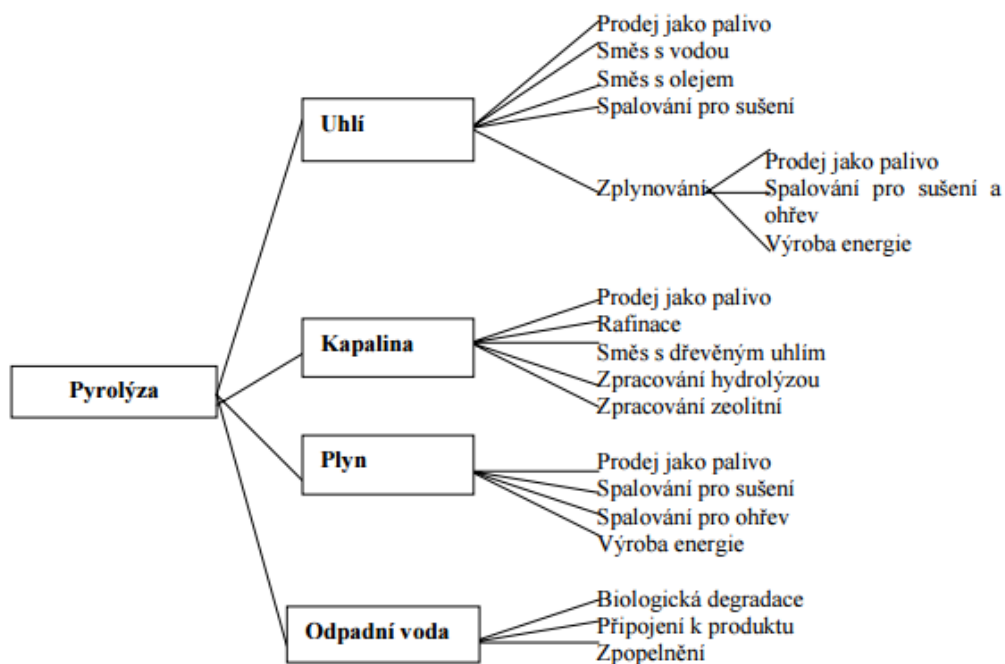
Obrázek 3 Schéma zařízení na energetické využití odpadů v Brně [7]

Na obrázku 3 je schematicky znázorněno zařízení na energetické využití odpadu v Brně - SAKO Brno. Jak je patrné ze schématu, významnou částí celé technologie je vícestupňové čištění spalin. K první fázi čištění dochází již v kotli, kde jsou redukovány oxidy dusíku ve spalinách, což představuje tzv. primární opatření a následně jsou v rámci sekundárních opatření ze spalin adsorpcí odstraněny těžké kovy a perzistentní organické látky typu PCB. Dále probíhá čištění spalin v absorbérech pomocí mokré vápencové vypírky a suché vápenné metody (přidáním hašeného vápna do proudu spalin). Poté spaliny putují na textilní elektrostatické filtry (ESP), kde se odlučují zbytky pevných částic. Účinnost takového systému čištění spalin od znečišťujících látek dosahuje hodnoty až 99 %. [7]

1.2 Pyrolýza

Pyrolýza je dle definice zákona č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší, tepelné zpracování odpadu jiným termickým procesem. Při pyrolýze dochází k dekompozici organického materiálu za úplné absence oxidačních činitelů (např. O_2).

Jak je patrné z diagramu (Obrázek. 4), škála produktů pyrolýzy je na rozdíl od produktů spalování odpadu velice pestrá, stejně tak jsou mnohem širší možnosti následného využití produktů pyrolýzy. Produkty pyrolýzy mohou vystupovat ze zařízení v pevné, kapalné i v plynné formě. Následnou úpravou produktů pyrolýzy např. pomocí rafinace je možné získávat alternativní produkty se srovnatelnými parametry jako při rafinaci fosilních paliv.



Obrázek 4 přehled produktů pyrolýzy [8]

Dle délky setrvání odpadu v pyrolýzním reaktoru a teplotě, při které proces probíhá, je rozlišována rychlá a pomalá pyrolýza.

Pomalá pyrolýza

Pomalá pyrolýza probíhá za nižších teplot typicky do 600 °C. Těkavé látky a tuhé uhelné zbytky setrvávají v reaktoru řádově v hodinách. Primárně uvolněné prchavé látky jsou zadrženy v reaktoru a dále se štěpí na sekundární produkty za vzniku plynů a dehtů. Tuhé zbytky se přemění na dřevěné uhlí, což je hlavní produkt pomalé pyrolýzy. [8]

Rychlá pyrolýza

Rychlá pyrolýza se dělí na nízkoteplotní (450 - 600 °C) a vysokoteplotní (700 – 900 °C). Doba setrvání materiálu v reaktoru se pohybuje v sekundách. Hlavními produkty při teplotě kolem 600 °C jsou pyrolýzní kapaliny – biooleje (výnos až 70 % ze suché základní suroviny). Při vyšších teplotách je hlavním produktem pyrolýzního procesu syntézní plyn. [8]

Obecně je možné říci, že technologie využívající pro rozklad organických materiálů pyrolýzu jsou často kombinovány s koncovým spalováním vzniklého syntézního plynu (toto platí i pro zplyňování). Vedle běžných cílů spalování (tzn. efektivní zpracování odpadů) existují u procesů pyrolýzy přídatné cíle (platí i pro zplyňování) [9]:

- konverze určitých frakcí odpadu na plyn (zvaný syntézní plyn)
- zmírnění požadavků na čištění plynů snížením objemu spalin

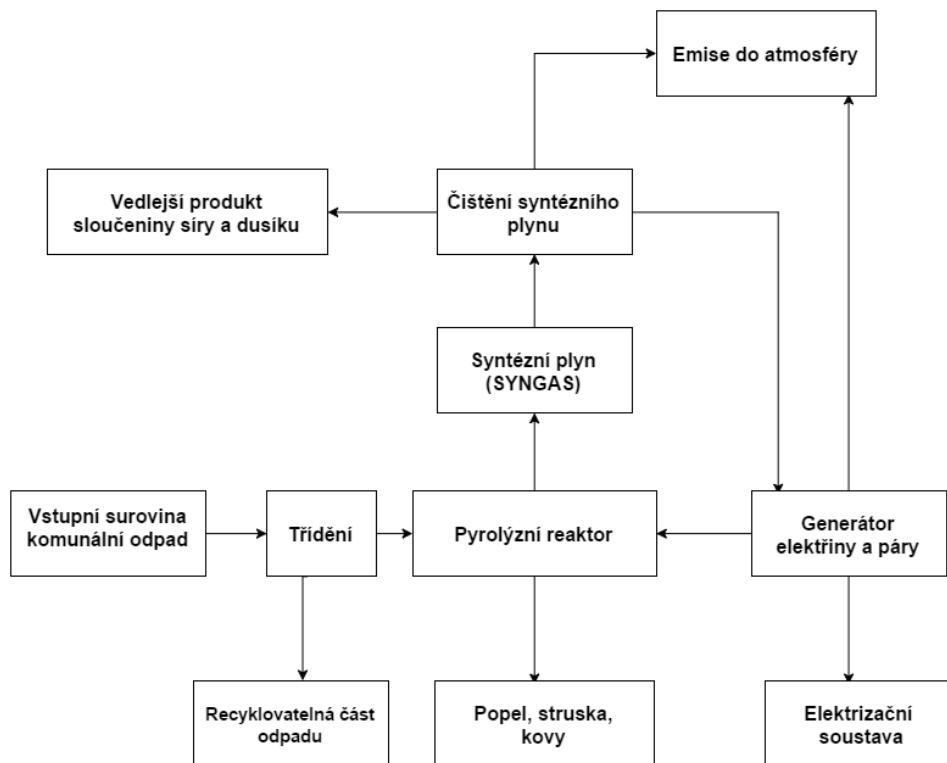
Jak pyrolýza, tak i zplyňování, se odlišují od spalování v tom, že mohou být použity k obnově chemické hodnoty odpadu. [9]

Odvozené chemické produkty mohou být potom v některých případech využity jako surovina pro další procesy, což je častý způsob využití pro pyrolytické zpracování odpadů.

Jako příklad komerční aplikace pyrolýzní technologie lze uvést technologii pomalého termického rozkladu PTR vyvinutou českým výrobcem Hedviga a.s. Tato společnost v průběhu roku 2016

instalovala jednotku na zpracování odpadu (konkrétně pneumatik) pod názvem PTR 1000 kW6 v bezemisní zóně na předměstí Londýna.

Jedna z možných aplikací pyrolýzní technologie, kdy je hlavním produktem syngas, který je následně využit k výrobě elektřiny, je znázorněna na následujícím obrázku (Obrázek 5).

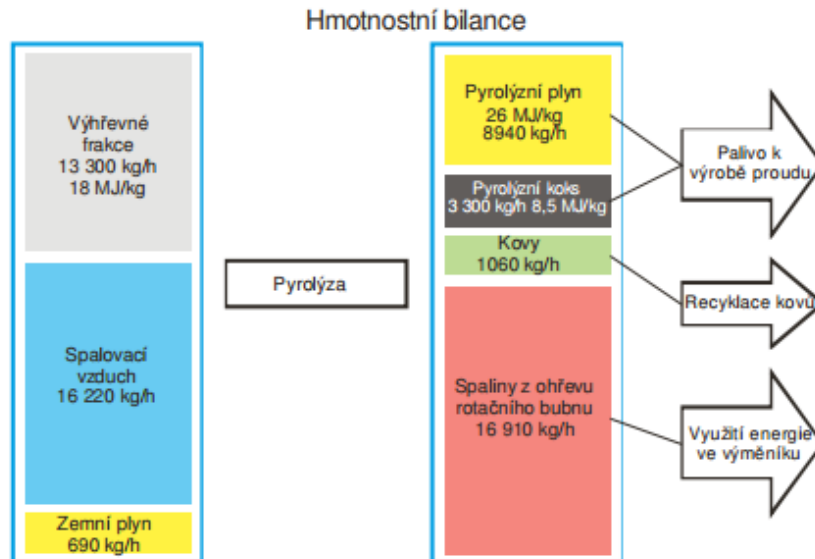


Obrázek 5 Schéma výroby syntézního plynu pyrolýzní technologií [5]

Jak je patrné ze schématu (Obrázek. 5), syngas vzniklý při pyrolýze je čištěn a poté pokračuje do výroby elektřiny. Část tepla vzniklého spalováním syntézního plynu při výrobě elektřiny se využije k zahřívání odpadu v pyrolýzním reaktoru. Tepelná přeměna v pyrolýzní jednotce probíhá v komoře s omezeným přístupem vzduchu. Podstatně nižší teplota konverzního procesu ve srovnání se zplyňováním však nedovoluje rozložit všechny organické látky na oxid uhelnatý, vodík a další prvky.

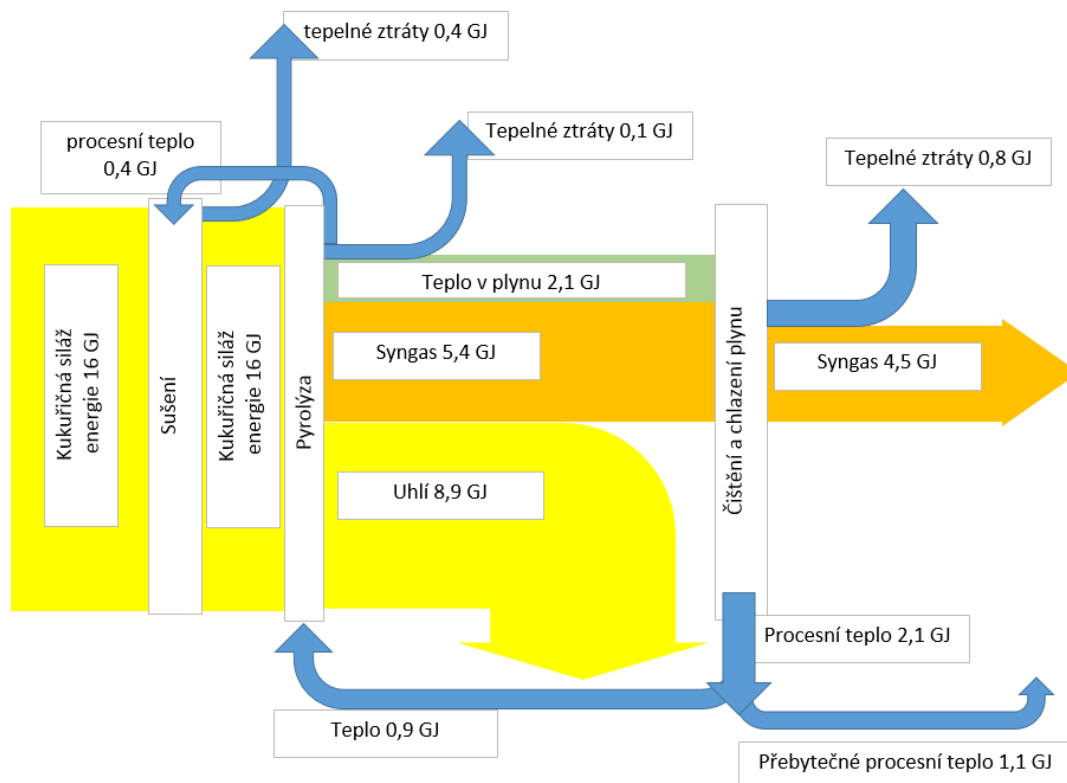
Plyn uvolňovaný při pyrolýze obsahuje těžké organické frakce (např. dehet), které se následně obtížně odstraňují, což vede například k organickému znečištění odpadních vod.

Jak je patrné z hmotnostní bilance pyrolýzy (Obrázek 6), do pyrolýzního procesu je nutné dodávat energii v podobě zemního plynu, který slouží k najíždění technologie. Po dosažení optimálního provozního stavu je již zajišťováno teplo pro endotermický pyrolytický proces z produkovaného syntézního (pyrolýzního) plynu.



Obrázek 6 Hmotnostní a energetická bilance pyrolýzy odpadů [10]

Pro dokreslení energetické bilance pyrolýzního procesu je uveden sankeyův digram (Obrázek 7) pro pyrolýzu jedné tuny kukuřičné siláže.



Obrázek 7 Sankeyův diagram pyrolýzního procesu jedné tuny kukuřičné siláže. Vlastní zpracování na základě [11]

V diagramu (Obrázek 7) je pro zjednodušení zanedbána iniciační energie zemního plynu, která je pro tuto konkrétní aplikaci 0,058 GJ.

Z výše uvedených skutečností vyplývá, že energetická bilance pyrolýzy je pozitivní a možnosti jejího uplatnění jsou velice široké nejen v odpadovém hospodářství, ale i v chemickém a ropném průmyslu.

1.3 Zplyňování

Zplyňování je podle [12] termochemická konverze organické (např. uhlíkaté) hmoty prostřednictvím substechiometrické oxidace, tj. množství O_2 vstupujícím do reakce menším než stechiometrickým.

Produktem zplyňování je syntézní plyn (syngas), jehož hlavními složkami jsou H_2 a CO , v menší míře jsou také zastoupeny CO_2 , H_2O a CH_4 , vyšší uhlovodíky a N_2 . Chemické reakce při zplyňování probíhají v rozmezí teplot 500 – 1400 °C. Tlakové podmínky se mohou lišit dle typu reaktoru, obecně se dá říci, že se zplyňování probíhá za atmosférického případně vyššího tlaku. Mezi hlavní média využívaná pro zplyňování patří stlačený vzduch, čistý kyslík, nebo pára, případně kombinace těchto plynů.

Technologický proces na bázi zplyňování je velmi podobný pyrolýze. Rozdíl je především v nutnosti přítomnosti oxidačního činitele, jinak je schéma celého procesu obdobné jako u pyrolýzy.

Pro zplyňovací proces v porovnání se spalováním platí níže uvedené charakteristiky [13]:

- Menší objem produkovaného plynu oproti objemu spalin při spalování
- Převažující tvorba CO nad CO_2 ;
- Kumulace nezplynělých částic ve formě vitrifikované strusky (při vysokoteplotním zplyňování);
- Menší a kompaktnější jednotky (obzvláště při tlakovém zplyňování);
- Možnost materiálového a energetického zužitkování syngasu;
- Menší toky odpadních vod z čištění syngasu.

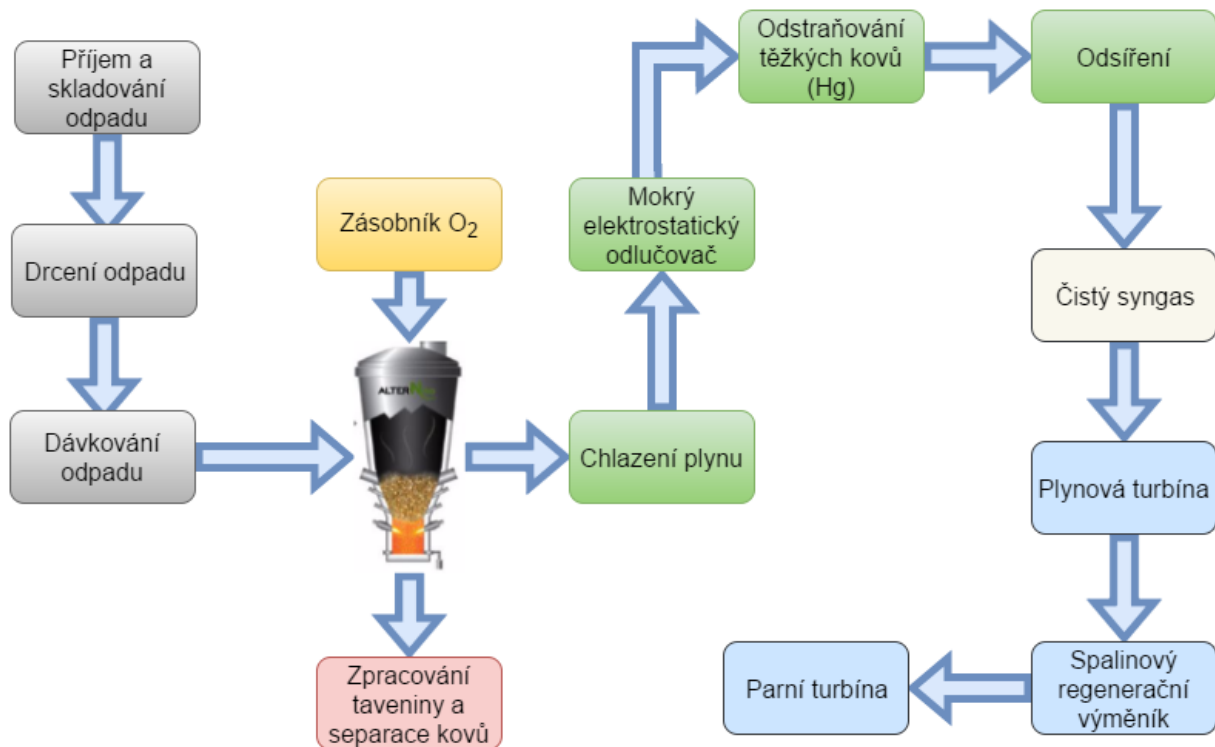
1.3.1 Plazmové zplyňování

Plazmové zplyňování odpadů je vysokoteplotní pyrolitický proces, při kterém jsou organické části odpadu transformovány na syngas, přičemž anorganické složky představují po zchlazení vedlejší produkt tzv. vitrifikovanou sklovitou strusku (nevyluhovatelý inertní produkt). [5]

Pro zpracování odpadu je využíváno plazmatu, které je obecně považováno za čtvrté skupenství hmoty. Jedná se o ionizovaný plyn, který je směsí elektronů, iontů a neutrálních částic. V procesu plazmového zplyňování je díky těmto vysokým teplotám možné zpracovat kromě komunálního odpadu také nemocniční odpad, průmyslové toxické nebezpečné odpady, chemická rozpouštědla apod.

Složení produkovaného syntézního plynu pomocí plazmového zplyňování je stejné jako u klasického zplyňování (především CO , H_2 a další prvky) přičemž platí, že složení surového a čistého syngasu je odvislé od složení a chemicko-fyzikálních parametrů odpadu na vstupu do zařízení. Vysoké teploty v procesu plazmového zplyňování je dosahováno pomocí elektrického oblouku v plazmovém hořáku. Během procesu plazmového zplyňování může dosahovat teplota plazmatu hodnot v intervalu 1 250 – 3 200 °C. [12]

Schematicky je proces plazmového zplyňování zachycen na následujícím obrázku.



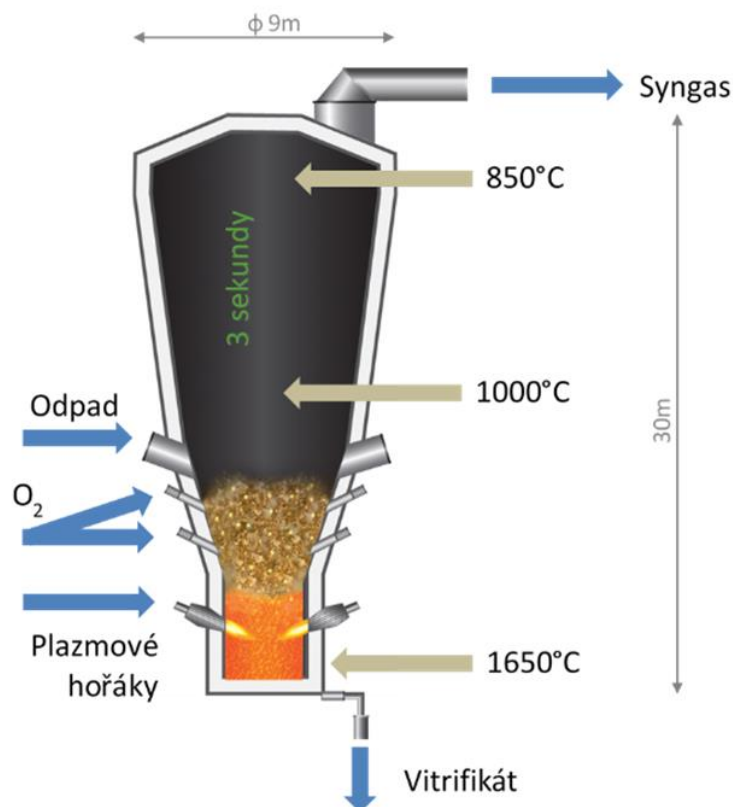
Obrázek 8 Schéma plazmového zplyňování odpadu. Vlastní zpracování na základě [14]

Ze schématu (Obrázek 8) je patrné, že se principiálně jedná o podobný proces jako v případě pyrolytického zpracování odpadu, přičemž v procesu plazmového zplyňování je dosahováno vyšších teplot za přítomnosti oxidačního činidla (např. vzduch nebo kyslík) v reaktoru.

1.3.1.1 Plazmový reaktor

Klíčovým prvkem celého systému zplyňování je plazmový vertikálně uspořádaný reaktor a pomocné technologie. Jak je patrné ze schématického popisu plazmového reaktoru (Obrázek 9), v reaktoru se nachází tři zóny.

V první zóně, která je v horní části reaktoru, vstupuje do reaktoru předtříděný a částečně homogenizovaný odpad v mixu s pomocným materiálem (slévárenský koks, vápenec). Přirozeným gravitačním působením odpad postupuje nádobou reaktoru, čímž vstoupí do tzv. zplyňovací zóny. Zde probíhá samotný proces zplyňování a konverze organických látek z odpadu, čímž vzniká syngas, který přirozeným tahem putuje do vrchní části reaktoru, kde se odvádí k dalšímu zpracování. Průměr reaktoru roste směrem od spodní části reaktoru, největší průměr má vrchní část reaktoru. Účelem takového konstrukčního uspořádání reaktoru je snížení rychlosti a teploty syntézního plynu opouštějícího reaktor. Takováto konstrukce také vede k minimalizaci obsahu pevných částic v syntézním plynu. [15]



Obrázek 9 Schématický popis plazmového reaktoru. Zdroj: PGP Terminal, a.s.

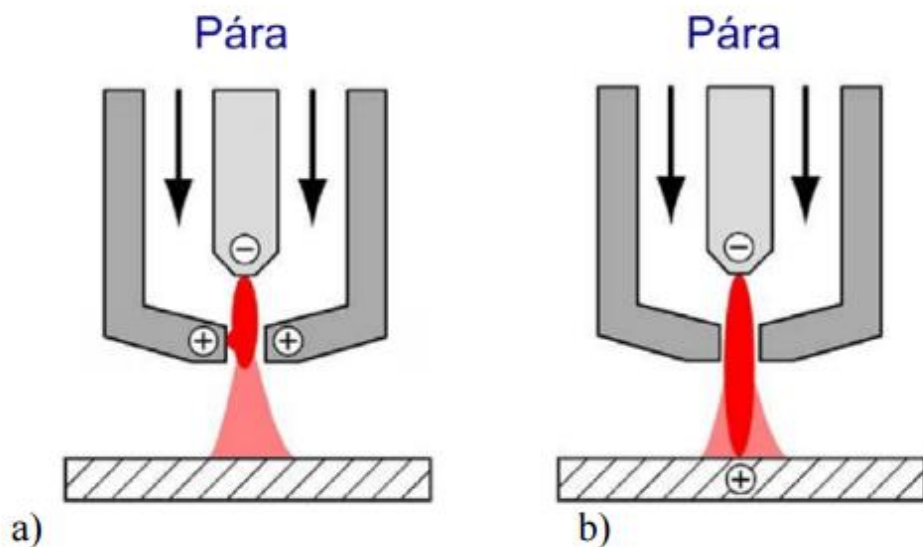
V třetí nejnížší vrstvě dochází k roztavení anorganických zbytků při vzniku taveniny, která přechází po vychladnutí do formy dále materiálově využitelných produktů - interní skelná strusky (tzv. vitrifikát) a separovaných kovů. Vysokých teplot je v reaktoru dosahováno pomocí plazmových hořáků (tzv. plazmatronů). V současnosti se využívají především dva principy pro vytvoření plazmového oblouku v reaktoru, jedná se o plazmové hořáky na stejnosměrný proud a indukční plazmové hořáky.

1.3.1.2 Technologie plazmových hořáků

Zařízení produkující termální plazma se nazývají plazmatrony či plazmové hořáky. V závislosti na primárním zdroji energie, kterým může být stejnosměrný proud (Direct Current), střídavý proud (Alternating Current) nebo elektromagnetická indukce (Radio Frequency) pak hovoříme o DC, AC nebo RF plazmových hořácích.

Rozdíly mezi jednotlivými typy plazmových hořáků jsou ve způsobu stabilizace obloukového výboje, geometrii elektrod, druhu nosného plynu, způsobu chlazení elektrod a způsobu toku nosného plynu.

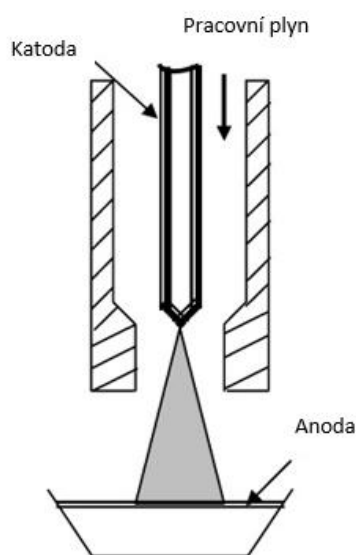
Další rozdělení plazmových hořáků, viz obrázek 10, je podle módu výboje (oblouku) v závislosti na tom, zda je oblouk elektricky propojen s vnějším prostorem (např. taveninou) v reaktoru, či nikoliv. Pokud hoří oblouk mezi elektrodou a taveninou je označován jako přenášený (přímý), pokud oblouk hoří mezi dvěma elektrodami, potom se jedná o tzv. nepřenášený (nepřímý) oblouk.



Obrázek 10 Na obrázku je znázorněn a) nepřenesený či nepřímý oblouk (Non-transferred arc); b) přenesený či přímý oblouk (transferred). [16]

DC plazmový hořák

Mezi anodou a katodou plazmového hořáku prochází stejnosměrný proud, dojde k vytvoření plazmového oblouku a souběžným průchodem pracovního plynu přes prstencový prostor hořáku se vytvoří extrémně vysoká teplota, v řádech tisíců kelvinů. Plazmové hořáky na stejnosměrný proud jsou v současnosti nejvíce používané, kvůli jejich stabilnějšímu provoznímu režimu, větší možnosti kontroly nad parametry oblouku, nižší spotřebě elektřiny i pomalejšímu opotřebovávání elektrod v porovnání s plazmovým hořákem na střídavý proud. [17]

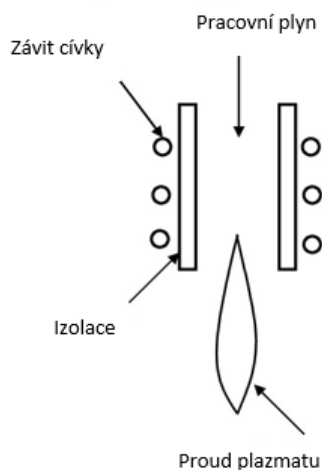


Obrázek 11 Schematické zobrazení stejnosměrného plazmového hořáku [17]

RF plazmový hořák

Plazma je v tomto případě vytvářeno pomocí cívky, kterou prochází střídavý proud. Cívka vytváří vysokofrekvenční magnetické pole, které ionizuje plyn procházející jejím jádrem. Indukční ohřev se vyznačuje absencí elektrod, čímž je zabráněno kontaminaci plazmy kovovými částicemi.

Nevýhodou radiofrekvenčních plazmových hořáků je jejich nízká účinnost přeměny energie, které se pohybuje v rozmezí 40 - 70 %. Nízká účinnost RF plazmových hořáků je důvodem proč se vývoj plazmových hořáků pro zplyňování odpadu zaměřuje především na stejnosměrné plazmové hořáky [18].

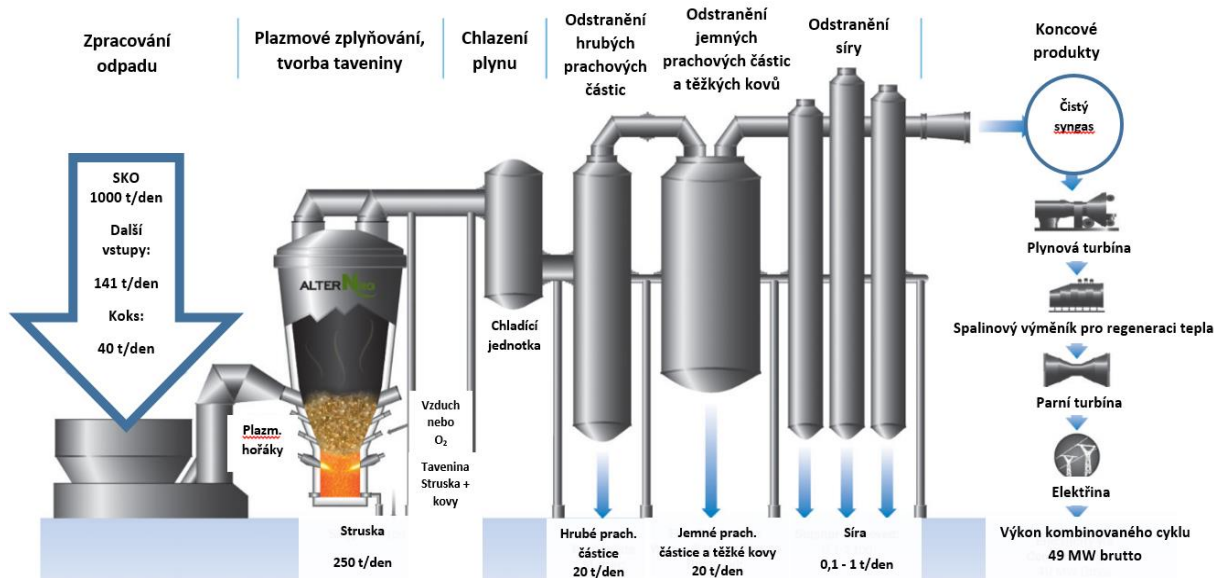


Obrázek 12 Schematické zobrazení indukčního plazmového hořáku [17]

1.3.2 Materiálové a energetické využití odpadu plazmovým zplyňováním

Zpracování odpadu a jeho přeměna na elektrickou energii prostřednictvím plazmového zplyňování se jeví jako perspektivní alternativa energetického využití odpadu. Z pohledu efektivity kombinované výroby elektřiny a tepla se mezi nejúčinnější technologické procesy pro energetické využití odpadu řadí:

- roštové spalování s navazujícím parním cyklem a KVET;
- integrovaná technologie plazmového zplyňování s navazujícím parním cyklem (IPGSC – integrated Plasma Gasification Combined Cycle) a KVET v konfiguraci s parní turbínou;
- integrovaná technologie plazmového zplyňování s navazujícím kombinovaným cyklem (IPGCC - Integrated Plasma Gasification Combined Cycle) a KVET v typickém uspořádání paroplynového cyklu s využitím odpadního tepla spalin produkovaných ve spalovací turbíně, kdy jsou spaliny využity k produkci páry v kotli na odpadní teplo, která je následně vedena na lopatky parní turbíny.



Obrázek 13 ZEVO v technologické konfiguraci integrovaného parního cyklu (IPGCC) [14]

Další variantou sektorové aplikace technologie plazmového zplyňování pro energetické využití odpadu je samostatná výroba tepla prostřednictvím spalování syntézního plynu (syngasu), případně samostatná výroba elektřiny prostřednictvím plynové nebo parní turbíny. Konkrétní aplikace záleží na místních podmínkách, typu zpracovávaného odpadu, možnostech odběru jednotlivých forem energie a ceně, za kterou je možno elektřinu a teplo vyrobené v zařízení, založeném na technologii plazmového zplyňování prodávat.

V této práci bude zkoumána technologie integrovaného kombinovaného cyklu společnosti Westinghouse, která je také známá pod označením WPG (Westinghouse Plasma Gasification). Tato technologie umožňuje efektivně rozložit všechny složky odpadu (organické i anorganické) na základní složky využitelné pro rekuperaci nebo recyklaci. Hlavní součástí systému WPG je plazmový reaktor, který je vybaven dvěma či více plazmovými obloukovými hořáky.

Plazmový reaktor pracuje v substechiometrických podmínkách, tj. že v reaktoru je přítomno nedostatečné množství oxidačního činidla pro vznícení zpracovávaného materiálu. Díky podmínkám v reaktoru dochází k termickému rozkladu odpadu. Plazmový zplyňovací reaktor tedy není spalovacím systémem. Díky vysokým teplotám v řádu několika tisíc stupňů celsia je teplo vyvinuté plazmatronem schopno rozložit i toxický odpad během několika milisekund a zároveň se takovýmto způsobem zpracování zamezuje vzniku nežádoucích sekundárních produktů a škodlivých látek, běžně vznikajících při spalování odpadu.

Vysoké teploty jsou také nezbytně nutné pro úplné rozštěpení atomů organických materiálů za účelem přeměny jejich molekulární struktury na syntézní plyn. Anorganická složka odpadu je působením vysoké teploty roztavena a na dně reaktoru vytvoří taveninu, která po vyvedení z nádoby reaktoru, následném ochlazení a zatuhnutí, tvoří materiálově využitelný produkt - vitrifikát.

Energetického využití odpadů je tedy dosahováno spalováním syntézního plynu na spalovací turbíně, s následným využitím spalin ze spalovací turbíny v kotli na odpadní teplo (HRSG - Heat Recovery Steam Generator), který produkuje páru, jež se využívá v parní turbíně pro pohon elektrického generátoru.

Aby bylo možné používat syntézní plyn jako palivo, je třeba nejprve jej zchladit, vyčistit od pevných částic a oddělit veškeré kyselé plyny (jako např. HCl a H₂S) a další nežádoucí složky (např. kadmium nebo rtuť).

Jakmile je syntézní plyn ochlazen, prochází přes tkaninový filtr, kde je zbaven veškerých aerosolových a pevných částic. Hrubé prachové částice jsou vráceny zpět do plazmového reaktoru, kde se rozloží a stanou se součástí strusky. Kyselé složky na bázi halogenových prvků (HCl, HF) jsou zachycovány v absorpční pračce (koloně), zařazené za tkaninový filtr.

Po průchodu pračkou je plyn stlačen v základním nízkotlakém „kyselém“ kompresoru. Tento kompresor zvýší tlak syntézního plynu na přibližně 6 až 10 barů. Syntézní plyn je dále veden do jednotky pro záchyt H₂S.

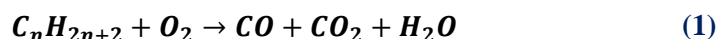
Systém WPG vytváří dva vedlejší produkty standardní pro plazmové zplyňování, oba produkty je možné dále využít ať již materiálově nebo energeticky, jsou to:

1. **Syntézní plyn**
2. **Vitrifikát - inertní sklovitá struska**

1.3.2.1 Syntézní plyn

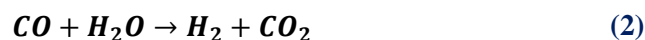
Působením vysoké teploty v reaktoru dojde k rozštěpení všech molekul organických látek obsažených ve zpracovávaném materiálu - odpadu. Při zplyňování odpadu probíhá nejdříve tepelné štěpení, při němž se složité molekuly štěpí na jednodušší, tj. na uhlovodík a plyny s obsahem vodíku - směs těchto plynů je nazývána syntézní plyn. Další reakcí je částečná oxidace, která usnadňuje vznik CO, vzniká také malé množství CO₂ a H₂O. Částečná oxidace je umožněna díky substechiometrickému množství oxidačního činidla v reaktoru. Oxid uhličitý a vodík snižují výhřevnost syntézního plynu, takže je důležité, aby tyto oxidační reakce probíhaly jen minimálně. [19]

Organické látky jsou zplyněny dle obecné rovnice [19]:

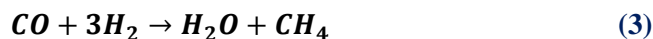


Poměr vznikajícího CO a CO₂ je regulovatelný množstvím přidávaného oxidačního činidla, kterým může být například kyslík nebo vodní pára.

Zvýšení koncentrace vodíku může být dosaženo katalyticky pomocí tzv. water gas shift reakce:



Zvýšení koncentrace CH₄ může být dosaženo pomocí metanizace:



Složení vznikajícího syntézního plynu závisí na teplotě v jednotlivých zónách reaktoru. Na výsledné složení syntézního plynu mají vliv použitá oxidační činidla, jejich koncentrace a použité příměsi. [20]

Kromě syntézního plynu během zplyňování vznikají další nežádoucí látky. Jedná se o pevné částice, dehet, alkálie, sloučeniny síry (H₂S, CS₂ a organické sloučeniny), dusíku (NH₃ a HCN), halogenů a jiné. Tyto látky musí být z produkovaného plynu odstraněny. Zastoupení nečistot v plynu je závislé na technologii zplyňování a na složení zplyňovaného materiálu.

Nároky na čistotu plynu se liší dle jeho následné aplikace. Obecně existují dva základní přístupy k čištění plynu, které se vzájemně doplňují, obdobně jako je tomu u spalovacích procesů. Jedná se o:

1. **Primární opatření**
2. **Sekundární opatření**

Primární opatření jsou metody týkající se samotného procesu zplyňování, které se uplatňují přímo v reaktoru. Jsou to např. volba vhodného zplyňovacího média, vhodné teploty zplyňování, vhodného tlaku zplyňování apod.

Sekundárními opatřeními jsou metody za použití navazujících za použití navazujících technologií, jako jsou např. cyklóny, filtry, mokré vypírky (skrubry), katalytické reaktory a jiné. V rámci sekundárního čištění se dají rozlišit dva základní přístupy k čištění plynu:

1. **Nízkoteplotní**
2. **Vysokoteplotní**

Nízkoteplotní čištění v sobě zahrnuje kontakt plynu s kapalinou, tedy olejem anebo vodou. Plyn bývá ochlazen až pod bod varu těchto kapalin. Pro některé aplikace musí být ale plyn následně znovu zahřát na vyšší teplotu.

Aby nemusel být plyn nejdříve ochlazován a následně opět zahříván, čímž dochází ke ztrátám exergie plynu, je možné použít **vysokoteplotní čištění** plynu, při kterém jsou jednotlivé nečistoty odstraňovány pomocí sorpčních a katalytických metod za vyšších teplot.

Využitelnost produkovaného plynu závisí primárně na jeho kvalitě, tj. výhřevnosti, obsahu využitelných složek a na jeho čistotě. Z hlediska energetického obsahu lze produkovaný plyn dělit na nízko energetický plyn a středně energetický plyn.

Nízko výhřevný plyn o výhřevnosti $2,5 - 8,0 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ bývá nejčastěji využíván pro průmyslový otop nebo je spoluspalován za účelem kombinované výroby tepla a elektrické energie. Jeho využitelnost pro náročnější aplikace je omezená.

Plyn o výhřevnosti větší než $8 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ bývá používán pro energeticky efektivnější kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie (KVET) ve srovnání s nízko výhřevným plynem.

Středně výhřevný plyn bývá použit i jako plyn využitelný v syntézních procesech při produkci rozličných chemikálií či transportních paliv. Plyn produkovaný k dalšímu chemickému využití mívá navíc upraven poměr jednotlivých složek (CO a H_2) v závislosti na konkrétní aplikaci. Elektrickou energii a teplo je možné vyrábět z energetického plynu v tepelných strojích, tj. plynovém kotli, plynovém motoru nebo plynové turbíně, v palivových člancích či v kombinovaném cyklu.

Možnost využití v jednotlivých zařízeních závisí primárně na čistotě a tlaku plynu. Při použití plynového motoru jsou na čistotu plynu kladeny výrazně nižší požadavky než při použití plynové turbíny nebo vysokoteplotního palivového článku. [19]

Podle informací poskytnutých společností PGP Terminal, a.s. jsou v produkovaném syntézním plyně o výhřevnosti $5,5 - 12 \text{ MJ}\cdot\text{m}^{-3}$ po procesu čištění nežádoucí složky ve velmi nízkých koncentracích, konkrétně viz Tabulka 2.

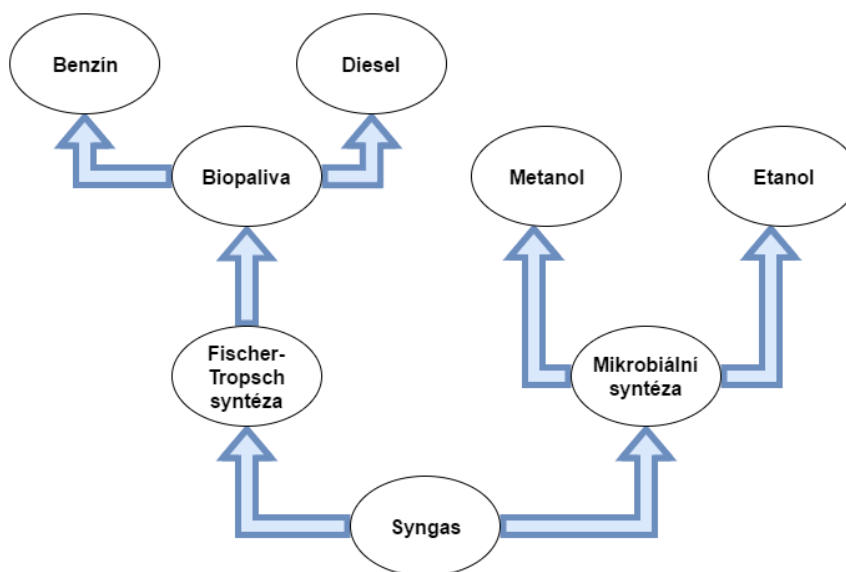
Typ nežádoucí složky	Množství [ppmw]
Síra	< 200
Alkalické kovy	< 1
Prvky 12. skupiny periodické tabulky (Zn, Cd, Hg)	< 1
Halogeny	< 1
Prachové částice	< 20

Tabulka 2 Koncentrace nežádoucích příměsí syngasu po procesu jeho čištění (ppmw = počet hmotnostních částí v milionu)

Syntézní plyn může být dále využit jako surovina k výrobě široké škály produktů od syntetických alternativ k ropným produktům až po výrobu metanolu nebo etanolu s využitím syntézních procesů a dalších konverzních metod.

Materiálové využití syngasu

Materiálově je možné využít syngas například k výrobě vodíku nebo kapalných paliv. Aplikací Fischer-Tropsch syntézy je možné vyrobit ze syngasu biopaliva. Mikrobiální syntézou v probublávaném reaktoru je zase možné ze syngasu získat metanol nebo ethanol. Syngas je tedy možné zušlechtit pomocí známých a ověřených konverzních procesů do energeticky hodnotnějších forem využitelných například v dopravě. [21]



Obrázek 14 Možnosti zušlechtní syngasu prostřednictvím syntézních procesů [21]

1.3.2.2 Inertní sklovitá struska

Tento vedlejší produkt je také nazýván vitrifikát. Anorganické podíly odpadu vytvářejí strusku v tekutém stavu, která je ze spodní části reaktoru odváděna a po ochlazení tvoří inertní zbytkový materiál se skelnou strukturou. U vitrifikátu byly zjištěny nižší hodnoty vyluhovatelnosti, než povolují směrnice Světové zdravotnické organizace. Tuto strusku lze recyklovat ve formě stavebního a zásypového materiálu např. použitím při výstavbě silnic, jako plnivo do betonových směsí nebo je recyklována jakožto produkt o vyšší přidané hodnotě (např. izolační vlna) apod.

Těžké kovy	Jednotka	Rozlišovací schopnost měřicího zařízení	Průměrná naměřená hodnota pro strusku	JLT-46 Limit
Arsen	ppm	0,001	<0,001	0,01
Kadmium	ppm	0,001	<0,001	0,01
Chrom	ppm	0,005	<0,005	0,05
Olovo	ppm	0,001	<0,001	0,01
Rtuť	ppm	0,0001	<0,0001	0,005
Selen	ppm	0,001	<0,001	0,01

Tabulka 3 Naměřené hodnoty vyluhovatelnosti těžkých kovů ze skelné strusky produkované závodem Mihama-Mikata a srovnání s japonskými normami vyluhovatelnosti. [22]

Z tabulky 3 vyplývá, že všechny hodnoty vyluhovatelnosti byly pod detekčními možnostmi měřicího přístroje. Lze tedy předpokládat, že uvedené hodnoty s dostatečnou rezervou splňují přísné japonské normy.

1.3.2.3 Spaliny

Ve zkušebním zařízení zpracovávajícím 10 tun komunálního odpadu denně pomocí plazmového zplyňování v korejském Cheongsongu bylo provedeno v průběhu roku 2010 měření, jehož cílem bylo zjistit složení spalin na výstupu z komína. Vzhledem k testovacím účelům byl generovaný syntézní plyn pouze spalován ve spalovací komoře bez jeho energetického využití. V tabulce 4 jsou zachyceny denní průměry z měření jednotlivých typů emisí.

Datum měření	CO (ppm)	HCl (ppm)	TZL (mg/m³)	NO_x (ppm)	NO_x (mg/m³)	SO_x (ppm)	SO_x (mg/m³)
14.1.2010	2,00	1,29	3,70	5,00	9,69	3,00	8,46
29.1.2010	2,00	2,03	3,40	10,00	19,40	3,00	8,46
12.2.2010	7,00	1,67	3,50	13,00	25,20	7,00	19,70
3.3.2010	4,00	1,20	4,10	8,00	15,50	5,00	14,10
12.3.2010	3,00	2,09	3,90	11,00	21,30	6,00	16,90
26.3.2010	5,00	1,11	5,20	22,00	42,60	3,00	8,46
16.4.2010	4,00	1,19	3,40	8,00	15,50	5,00	14,10
30.4.2010	2,00	3,01	4,70	7,00	13,60	7,00	19,70
15.5.2010	6,00	1,74	4,90	8,00	15,50	5,00	14,10
28.5.2010	3,00	2,40	4,20	9,00	17,40	3,00	8,46
14.6.2010	5,00	1,78	4,00	8,00	15,50	3,00	8,46
4.8.2010	2,00	1,56	4,40	8,00	15,50	3,00	8,46
13.8.2010	6,00	2,64	5,20	8,00	15,50	7,00	19,70
27.8.2010	9,00	2,13	4,60	19,00	36,80	4,00	11,30

Datum měření	CO (ppm)	HCl (ppm)	TZL (mg/m ³)	NO _x (ppm)	NO _x (mg/m ³)	SO _x (ppm)	SO _x (mg/m ³)
10.9.2010	10,00	1,79	4,20	6,00	11,60	4,00	11,30
2.10.2010	1,00	2,75	3,90	6,00	11,60	3,00	8,46
8.10.2010	2,00	2,62	2,50	5,00	9,69	3,00	8,46
22.10.2010	9,00	2,08	3,80	13,00	25,20	4,00	11,30
5.11.2010	5,00	1,62	4,60	16,00	31,00	3,00	8,46
19.11.2010	2,00	2,23	3,60	16,00	31,00	3,00	8,46
14.12.2010	6,00	1,43	5,40	13,00	25,20	5,00	14,10
Průměr	4,52	1,92	4,15	10,43	20,20	4,24	11,95

Tabulka 4 Měření emisí na výstupu z komína po spálení syntézního plynu [23]. Hodnoty ppm přepočteny na mg/m³ pomocí [24].

Jak je patrné z tabulky 4 nejvyšší koncentrace NO_x byla v březnu a to 42,3 mg/m³. Nejvyšší koncentrace SO_x bylo dosaženo v únoru, dubnu a srpnu a to 19,7 mg/m³. Pro TZL byla nejvyšší koncentrace 5,4 mg/m³ naměřena v prosinci. Na základě naměřených hodnot lze konstatovat, že technologie plazmového zplyňování komunálního odpadu odpovídá českým legislativním emisním normám platnými pro spalovny odpadu dle vyhlášky č. 415/2012 Sb., viz tabulka 5.

Znečišťující látka	Emisní limit [mg.m-3]			
	Denní průměr	Půlhodinové průměry		10 minutový průměr
		97%	100%	95%
TZL	10	10	30	
NO _x	200	200	400	
SO ₂	50	50	200	
TOC	10	10	20	
HCl	10	10	60	
HF	1	2	4	
CO	50		100	150

Tabulka 5 Emisní limity pro spalovny odpadů. [25]

2. Energetické využití odpadů v legislativě

Pro nakládání s odpady a jejich případné energetické využití je důležitá také legislativní úprava této problematiky. V následující kapitole je souhrn nejdůležitějších legislativních opatření vztahující se k dané problematice jak na evropské, tak národní úrovni. Část této kapitoly je také věnována možným státním podporám energetického využívání odpadů.

2.1 Legislativa Evropské unie

V EU existuje několik druhů právních aktů, které se od sebe odlišují mírou právní závaznosti. Z pohledu závaznosti je nejsilnějším právním aktem Unie nařízení, které je právně závazné a platí v celém svém rozsahu v celé EU.

Dalším právním aktem EU je směrnice. Směrnice je právní akt určující cíl, kterého jsou povinny všechny členské země EU dosáhnout. Způsob dosažení takovýchto cílů a formulace národní legislativy je však v gesci jednotlivých členských států. Dalšími právními akty jsou pak např. rozhodnutí, doporučení nebo stanovisko.

Právo Evropské Unie funguje na následujících dvou zásadách ve vztahu k vnitrostátnímu právu členských států. První je zásada přímého účinku práva EU v členských státech a druhá je zásada přednosti práva EU před vnitrostátními právními normami členských států. [26] Z předchozího textu tedy vyplývá, že právo evropské unie významným způsobem zasahuje do národního práva ve všech oblastech, na kterých se členské státy zavázaly spolupracovat. Spolupráce v oblasti energetiky a životního prostředí patří k takovýmto oblastem.

Následuje výčet legislativních opatření vztahujících se k energetickému využití odpadů:

1. **Směrnice č. 98/2008**
2. **Směrnice č. 76/2000**
3. **Referenční dokument BREF o nejlepších dostupných technikách (BAT) v oblasti spalování odpadů (waste incineration) - tzv. BREF WI**

2.1.1 SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (ES) č. 98/2008

Jedná se o směrnici o odpadech, ve které je mj. definována hierarchie nakládání s odpady nebo povinnost tvorby plánů pro nakládání s odpady. Dále tato směrnice upravuje způsoby využívání odpadu. Způsob využití komunálního odpadu jako paliva za účelem výroby energie, je označován jako využití R 1.

Způsob využití R 1 zahrnuje zařízení pro spalování, která zpracovávají pevný komunální odpad, pouze pokud se jejich energetická účinnost rovná nebo je vyšší než 0,65 pro zařízení povolená po 31. prosinci 2008, respektive 0,60 pro starší zařízení. Energetická účinnost se stanoví dle následujícího vzorce.

$$\eta_e = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97(E_w + E_f)} \geq 0,65 \text{ (0,60)} \quad (4)$$

E_p [GJ/rok] roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny. Vypočítá se tak, že se energie ve formě elektřiny vynásobí faktorem 2,6 a teplo vyrobené pro komerční využití faktorem 1,1

E_f [GJ/rok] roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry

E_w [GJ/rok] roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočtené s použitím výhřevnosti odpadů

E_i [GJ/rok] roční dodaná energie bez E_w a E_f

0,97 [-] činitel k započtení energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování. Tento vzorec se použije v souladu s referenčním dokumentem o nejlepších dostupných technikách pro spalování odpadů BREF.

2.1.2 Směrnice Evropského parlamentu a rady 2000/76/ES

V této směrnici o spalování odpadů je rozhodující právní definice, která zařazuje technologii plazmového zplyňování do kategorie spalování odpadů. Dle této směrnice je totiž spalovacím zařízením stacionární nebo mobilní technická jednotka a zařízení určené k tepelnému zpracování odpadů, s využitím tepla vzniklého spalováním nebo bez něho. To zahrnuje spalování oxidací odpadu stejně jako další způsoby tepelného zpracování, jako je např. pyrolýza, zplyňování nebo plazmové procesy, pokud jsou látky tímto zpracováním vzniklé následně spáleny.

Tato směrnice také zavádí pojem smíšený komunální odpadem (mixed municipal waste), kterým se rozumí odpad z domácností stejně jako živnostenský, průmyslový odpad a odpad z úřadů, který je svou charakteristikou a složením podobný odpadu z domácností.

2.1.3 BREF/BAT

Jedná se o referenční dokumentaci stanovující tzv. Nejlepší dostupné techniky (BAT - Best Available Techniques). Pro oblast spalování odpadů byl vydán referenční dokument pod názvem BREF WI (Waste incineration), tento dokument byl vytvořen na základě evropského legislativního rámce. Aktuálně platný BREF WI je z roku 2006, vzhledem k jeho stáří probíhá v současnosti revize tohoto dokumentu, jejímž výsledkem bude aktualizovaná verze BREF WI.

Původní BREF vznikl na legislativních základech Směrnice Rady č. 96/61/ES o integrované prevenci a omezování znečištění, která byla později nahrazena směrnicí 2008/1/ES. Dalším legislativou související s dokumentem BREF WI je potom směrnice o spalování odpadů 2000/76/ES a směrnice 2001/80/ES o omezení emisí některých znečišťujících látek do ovzduší z velkých spalovacích zařízení.

Dokumentu BREF WI nyní prochází revizí. Účelem revize je kromě aktualizace dokumentu také vytvoření souladu se směrnicí Evropského parlamentu č. 2010/75/EU o průmyslových emisích (integrované prevenci a omezování znečištění).

Emisní limity pro spalování odpadů jsou uvedeny v tabulce 6. Tyto limity jsou stanoveny pro normální podmínky (tlak 101,325 kPa abs., teplota 0°C) a referenční obsah kyslíku 11 % (obj.) v suchých spalínách.

složka		emisní limit daný legislativou	požadavek BAT	jednotka
TZL		10	1–5	mg/m _N ³
SO ₂		50	1–40	mg/m _N ³
NO _x		200	40–100 (SCR) 120–180 (SNCR)	mg/m _N ³
CO		50	5–30	mg/m _N ³
TOC		10	1–10	mg/m _N ³
HCl		10	1–8	mg/m _N ³
HF		1	< 1	mg/m _N ³
těžké kovy	Cd, Th	0,05		mg/m _N ³
	Hg	0,05		mg/m _N ³
	Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5		mg/m _N ³
PCDD/F		0,1		ng TEQ/m _N ³

Pozn.: hodnoty jsou vztaženy na 11 % ref. O₂

Tabulka 6 Emisní limity pro spalování odpadů dle české legislativy a jejich porovnání s BAT

V tabulce jsou dále uvedeny maximální hodnoty polutantů, které bývají běžně vyžadovány pro schválení projektů energetického využití odpadu (EVO) (např. v rámci studie vyhodnocení vlivů na životní prostředí - EIA). Tyto požadavky jsou součástí dokumentace BREF/BAT (Best Available Techniques Reference Document), který zahrnuje různá doporučení pro zařízení spalující odpad. Kromě požadavků na systém čištění spalín jsou v tomto dokumentu obsažena například i doporučení vztahující se k systému využití tepla nebo minimalizaci vlastní spotřeby energií. [27]

V následující tabulce (Tabulka 7) jsou uvedeny vybrané aspekty BREF WI pro spalování odpadu v porovnání s technologií plazmového zplyňování.

Spalování odpadu (konvenční technologie)	Plazmové zplyňování odpadu (technologie WPC)
Nakládání s ložovým popelem odděleně od popílku a jiných zbytků z čištění spalin, aby se vyloučila kontaminace ložového popela a tím zlepšil potenciál jeho dalšího využití. Kotelní popel může mít podobnou, ale i velmi odlišnou úroveň kontaminace oproti ložovému popeli – BAT znamená také posouzení každého odděleného proudu tuhých odpadů, který vzniká v provozu zařízení, z hlediska jeho potenciálu dalšího využití, ať již samostatně nebo v kombinaci.	Plazmové zplyňování neprodukuje ložový ani kotelní popel. Anorganické složky vstupního odpadu jsou vitrifikovány a jsou proto materiálově využitelným produktem.
Tam, kde se použije běžné odprášení, by se mělo na základě vyhodnocení chemického složení takto získaného popílku posoudit, zda je vhodný pro přímé využití, pro další čištění či k odstranění.	Tuhé částice z odprášení syntetického plynu jsou vráceny zpět do zplyňovacího reaktoru k vitrifikaci.
Vyřídění zbytkových železných a neželezných kovů obsažených v ložovém popeli co možná nejlépe se zřetelem na upotřebitelnost a efektivnost dalšího využití.	Kovy jsou separovány z vitrifikátu před jeho ochlazením a mohou být využity materiálově.
Zpracování ložového popela buď v místě vzniku (tzv. on-site) anebo mimo místo vzniku (tzv. off-site)	Ložový popel nevzniká.
Zpracování zbytků z čištění spalin (on-site/off-site), v rozsahu požadovaném ke splnění podmínek pro příjem odpadů dle zvolené varianty zařízení k nakládání s ním, včetně zohlednění použití technologií pro úpravu zbytků z čištění spalin.	Zbytky z čištění syntetického plynu jsou primárně vráceny zpět do procesu zplyňování a přecházejí do vitrifikátu.

Tabulka 7 Vybrané aspekty BREF WI pro spalování odpadu a jejich srovnání s technologií plazmového zplyňování

Lze konstatovat, že technologie plazmového zplyňování odpadů odpovídá ve všech relevantních bodech požadavkům BREF WI, viz vybrané parametry v tabulce 7. Je tedy možné technologii plazmového zplyňování využívat pro zpracování odpadů resp. jejich energetické využití za současného plnění požadavku na aplikaci nejlepší možné dostupné techniky (BAT).

2.2 Česká republika

Legislativa ČR v oblasti nakládání s odpady a jejich následného využívání je velmi rozsáhlá a složitá. V následující kapitole budou rozebrány klíčové dokumenty pokrývající danou problematiku. Jedná se především o:

1. **Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR)**
2. **Zákon o odpadech 185/2001 Sb.**
3. **Zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.**

2.2.1 Plán odpadového hospodářství ČR (POH ČR)

Ústředním dokumentem upravujícím problematiku nakládání s odpady je Plán odpadového hospodářství (POH) ČR, který byl schválen vládou ČR na konci prosince 2014.

V souvislosti s POH ČR bylo vydáno nařízení vlády č. 352/20014 Sb., které mj. určuje strategické a závazné cíle odpadového hospodářství ČR pro období 2015 - 2024.

Závazné cíle POH jsou následující:

1. **Předcházení vzniku odpadů** a snižování měrné produkce odpadů.
2. **Minimalizace nepříznivých účinků vzniku odpadů** a nakládání s nimi na lidské zdraví a životní prostředí.
3. **Udržitelný rozvoj společnosti** a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“.
4. **Maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství.**

Dalším cílem vyplývajícím ze zmiňovaného nařízení vlády je, aby byl **směsný komunální odpad** (po vytrídění materiálově využitelných složek, nebezpečných složek a biologicky rozložitelných odpadů) **využíván zejména energeticky** v zařízeních k tomu určených dle platné legislativy. Tímto cílem se v ČR otevírá prostor pro výstavbu dalších ZEVO, tedy i pro potenciální aplikaci technologie plazmového zplyňování odpadů v ČR.

V současné době jsou v ČR čtyři velké ZEVO:

1. **Malešice v Praze** se zpracovatelskou kapacitou **330 000 tun** odpadu ročně.
2. **SAKO Brno**, které je schopno za rok zpracovat **248 000 t** odpadu.
3. **Termizo (Termické zpracování odpadů) v Liberci**. Termizo bylo uvedeno do provozu roku 1999 a má kapacitu **96 000 tun**.
4. **Chotíkov nedaleko Plzně**. Zařízení v Chotíkově se navzdory velkému množství komplikací podařilo uvést do zkušebního provozu v srpnu 2016. Roční zpracovatelská kapacita ZEVO Chotíkov je **95 000 tun odpadu**.

Současná **kapacita velkých českých ZEVO pro zpracování komunálního odpadu je tedy 769 000 tun** odpadu ročně. Aktuální kapacita ZEVO v ČR odpovídá očekávanému vývoji dle POH, viz tabulka 8. Problém ovšem může nastat se zajištěním požadovaného budoucího nárůstu kapacity, především pokud bude realizován prostřednictvím výstavby nových ZEVO. Zkušenosti ze ZEVO Chotíkov ukazují, že na realizaci takového zařízení je v současnosti potřeba minimálně 7 let (počítáno od referenda o ZEVO konaném v Chotíkově v září 2009 až do uvedení ZEVO do zkušebního provozu v srpnu 2016).

Rychleji dosažitelnou možností nárůstu zpracovatelské kapacity je rozšíření kapacit již existujících ZEVO. Tento přístup ovšem naráží na omezení v podobě nutnosti rozšiřování spádové oblasti odpadu (prodražování dopravy a nárůst její intenzity), prostorová omezení z hlediska rozšiřování technologie jednotlivých ZEVO, kapacitní možnosti bunkrů (sklad odpadu před jeho transportem do kotle) apod.

Navýšení kapacit reálně zvažují v SAKO Brno, kde je v plánu navýšit zpracovatelskou kapacitu o 80 000 tun. Nárůst kapacity ZEVO Malešice je dle Územní energetické koncepce hl. města možný o 100 000 tun odpadu ročně. V libereckém Termizu s nárůstem kapacity nepočítají. [28]

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024
Kapacita (Mt)	0,63	0,63	0,68	0,72	0,72	0,72	0,8	0,95	1,15	1,25	1,37	1,47

Tabulka 8 Roční kapacity zařízení pro energetické využití komunálního odpadu (Mt) - očekávaný vývoj dle POH

Z výše uvedeného vyplývá, že je možné plnit POH plánovaný nárůst zpracovatelských kapacit pouhým navyšováním kapacity existujících ZEVO do roku 2020. Takto je možné dosáhnout roční zpracovatelské kapacity zhruba 930 000 tun odpadu ročně v roce 2020, což zhruba odpovídá 950 000 t plánovaným dle POH pro rok 2020.

Problém v plnění plánu nárůstu kapacit nastane mezi roky 2021 až 2024, kdy by postupně měla přibýt zpracovatelská kapacita 500 000 t, toho nebude možné dosáhnout jiným způsobem než výstavbou nových ZEVO. Vzhledem k tomu, že realizace doposud posledního nově postaveného ZEVO Chotíkov trvala sedm let, je pravděpodobné, že se v následujících letech v ČR nestihnou vybudovat dostatečné zpracovatelské kapacity ZEVO. Je tedy reálně ohrožena schopnost ČR využívat odpad jako druhotnou surovinu pro výrobu energie dle současně nastavených legislativních plánů.

Analogickým dokumentem k POH ČR pro oblast nakládání s odpady je **Státní energetická koncepce (SEK) ČR** v oblasti energetiky, jejíž aktualizovaná verze tzv. ASEK byla schválena v květnu 2015. Odpad je dle ASEK považován za druhotný zdroj, jehož energetické využívání je preferováno i v rámci Aktualizované energetické koncepce. Energetické využití odpadů je tedy podporováno ve dvou strategických vládních dokumentech ČR. Cílem Ministerstva průmyslu a obchodu (MPO) zodpovědného za ASEK a Ministerstva životního prostředí (MŽP) zodpovědného za POH ČR, by tak mělo být nalezení vhodného způsobu, jak umožnit rozšíření zpracovatelských kapacit zařízení na energetické využití odpadů tak, aby mohlo dojít k naplnění cílů obou strategických dokumentů.

Jednou z klíčových možností pro navýšení kapacit ZEVO v souladu s POH bude vypsání investiční podpory v rámci Operačního programu životní prostředí, viz kapitola Investiční podpora.

Dalším klíčovým faktorem ovlivňujícím potenciál pro výstavbu zařízení na energetické využití odpadu je, že v ČR bude od roku 2024 zakázáno na skládky ukládat směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem. Tento zákaz je stanoven zákonem o odpadech 185/2001 Sb.

2.2.2 Zákon o odpadech 185/2001 Sb.

Základním zákonem, který v ČR upravuje problematiku odpadů, je Zákon o odpadech 185/2001 Sb. Zákon o odpadech stanovuje v souladu s evropskými právními normami pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, zdraví člověka a trvale udržitelného rozvoje. Dále tento zákon upravuje práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a také působnost orgánů veřejné správy. Tento zákon také mj. upravuje poplatky za ukládání odpadů na skládku, což je jeden z možných nástrojů pro omezování skládkování odpadů. Skládkování komunálního a recyklovatelného odpadu je pak tímto zákonem zakázáno od roku 2024.

V průběhu podzimu 2016 byla projednávána legislativní radou novela odpadového zákona, jejíž součástí je postupný nárůst poplatku za skládkování využitelného odpadu ze současných 500 Kč/t na 1 850 Kč/t viz tabulka 9. Legislativní rada vlády ovšem přerušila projednávání novely odpadového zákona, především kvůli námitkám ze strany České asociace odpadového hospodářství, jenž dlouhodobě bojuje proti snahám o legislativní omezování skládkování.

rok	2015	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Kč/t	500	900	1 150	1 350	1 550	1 700	1 850

Tabulka 9 Navrhovaný nárůst poplatku za skládkování využitelného komunálního odpadu. Zdroj MZP

Dokud bude skládkování nejlevnější alternativou pro zpracování odpadu, tak bude jeho omezování velice složité. Postupný nárůst poplatků v novele zákona o odpadech lze považovat za adekvátní a nezbytný nástroj pro urychlení procesu omezení skládkování a zavedení pokročilých technologií pro materiálové a energetické využití odpadu.

Navyšování poplatku za skládkování odpadu se může promítnout do poplatku za provoz systému shromažďování, sběru, přepravy, třídění, využívání a odstraňování komunálních odpadů tzv. poplatek za popelnici, který platí fyzické osoby. Maximální výše tohoto poplatku je stanovena zákonem 565/1990 o místních poplatcích ve výši 1 000 Kč/osoba/rok. Výši poplatku si stanovují jednotlivě obce, v roce 2016 se poplatek pohyboval mezi 0 - 790 Kč/osoba/rok. [29] Míra promítnutí navýšení poplatku za skládkování do poplatku za popelnici by záležela na jednotlivých obecních samosprávách.

Optimální variantou by bylo zavedení poplatku dle skutečně vyprodukovaného množství odpadu, která by občany motivovala k vyšší míře separace odpadu a jeho nižší produkci. Riziko takového přístupu je ovšem v možném nárůstu počtu černých skládek, kdy se budou občané snažit vyhnout možným případným vyšším výdajům za produkovaný odpad.

2.2.3 Další podstatné zákony

Významným zákonem ovlivňující sektor nakládání s odpadem je zákon č. 201/2012 Sb., **Zákon o ochraně ovzduší**. V tomto zákoně jsou mimo jiné upraveny podmínky pro tepelné zpracování odpadu, nakládání s odpady a odpadními vodami nebo podmínky získání autorizace pro vykonávání dohledu nad tepelným zpracováním odpadu.

Před získáním územního rozhodnutí a stavebního povolení k výstavbě ZEVO je nutné vypracovat projít procesem posouzení vlivů na životní prostředí tzv. **EIA (Environmental Impact Assessment)**. V rámci tohoto procesu jsou hodnoceny budoucí vlivy plánovaných staveb na veřejné zdraví a na životní prostředí. Proces EIA je veden krajským úřadem nebo Ministerstvem životního prostředí v závislosti na velikosti a míře ochrany stavbou dotčeného území. Proces EIA upravuje zákon č. 100/2001 Sb., **o posuzování vlivů na životní prostředí**, kde je uvedena kategorizace staveb v souvislosti s povinností podstoupení procesu EIA.

Podmínky a proces tzv. integrovaného povolování upravuje **zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci**. Tento zákon se týká zařízení, u kterých lze předpokládat vysoké riziko negativního vlivu na životní prostředí. Takovýmito zařízeními jsou např. spalovny odpadu, slévárny, velké skládky, tepelné elektrárny apod. Tyto zařízení potřebují pro svůj provoz tzv. integrované povolení. V integrovaném povolení jsou stanoveny závazné podmínky k provozu takového zařízení jako např. emisní limity zdroje apod.

Energetické využití má také podpořit **vyhláška č. 387/2016** upravující podmínky pro ukládání odpadů na skládky. Výstup z úpravy směsných komunálních odpadů může být ukládán na skládku dle této vyhlášky, pouze pokud jeho výhřevnost v sušině nepřekročí hodnotu 6,5 MJ/kg, což odpovídá zhruba 4,5 MJ/kg standardní výhřevnosti vzorku odpadu. Jedná se tedy o snížení z hodnoty původní hodnoty standardní výhřevnosti odpadu 8 MJ/kg na hodnotu cca 4,5 MJ/kg. [30]

2.3 Možnosti podpory plazmového zplyňování odpadů

Tato podkapitola shrnuje možnosti získání provozní podpory pro výrobu tepelné a elektrické energie z EVO včetně podmínek jejího dosažení. S touto problematikou souvisejí zejména následující právní předpisy ČR:

1. Zákon č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů
2. Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 441/2012 Sb. o stanovení minimální účinnosti užití energie při výrobě elektřiny a tepelné energie
3. Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů
4. Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu č. 477/2012 Sb. o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů
5. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu, kterým se stanovuje podpora pro podporované zdroje energie

2.3.1 Provozní podpora

Pro ZEVO s kogenerační výrobou elektřiny a tepla obecně připadají v úvahu tyto možnosti čerpání provozní podpory.

1. **zelený bonus na výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů energie (OZE)**
2. **zelený bonus na výrobu elektřiny z druhotných zdrojů energie (DZE)**
3. **příplatek na výrobu elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla (KVET)**
4. **Provozní podpora tepla (Zelený bonus na teplo)**

V cenových rozhodnutích vydávaných ERÚ, které upravují výši provozní podpory jednotlivých typů výroben elektřiny a tepla, je uvažováno s podporou výroben využívající k výrobě elektřiny nebo tepla spalování odpadu. Do budoucna by proto bylo vhodné tuto definici rozšířit tak, aby pod ní spadaly všechny termické způsoby likvidace odpadu s následným využitím uvolněné energie k výrobě elektřiny a tepla.

Dále budou uvedeny jednotlivé typy provozních podpor a části cenového rozhodnutí, které se týkají provozní podpory výroben využívající energii ze spalování komunálního odpadu. Provozní podporu spaloven odpadu zde uvádím proto, že v praktické části této práce bude ověřena možnost ZEVO využívající plazmové zplyňování odpadu, jehož provozní podpora by odpovídala výši provozní podpory spalovny.

V době vypracování této práce bylo aktuálně platné cenové rozhodnutí č. 5/2016 a 9/2016. V cenovém rozhodnutí je provozní podpora zařízení na energetické využití odpadu nejprve řešena v části **A) Všeobecná ustanovení**. V této části se omezuje výše provozní podpory pro zdroje vyrábějící elektřinu spalováním odpadu, viz tabulka 10.

Výše nevratné investiční podpory [%]	0 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 50	50 - 100
Snížení provozní podpory výrobním elektřiny využívající energii ze spalování komunálního odpadu	0,00 %	14,00 %	21,00 %	28,00 %	35,00 %

Tabulka 10 Snížení provozní podpory na základě výše investiční podpory dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 5/2016

2.3.1.1 Podpora výroby elektřiny z obnovitelných zdroj (OZE)

Další relevantní částí cenového rozhodnutí z pohledu energetického využití odpadu je část **B) Výkupní ceny a zelené bonusy na elektřinu**. Konkrétně v části 1.7. Výkupní ceny a roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny z biomasy je stanovena provozní podpora výroby elektřiny ze spalování odpadu nebo jeho společným spalováním s jinými palivy. Tato provozní podpora je určena pro zdroje uvedené do provozu od 1. 1. 2016 do 31. 12. 2017 její konkrétní výše je uvedena v tabulce 11.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Jednotarifní pásmo provozování	
	Od	Do	Výkupní cena [Kč/MWh]	Zelený bonus [Kč/MWh]
Výroba elektřiny spalováním komunálního odpadu nebo společným spalováním komunálního odpadu s různými zdroji energie	1.1.2016	31.12.2017	1720*	1 060

Tabulka 11 Výše provozní podpory dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 5/2016

* Výkupní cena je pouze informativní a není možné ji nárokovat, viz § 12 zákona č. 165/2012 Sb., ve znění pozdějších předpisů. V odstavci 4 tohoto zákona se uvádí, že pro výrobu elektřiny z druhotných zdrojů (tedy i odpadu) neplatí ustanovení o povinnosti vypisování výkupních cen (zelených bonusů), tak aby bylo dosaženo patnáctileté doby prosté návratnosti investic. Toto ustanovení se vztahuje také na podporu elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla.

Pravidla podpory upřesňuje zákon 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie. Tento zákon uvádí, že v případě elektřiny vyrobené energetickým využitím komunálního odpadu se podpora elektřiny z obnovitelných zdrojů vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou z biologicky rozložitelné části komunálního odpadu. Dále upřesňuje, že v případě nevytříděného komunálního odpadu stanoví podíl biologicky rozložitelné a nerozložitelné části na energetickém obsahu komunálního odpadu prováděcí právní předpis. Tímto předpisem je Vyhláška č. 477/2012 Sb., ve které je uvedeno, že je podíl biologicky rozložitelné části nevytříděného komunálního odpadu na celkovém energetickém obsahu 60 %, pokud výrobce energie neprokáže vyšší hodnotu.

Provozní podpora formou garantované výkupní ceny nebo zeleného bonusu je v aktuálně platném cenovém rozhodnutí č. 5/2016, které stanovuje výši podpory pro rok 2017.

2.3.1.2 Podpora výroby elektřiny z druhotných zdroj (DZE)

V případě elektřiny vyrobené energetickým využíváním komunálního odpadu se podpora elektřiny z druhotných zdrojů vztahuje pouze na elektřinu vyrobenou z jeho biologicky nerozložitelné části při splnění podmínky, že se jedná o elektřinu vyrobenou při kombinované výrobě elektřiny a tepla.

V cenovém rozhodnutí č. 9/2015 v části **2.2. Roční zelené bonusy na elektřinu pro výrobu elektřiny spalováním komunálního odpadu a ostatních druhotných zdrojů** je specifikována provozní podpora pro takovéto výroby elektřiny uvedené do provozu do 31. 12. 2015. Výše zeleného bonusu v této kategorii provozní podpory byla pro rok 2016 stanovena na 45 Kč/MWh. V aktuálně platných cenových rozhodnutích č. 5/2016 a č. 11/2016 je však podpora 45 Kč/MWh stanovena pouze pro zdroje uvedené do provozu do 31. 12. 2012.

Jak je zmíněno výše pro výrobu elektřiny z druhotných zdrojů (tedy i odpadu) neplatí ustanovení o povinnosti vypisování výkupních cen (zelených bonusů), tak aby bylo dosaženo patnáctileté doby prosté návratnosti investic.

Minimální účinnost užití energie je stanovena vyhláškou č. 441/2012 sb. a je podmínkou pro přiznání podpory elektřiny z DZE a elektřiny a tepla z OZE dle zákona o podporovaných zdrojích. Minimální účinnost užití energie se stanovuje dle typu výroby elektřiny.

Dále je uveden způsob výpočtu minimální účinnosti při výrobě elektřiny a při kombinované výrobě elektřiny a tepla ve výrobně se jmenovitým tepelným příkonem do 50 MW, což odpovídá dosavadním realizovaným projektům v oblasti plazmového zplyňování odpadů. Účinnost se pro paroplynový cyklus, jež je z pohledu výroby elektřiny nejúčinnější, stanoví jako poměr součtu fyzikálního ekvivalentu elektřiny měřené na svorkách generátorů a užitečné tepelné energie dodané z výroby k celkové energii paliva spáleného v plynové turbíně a ve spalínovém kotli (popř. také v palivovém kotli, je-li instalován).

$$\eta_{et} = \frac{3,6(E_{SV}^S + E_{SV}^O + E_{SV}) + Q_{tep} + Q_V^{OV}}{Q_{pal}^S + Q_{pal}^O + Q_{pal}^d + Q_{pal}^k} * 100 [\%] \quad (5)$$

- E_{SV} [MWh] elektřina vyrobená v parním turbosoustrojí
- E_{SV}^O [MWh] elektrická energie vyrobená v plynovém turbo soustrojí při provozu do obchozu (bez využití odpadního tepla)
- E_{SV}^S [MWh] elektrická energie vyrobená v plynovém turbo soustrojí při provozu se spalínovým kotlem
- E_{VS} [MWh] část vlastní spotřeby elektřiny ve výrobně připadající na výrobu elektřiny včetně transformačních ztrát (do vlastní spotřeby není zahrnut kompresor plynu)
- Q_{pal}^d [GJ] energie paliva spáleného v kotli pomocí přitápěcího hořáku
- Q_{pal}^k [GJ] energie paliva spáleného v palivovém kotli, který dodává další páru do parního turbo soustrojí, pokud je ve výrobně instalován
- Q_{pal}^O [GJ] elektrická energie vyrobená v plynovém turbosoustrojí při provozu do obchozu
- Q_{pal}^S [GJ] energie paliva spáleného v plynové turbíně při provozu s kotlem
- Q_{tep} [GJ] tepelná energie dodaná z výroby (užitečné teplo)
- Q_V^{OV} [GJ] tepelná energie dodaná vodě v nízkoteplotním ohříváku spalínového kotle (ve vychlázovací smyčce) pro vytápění nebo jiné účely, nikoliv pro napájení spalínového kotle

2.3.1.3 Podpora elektřiny z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla

V **cenovém rozhodnutí č. 9/2015** v části 3 je stanovena podpora pro elektřinu z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla (dále „elektřina z KVET“). Roční zelený bonus na elektřinu z KVET se skládá ze dvou sazeb – základní a doplňkové. Doplňková sazba zeleného bonusu ve výši 155 Kč/MWh je ovšem pouze pro výroby spalující odpad uvedené do provozu do 31. 12. 2012. Vzhledem k tomu, že se doplňková sazba vztahuje pouze na již fungující ZEVO, nebudu tuto podporu ve své práci uvažovat.

Základní sazba zeleného bonusu elektřiny z KVET je určena zvlášť pro výroby s instalovaným elektrickým výkonem do 5 MWe a zvlášť pro výroby s vyšším instalovaným elektrickým výkonem.

Základní roční zelený bonus na elektřinu z KVET pro výrobu elektřiny s celkovým instalovaným výkonem kogeneračních jednotek nad 5 MWe je uveden v následující tabulce.

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Instalovaný výkon výroby [kW]	ÚPE [%]	Účinnost výroby energie [%]	Zelený bonus [Kč/MWh]
	od	do	od	od	od	
Elektřina z KVET vyrobená v nové nebo modernizované výrobně elektřiny	1. 1. 2013	31. 12. 2015	5 000	15	45	200

Tabulka 12 Výše provozní podpory KVET nad 5 MWe dle cenového rozhodnutí ERÚ č. 5/2015

Pro dosažení této podpory je nutné dodržet ukazatel Úspory primární energie (ÚPE) a minimální účinnost výroby energie (viz. kapitola Podpora elektřiny z druhotných zdrojů energie).

Výpočet úspory primární energie je stanoven ve vyhlášce č. 37/2016 Sb. o elektřině z vysokoúčinné kombinované výroby elektřiny a tepla a elektřině z druhotných zdrojů. Při výpočtu ÚPE jde obecně o určení úspory primární energie v palivu, které je dosaženo kombinovanou výrobou elektřiny a tepla oproti výrobě stejného množství energie v oddělené výrobě elektřina a tepla stejným typem zdroje.

Výše úspory primární energie (ÚPE) při kombinované výrobě elektřiny a tepla se pro kogenerační jednotku vypočte podle následujícího vzorce.

$$UPE = 1 - \frac{1}{\frac{\eta_q^T}{\eta_r^T} + \frac{\eta_e^T}{\eta_f^T}} * 100 \text{ [%]} \quad (6)$$

$$\eta_q^T = \frac{Q_{už}}{Q_{PAL KVET}} [-] \quad (7)$$

$$\eta_e^T = \frac{E_{KVET}}{Q_{PAL KVET}} [-] \quad (8)$$

η_q^T [-] účinnost tepla z kombinované výroby elektřiny a tepla definovaná jako množství užitečného tepla vyrobeného v kogenerační jednotce dělené množstvím části celkového paliva připadající na výrobu elektřiny pocházející z kombinované výroby elektřiny a tepla, mechanické energie a užitečného tepla

η_e^T [-] elektrická účinnost kombinované výroby elektřiny a tepla definovaná jako množství elektřiny vyrobené v kogenerační jednotce vázané na výrobu užitečného tepla dělené množstvím části celkového paliva připadající na výrobu

elektřiny pocházející z kombinované výroby elektřiny a tepla, mechanické energie a užitečného tepla; pokud kogenerační jednotka vyrábí mechanickou energii, může být elektřina z kombinované výroby elektřiny a tepla navýšena o množství elektřiny ekvivalentní této mechanické energii

η_r^V	[-]	harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu tepla uvedená v přímo použitelném předpisu Evropské unie, kterým se stanoví harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla
η_r^E	[-]	harmonizovaná referenční hodnota účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny stanovená podle přímo použitelného předpisu Evropské unie, kterým se stanoví harmonizované referenční hodnoty účinnosti pro oddělenou výrobu elektřiny a tepla přizpůsobená průměrným klimatickým podmínkám v České republice na průměrnou roční teplotu 8 °C
E_{KVET}	[MWh]	množství elektřiny z kombinované výroby elektřiny a tepla
$Q_{už}$	[MWh]	množství užitečného tepla
$Q_{PAL KVET}$	[MWh]	část množství celkového paliva připadající na výrobu elektřiny pocházející z kombinované výroby elektřiny a tepla, mechanické energie a užitečného tepla

Způsob výpočtu E_{KVET} , $Q_{PAL KVET}$, je možné dohledat ve vyhlášce č. 37/2016.

V aktuálně platných cenových rozhodnutích 11/2016 a 5/2016 není pro zdroje uvedené do provozu v roce 2013 a novější vypsána podpora KVET s výjimkou zdrojů využívajících k výrobě tepla bioplyn BRKO, statková hnojiva nebo vedlejší produkty živočišné výroby.

2.3.1.4 Zelený bonus na teplo

Provozní podpora tepla je určena zákonem 165/2012, který uvádí, že se provozní podpora vztahuje na teplo vyrobené společným spalováním obnovitelného zdroje (biologicky rozložitelná část komunálního odpadu - BRKO) s druhotným zdrojem.

Aktuální výše Zeleného bonusu pro zdroje uvedené do provozu do roku 2017 je 51 Kč/GJ. Také na tento typ podpory se vztahuje podmínka dodržení minimální účinnosti užití energie stanovená vyhláškou 441/2012.

2.3.2 Investiční podpora

Pro zařízení na energetické využití odpadu přichází v úvahu možnost čerpat prostředky z Operačního programu Životní prostředí (OPŽP). Veškeré informace týkající se OPŽP v této kapitole jsou převzaty z webových stránek programu - www.opzp.cz.

OPŽP nabízí v období 2014–2020 z Fondu soudržnosti a Evropského fondu pro regionální rozvoj zhruba 2,6 miliardy eur. Cílem OPŽP je ochrana a zlepšování kvality životního prostředí v České republice.

OPŽP 2014–2020 je rozdělen do následujících prioritních os:

1. Zlepšování kvality vody a snižování rizika povodní
2. Zlepšování kvality ovzduší v lidských sídlech
- 3. Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika**
4. Ochrana a péče o přírodu a krajinu
- 5. Energetické úspory**

Prioritní osou, která specifikuje podporu ZEVO je prioritní osa 3 - Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika. Konkrétně se jedná o plnění specifického 3.2 - Zvýšit podíl materiálového a energetického využití odpadů. Mezi hlavní cíle patří podporovat způsoby nakládání s odpady, které využívají odpad jako zdroj druhotných surovin, podporovat recyklaci odpadu a nakládání s odpady, které vede ke zvýšení ekonomické hodnoty odpadu.

Relevantní podporované aktivity v souvislosti s výstavbou ZEVO:

- výstavba a modernizace zařízení pro materiálové využití odpadů,
- výstavba a modernizace zařízení na energetické využití odpadů a související infrastruktury,
- výstavba a modernizace zařízení pro nakládání s nebezpečnými odpady včetně zdravotnických odpadů (vyjma skládkování).

Případná podpora může dosahovat až **85 % z celkových způsobilých výdajů** na projekt (výjimečně i 100 % u některých opatření na ochranu přírody). V rámci některých specifických cílů bude podpora poskytována formou kombinace nenávratné části (dotace) a jiného finančního nástroje návratného charakteru. U všech projektů je podmínkou spolufinancování ze zdrojů příjemce podpory. Příjemci mohou čerpat finanční podporu již v průběhu realizace projektu na vystavené a dodavatelům neuhrazené faktury

Investiční podpora aktivit pro energetické využití odpadů je ovšem nyní pozastavena. Tento stav měl trvat do doby, než Evropská komise (EK) vyhodnotí platný POH ČR a 14 krajských POH. Plány byly zaslány EK, která neshledala rozpor se směrnicí 2008/98/ES.

Podpořeny mají být projekty **pro energetické využití takových odpadů, které již nemohou být dostatečně materiálově využity** (např. v důsledku jejich znečištění a případné kontaminace), a za předpokladu, že neexistuje riziko pro splnění cílů v oblasti recyklace podle směrnice 2008/98/ES. Velké projekty na energetické využití odpadu však navzdory schválení Plánů odpadových hospodářství Evropskou komisí však stále čekají na vypsání investiční podpory.

Z výše uvedeného vyplývá, že **v současné době není vypsána výzva, která by podporovala výstavbu velkého ZEVO**. V brzké budoucnosti se ovšem dá očekávat, že by k takovéto podpoře mohlo dojít, vzhledem k reálně hrozícímu nedostatku zpracovatelských kapacit energetického využití odpadu v ČR.

3. Plazmové zplyňování ve světě a v České republice

Pro technologie plazmového zplyňování odpadu jsou klíčové součásti využití plazmy a zplyňování, které se dlouhou dobu vyvíjely samostatně. K myšlence propojení obou fyzikálních dějů došlo až ve druhé polovině 20. století. V průběhu 80. let byly položeny základy oboru plazmového zplyňování odpadu, který může v budoucnu hrát významnou úlohu v odpadovém hospodářství a v energetickém využívání odpadu.

Aplikace technologií využívajících plazmatu není v průmyslu novou záležitostí. Počátky využití plazmatu sahají do 19. století. V roce 1857 byla vyvinuta první plazmová technologie, u jejíhož zrodu stál německý vynálezce Ernst Werner von Siemens. Siemens tehdy ještě bez znalostí o čtvrtém skupenství hmoty - plazmě - sestrojil ozonizátor vzduchu založený na korónovém výboji.

Jako další skupenství hmoty popsal plazma až v roce 1879 William Crookes při experimentech s výboji v trubiciích. Tehdy Crookes pojmenoval novou formu hmotu zářící látkou. Pod pojmem plazma vešlo čtvrté skupenství hmoty ve známost v roce 1928, kdy tento termín použil Irving

Langmuir. Průlom v oblasti využívání plazmatu nastal v roce 1953, v tomto roce byl za jeho pomoci připraven první syntetický diamant v acetylenovém výboji. [31]

Počátky vědeckého zkoumání zplyňování sahají na začátek 17. století k belgickému chemikovi a fyzikovi Janu Baptistu Van Helmontovi, který objevil, že zahříváním dřeva nebo uhlí může dojít k produkci plynu. První využití zplyňovacích procesů pro energetické účely se uskutečnilo v roce 1792, kdy Skot William Murdoch vyrobil z uhlí prostřednictvím pyrolýzy plyn, který využíval pro osvětlení svého obydlí. Komerčního využití se zplyňování dočkalo již v roce 1812 v Londýně, kde byla založena společnost London Gas, Light and Coke Company, která také stála u vzniku první komerční rozvodné sítě plynového energetického média - tzv. svítiplynu. [32]

Jako svítiplyn se původně označoval plyn z karbonizačních plynáren hořící svítivým plamenem a používaný k osvětlování. Nyní jako svítiplyn označujeme plyn o spalném teple asi 17,6 MJ/m³, který se vyrábí buď karbonizací (jako "vedlejší" produkt v koksárnách), tlakovým zplyněním hnědého uhlí, štěpením zemního plynu nebo míšením a úpravou jiných plynů, např. rafinérských. Svítiplyn je jedovatý a používá se ve stále menší míře k topení v průmyslu a v domácnostech. [33]

Svítiplyn byl komerčně úspěšným v oblasti městského osvětlení a osvětlení domácností až do 80. let 19. století, kdy se začalo prosazovat bezpečnější elektrické osvětlení na základě vynálezů T.A. Edisona. Pro účely vytápění a vaření byl svítiplyn postupně v průběhu 19. a 20. století nahrazován zemním plynem, který byl energeticky a ekonomicky výhodnějším palivem. [32]

Spojením technologických a procesních znalostí z využívání plazmatu a zplyňování došlo ke vzniku oboru, který se zabývá alternativním způsobem energetického využití odpadu. Počátkem osmdesátých let minulého století byl zahájen výzkum využívání plazmových technologií pro termální zpracování odpadu.

Plazmové zplyňování se jeví nadějně především pro zpracování nebezpečného a komunálního odpadu. Pokud jde o nebezpečný odpad, tak v průběhu vývoje této technologie se ukázalo, že plazmové zplyňování dokáže díky dosahovaným vysokým teplotám zpracovat odpad, který je jinými způsoby těžce odstranitelný. Příkladem odpadů, které lze plazmovým zplyňováním zpracovávat jsou nebezpečné odpady, nízkoaktivní radioaktivní odpady, průmyslové a chemické odpady, nemocniční odpady nebo azbest. [34] Plazmou technologií nelze zpracovat pouze středněaktivní a vysoce aktivní vysoce radioaktivní odpad.

Technologie plazmového zplyňování odpadu je jednou z nadějně se rozvíjejících alternativ pro energetické využití odpadu a to i z pohledu Ministerstva životního prostředí ČR (MŽP). MŽP si nechalo vytvořit studii s názvem Analýza a vyhodnocení možností aplikace nových technologií k energetickému využití odpadů [35], ve které je také kapitola věnovaná i plazmovému zplyňování. Dle zmíněné analýzy existuje ve světě několik společností, které se v současnosti zabývají vlastní aplikací plazmové technologie pro zplyňování odpadu. V následující tabulce je uveden jejich přehled.

Nositel technologie (společnost)	Název procesu
Alter NRG Corp. - Westinghouse Plasma Corporation (WPC) Geoplasma Green Power	Alter NRG/Westinghouse Plasma Gasification (WPG)
PLASCO Energy Group	Plasma Arc Gasification Plasco Conversion Process (PCP)

Nositel technologie (společnost)	Název procesu
	Plasmox, Enviroarc Plasma Resource Recovery Systém Integrated Converting and Refining System
InEnTec (Integrated Environmental Technologies)	Plasma Enhanced Melter (PEM)
Europlasma, (Division of Waste Management, Inc.)	CHO Power
Solena Group, Inc. ECP GlidArc Technologies Syngas LLC	Solena Plasma Gasification and Vitrification (SPVG) Integrated Plasma Gasification Combined Cycle (IPGCC)
Advanced Plasma Power (APP)	GasPlasma
PyroGenesis Canada, Inc	Plasma Arc Waste Destruction Systém Plasma Resource Recovery Systém
ScanArc Plasma Technologies	PyroArc
ZeGen	
Tetronics	Plasma Hazardous Waste Technology
Startech Environmental Corporation	Plasma Converter Systém (PCS)

Tabulka 13 Přehled dodavatelů plazmové technologie dle studie MŽP [35]

Podrobněji jsou jednotlivé technologie rozebrány v příloze 1, kde jsou popsány z hlediska energetické náročnosti, investičních nákladů a vlastního procesu technologie plazmového zplyňování.

V následujících kapitolách budou představeny vybrané významné společnosti zabývající se plazmovým zplyňováním. Dále bude rozebrán aktuální stav realizací projektů plazmového zplyňování ve světě a v ČR.

3.1 Výrobci plazmových hořáků

Jak bylo zmíněno v kapitole věnující se popisu technologie plazmového zplyňování, energeticky nejvýhodnější a proto také nejvíce používaný stejnosměrný plazmatický hořák. Technologií stejnosměrných plazmových hořáků se zabývají např. tyto společnosti:

- **Westinghouse**
- **Europlasma**
- **Phoenix Solutions Company**
- **Tetronics**

3.1.1 Westinghouse

První výzkum a aplikace stejnosměrných hořáků začala ve spolupráci s NASA v průběhu sedmdesátých let minulého století. Účelem vývoje bylo vytvoření a aplikace vysokých teplot pro testování tepelných štítů využívaných pro návratové moduly vesmírného programu Apollo.

V osmdesátých letech minulého století byl zahájen vývojem vlastní technologie plazmového zplyňování odpadů. Stejnosměrné plazmové hořáky společnosti Westinghouse využívají pro stabilizaci plazmatu různá oxidační činidla jako například vzduch, kyslík nebo dusík. Pokud jde o vedení oblouku, tak ten je většinou nepřenášený (Non-transferred). Výkony hořáků, které společnost Westinghouse dodává, se pohybují od 5 do 2 400 kW. [18]

3.1.2 Europlasma

Další ze společností, která působí na tomto poli je francouzská společnost Europlasma, založena v 90. letech. Také Europlasma vyvíjela původně svou technologii pro kosmické a vojenské využití. Získané

zkušenosti z vývoje byly následně využity pro aplikace plazmové technologie v ocelářském průmyslu a také pro zpracování odpadu. [18]

Stejněměrné plazmové hořáky vyvinuté Europlasmou jsou principálně velmi podobné hořákům společnosti Westinghouse. K chlazení elektrod plazmového hořáku je využíváno tlakovodního systému s demineralizovanou vodou. V závislosti na aplikaci Europlasma dodává hořáky v rozsahu výkonů od 80 kW až po 4 000 kW.

3.1.3 Phoenix Solution Company

Phoenix Solution Company (PSC) byla založena v roce 1993. PSC navázala čtyřicetiletý výzkum a vývoj technologií určených pro kosmické aplikace původní společnosti. Plazmové hořáky PSC využívají pro stabilizaci plazmatu následující plyny: vzduch, N₂, O₂, H₂, CO nebo CO₂. Výkonové rozpětí, které pokrývají hořáky PSC je 50 kW až 3 000 kW. [18]

3.1.4 Tetronics

Další společností produkující plazmové hořáky je Tetronics, která vyrábí hořáky jak s přenášeným, tak nepřenášeným obloukem mezi grafitovými elektrodami. Tetronics je dodavatelem společnosti Advance Plasma Power, která připravuje projekty na zpracování komunálního odpadu ve Velké Británii, viz kapitola Projekty ve výstavbě. [18]

3.2 Realizace projektů ZEVO využívající plazmové zplyňování ve světovém měřítku

V následující kapitole jsou uvedeny realizace zařízení na plazmové zplyňování ve světě. Jsou zmíněny aktuálně provozované instalace, ukončené projekty a projekty, které jsou nyní ve fázi výstavby.

3.2.1 Aktuálně komerčně provozované projekty

V současnosti jsou komerčně provozována následující ZEVO využívající technologii plazmového zplyňování odpadů:

1. **Mihama-Mikata - Japonsko**
2. **Maharashtra Enviro - Indie**
3. **Shanghai Chengtoun - Čína**
4. **CHO MORCENX POWER PLANT - Francie**

3.2.1.1 Mihama-Mikata

První komerčně provozované zařízení využívající technologii společnosti Westinghouse na energetické využití odpadu plazmovým zplyňováním se nachází u japonských měst Mihama a Mikata. V provozu je od prosince 2002. Plazmové zplyňování v tomto závodě zpracovává 17,2 t/den komunálního odpadu a 4,8 t/den čistírenských kalů. V tomto zařízení se produkovaný syngas spaluje a vzniklé teplo se využívá k sušení čistírenských kalů před jejich zplyněním. [36]

3.2.1.2 Maharashtra Enviro

V indickém městě Pune bylo v roce 2009 uvedena do provozu ZEVO na plazmové zplyňování různých druhů nebezpečných odpadů. Kapacita zařízení je 72 tun odpadu denně. Konstrukční řešení reaktoru a samotnou plazmovou technologii dodala společnost Westinghouse. Elektřina je v tomto zařízení generována pomocí parní turbíny, která umožňuje do sítě dodávat elektrický výkon 1,6 MW. [37]

3.2.1.3 Shanghai Chengtoun (Shanghai Environmental)

V komerčním provozu je od roku 2014 v čínské Šanghaji další zařízení využívající plazmovou technologii Westinghouse Plasma Corporation. Hlavním účelem tohoto zařízení je likvidace popílku a

nebezpečného (nemocničního) odpadu. Zpracovatelská kapacita zařízení v konfiguraci IPGSC (reaktor řady P5) je 30 tun odpadu denně. Vzniklý syntézní plyn se využívá k produkci páry, která je vedena částečně zpět do reaktoru, kde vstupuje do procesu zplyňování a částečně na parní turbínu. [38]

3.2.1.4 CHO MORCENX POWER PLANT

Společnost Europlasma dokončila v roce 2014 ZEVO využívající plazmového zplyňování se zpracovatelskou kapacitou 55 000 tun odpadu ročně. Zařízení, které se nachází ve francouzském městě Morcenx, je prvním komerčně provozovaným ZEVO používajícím plazmovou technologii takovéto velikosti v Evropě. ZEVO pro výrobu energie využívá dřevěných pelet a vyříděného průmyslového odpadu (lepenka, dřevní odpad, papír). Zařízení je schopno dodávat do sítě výkon 11 MWe. [39]

3.2.1.5 Další projekty

Plazmovou technologii pro likvidaci odpadu využívá také americká armáda, která spolupracuje se společností PyroGenesis. Jednou z aplikací je ZEVO umístěné na letadlové lodi USS Gerald R. Ford (CVN-78). Toto zařízení bylo uvedeno do provozu v listopadu 2012 a má zpracovatelskou kapacitu 4,8 tun odpadu denně. Plazmové zplyňování je navrženo pro zpracování spalitelného pevného odpadu (papír, plasty, lepenky, dřevo, oblečení apod.). [40]

Druhou jednotkou, na které spolupracuje PyroGenensis s americkou armádou, je ZEVO na floridské letecké základně Hurlburt Field. Tamní zařízení bylo uvedeno do provozu v roce 2011 a má zpracovatelskou kapacitu 10,5 tun odpadu denně. Zařízení je schopné dodávat výkon 420 kWe. [41]

3.2.2 Ukončené projekty

V následující kapitole jsou popsány významné projekty ZEVO využívajících technologii plazmového zplyňování, které měly globální vliv na vývoj této technologie a její další rozšiřování. Významným projektem z hlediska konstrukčního a technologického vývoje plazmového zplyňování odpadů byl projekt Eco Valley v japonském městě Utashinai. Neúspěšnou aplikací plazmového zplyňování je kanadské ZEVO Tail Road společnosti Plasco, které mělo být prvním velkým komerčně provozovaným ZEVO tohoto typu v Severní Americe.

3.2.2.1 Plasco Tail Road

Plasco Energy Group v Tail Road u kanadského města Ottawa od roku 2007 provozovalo demonstrační jednotku plazmového zplyňování s kapacitou 25 000 tun odpadu ročně (použitá technologie PRRS - Plasma Resource Recovery System). Tato jednotka nedokázala plnit emisní limity pro tuhé znečišťující látky v provozní režimech, které vyžadovaly místní úřady.

Přesto v roce 2012 firma Plasco Energy Group uzavřela kontrakt na realizaci jednotky plazmové technologie pro město Ottawa o kapacitě 405 tun odpadu denně (cca 130 000 t/rok). Kanadské hlavní město uzavřelo se společností Plasco dvacetiletý kontrakt v hodnotě 180 milionů dolarů. Poplatek za zpracování tuny odpadu byl nastaven na 83,25 dolarů za tunu. Cena za zpracování odpadu se měla navyšovat o reálnou inflaci. Podmínkou smlouvy bylo zajištění financování Plascem do konce roku 2014 a dokončení stavby ZEVO do roku 2016. [42]

Vzhledem k tomu, že společnost Plasco ani po opakovaném prodloužení termínu na zajištění financování nebyla schopná získat potřebné finanční prostředky na výstavbu, tak město Ottawa smlouvu se společností Plasco vypovědělo. Počátkem roku 2015 požádala společnost Plasco o soudní ochranu před věřiteli, čímž došlo k definitivnímu ukončení jejích aktivit v oblasti plazmového zplyňování. K realizaci největšího ZEVO využívající technologii plazmového zplyňování na americkém kontinentu tedy nedošlo. [43]

3.2.2.2 Utashinai - Eco Valley

Následující podkapitola čerpá kompletně ze zdroje [36], ve kterém je popsána historie, provoz, řešení provozních problémů a důvody pro odstavení zařízení na plazmové zplyňování odpadů v japonském Utashinai. Výstavba zařízení zvaného Eco Valley byla možná díky úspěšné spolupráci mezi Westinghouse Plasma Corp. a společností Hitachi Metals, která začala v devadesátých letech minulého století.

Westinghouse nejprve vyvinul svůj vlastní testovací reaktor v americkém Madisonu, toto zařízení mělo kapacitu zpracování odpadu 12 t/den. Následně v roce 1999 dokončilo Hitachi své testovací zařízení s kapacitou 24 t/den, které bylo v provozu po dobu jednoho roku. Toto zařízení obdrželo certifikaci Japan Waste Research Foundation, která mimo jiné potvrdila vhodnost plazmového zplyňování pro zpracování široké škály odpadů, inertní vlastnosti vitrifikované strusky a nízké hodnoty emisí dioxinů.

První komerčně provozované zařízení na energetické využití odpadu vzniklé na základě této spolupráce se nachází u měst Mihama a Mikata, toto zařízení je stále v provozu, viz Aktuálně komerčně provozované projekty. V roce 2003 bylo uvedeno do provozu zařízení na energetické využití odpadu prostřednictvím plazmového zplyňování Eco-Valley v japonském městě Utashinai. Maximální kapacita odpadu, který bylo možné v Eco Valley zpracovat, byla **220 tun komunálního odpadu za den** (případně 160 t/den směsi komunálního odpadu a zbytkového odpadu z likvidace automobilů v poměru 1:1). Toto zařízení bylo v provozu více než sedm let.

Výstavba tohoto zařízení začala v roce 2002, komerční provoz byl zahájen v dubnu 2003. Toto zařízení bylo původně konstruováno se záměrem zpracovávat 165 t/den směsi komunálního odpadu a zbytkového odpadu z drcení automobilů. Tyto dva druhy odpadů měly být zpracovávány v poměru 1:1.

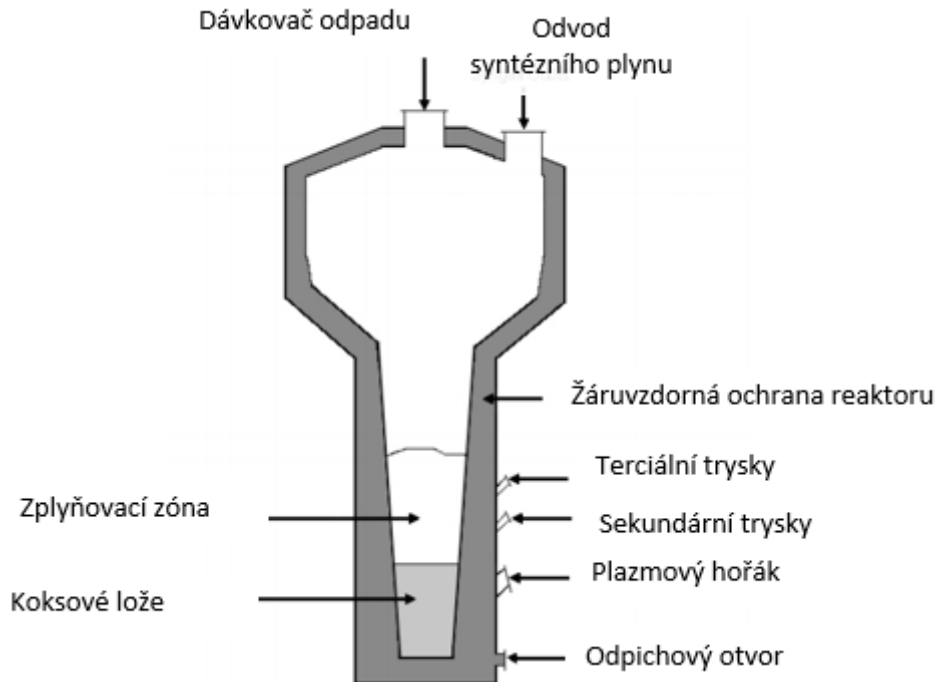
Primárním účelem tohoto zařízení byla likvidace odpadu, sekundárním účelem bylo energetické využití, kterého se dosahovalo prostřednictvím parního Rankinova cyklu. Energetické využití bylo od začátku bráno pouze jako doplněk k primární funkci zařízení, kterým byla likvidace odpadu. Pokud pracoval zařízení v Eco Valley na svou maximální kapacitu, tak do sítě dodávalo 1,5 MW výkonu.

Eco Valley zpracovávalo odpad a produkovalo syntézní plyn a z něj elektřinu prostřednictvím parního Rankinova cyklu v následujících krocích:

1. Komunální odpad a zbytkový odpad z drcení automobilů byly navezeny do odpadní jímky.
2. Následně se směs odpadu jeřábem transportovala do drtičky, kde došlo k homogenizaci směsi na zrnitostní frakci o maximální velikosti 6,4 cm.
3. Z drtičky byla homogenizovaná směs transportována do reaktoru v jeho vrchní části.
4. Organický materiál byl působením vysoké teploty transformován na syntézní plyn (syngas), který opouštěl reaktor v jeho vrchní části.
5. Anorganické látky se roztavily a zůstaly ve formě tekuté strusky ve spodní části reaktoru.
6. Vyprodukovaný syngas byl spálen, energie uvolněná spálením se předala vodě, tak vznikla pára, jež poháněla turbínu.
7. Výfukové plyny se poté vyčistily a komínem odvedly do atmosféry.

Důležitým faktorem při provozování tohoto zařízení bylo kontinuální plnění přísných japonských emisních limitů. Například pokud jde o dioxiny, tak se Hitachi zavázalo k plnění 10 x nižších emisních limitů než bylo legislativně požadováno.

Schematicky je reaktor použitý v Eco-Valley zachycen na obrázku 14.



Obrázek15 Schématické zobrazení plazmového reaktoru Eco Valley

Materiál určený ke zplynění vstupoval do reaktoru dávkočů umístěným v jeho horní centrální části. Organické složky vstupní suroviny byly zplyněny a systémem pro odvod plynu v horní části reaktoru byl vzniklý syntézní plyn veden k dalšímu zpracování.

Kovy a popílek a další anorganické složky klesly do spodní části reaktoru, kde byly působením vysokých teplot roztaveny. Vzniklá struska se u dna reaktoru vypouštěla odpichovým otvorem, následně byla zchlazena vodou, čímž se z ní stala inertní skelná struska (vitřifikát).

Zplyňovaný odpad byl před vstupem do reaktoru obohacen o metalurgický koks. Hmotnostní poměr, v jakém se koks do odpadu přidával, byl 1:20. Koks vzhledem ke své mnohem nižší reaktivitě v porovnání se zpracovávaným odpadem vytvářel v reaktoru lože, na kterém probíhal proces zplyňování.

Koksové lože svým prostorovým uspořádáním umožňovalo prostup taveniny na dno reaktoru a zároveň skrz něj prostupoval vznikající syntézní plyn do vrchní části reaktoru. Koks v reaktoru reagoval s kyslíkem, který byl do reaktoru vháněn tryskami, touto exotermickou reakcí vznikalo teplo, které se podílelo na vlastním zplyňování odpadu.

Pro kontrolu teploty tání a optimální viskozitu taveniny se do reaktoru přidával drcený vápenec. V případě Eco Valley byly pro tento účel využity lastury (vápenaté schránky) hřebenatek z nedaleké zpracovatelského závodu mořských plodů.

Zóny plazmového reaktoru

Ve spodní části reaktoru se nachází plazmové hořáky, jejichž součástí jsou primární vzduchové trysky. Těmito tryskami je vháněn vzduch, který se při průchodu hořákem zahřeje na teplotu několika tisíc kelvinů. Jakmile se ohřátý vzduch dostane do kontaktu s koksem, dojde k exotermické reakci za vzniku CO a CO₂. Touto reakcí je přidáváno dodatečné teplo do reaktoru.

V případě Eco Valley byly u dna reaktoru pravidelně po jeho obvodu rozmístěny čtyři plazmové hořáky. Plazmové hořáky produkují přehřátý vzduch, který je procesním plynem, jenž zajišťuje

transport tepla v reaktoru a umožňuje zplyňovat organickou složku vstupního materiálu. V tomto konkrétním případě byl vzduch zahříván na teplotu 5 500 °C. Regulací výkonu hořáků bylo možné upravovat provozní teplotu pracovního plynu a tím reagovat na změny ve složení zplyňovaného materiálu.

Nad plazmovými hořáky a primárními vzduchovými tryskami se nachází zóna, kde dochází k vlastnímu zplyňování organického materiálu vstupujícího do reaktoru. V této zplyňovací zóně jsou umístěny sekundární a terciální vzduchové trysky, které zajišťují přívod oxidačního činidla. Ve zplyňovací zóně dochází k tomu, že uhlík obsažený ve zpracovávaném materiálu (komunální a zbytkový odpad z likvidace automobilů) reaguje s kyslíkem za vzniku CO a CO₂. Z odpadu se také uvolňuje vodík, který reaguje s kyslíkem za vzniku vodních par. Pro maximalizaci vodíku v produkovaném syntézním plynu je možné využít tzv. water-gas-shift reaction viz. kapitola Syntézní plyn (2).

Exotermická reakce v reaktoru:



Endotermické reakce v reaktoru:



Na horním okraji zplyňovací zóny dochází k přehřívání a sušení zpracovávaného materiálu. Horké plyny vzniklé ve spodní části reaktoru stoupají reaktorem vzhůru. Jakmile se tyto plyny dostanou do kontaktu se zpracovávaným materiálem, dojde k předání části tepelné energie. Zpracovávaný materiál se působením tepelné energie plynu zahřeje a zbaví se vlhkosti, dojde také k uvolnění těkavé složky zpracovávaného materiálu.

V této zóně probíhá kalcinace uhličitanu vápenatého přidávaného pro úpravu vlastností taveniny. Jedná se o endotermickou reakci, při které vzniká pálené vápno a oxid uhličitý.



Na dně reaktoru se zachycuje tavenina, kterou tvoří tekutá struska a roztavený kov. Na úplném dně reaktoru dochází k usazování roztavených kovů s vyšší hustotou. Naopak anorganické látky s nižší hustotou se koncentrují výše a tvoří tzv. strusku.

Žáruvzdornost

Vnitřní povrch reaktoru je složen z žáruvzdorných materiálů. V jednotlivých částech reaktoru jsou použity různé žáruvzdorné materiály, jejichž složení závisí na konkrétní umístění v reaktoru. V nejspodnější části reaktoru dochází k největšímu tepelnému namáhání žáruvzdorných materiálů, které jsou také vystaveny erozivním a korozivním účinkům roztaveného kovu a strusky. Méně tepelně namáhány jsou horní a střední část reaktoru, tyto části reaktoru musí odolávat především korozivnímu působení plynů.

Provozní komplikace a jejich řešení v ZEVO Eco Valley

V průběhu provozu se vyskytly tři zásadní provozní komplikace, které měly dopad na provoz zařízení v Eco Valley.

1. **průměr koksového lože reaktoru**
2. **životnosti žáruvzdorné izolace**
3. **zpracování jemných prachových částic a popílku**

V reaktoru docházelo k **nerovnoměrnému prohřátí koksového lože**, což mělo za následek vytváření chladných míst. V těchto chladných místech docházelo k tunutí strusky. Příčinou tohoto nežádoucího provozního stavu byl příliš velký průměr koksového lože, který byl proporcionálně odvozen od testovacího reaktoru Hitachi z roku 1999 provozovaného u města Yoshi.

Ve snaze zmenšit průměr koksového lože byla přidána dodatečná vrstva žáruvzdorného materiálu ve spodní části reaktoru. Toto řešení se ovšem neukázalo jako funkční, vzhledem k tomu, že tato dodatečná vrstva izolace byla příliš tepelně a materiálově namáhána, což vedlo k její rychlé erozi.

Definitivním řešením bylo zmenšení průměru spodní části vnější ocelové konstrukce reaktoru. Tento problém byl vyřešen za 18 měsíců od spuštění zařízení.

Dalším problémem, který musel být po spuštění provozu vyřešen, byla neočekávaně **krátká doba životnosti žáruvzdorné izolace** spodní části reaktoru. Původní koncepce žáruvzdorné izolace Hitachi byla, že vnitřní nejvíce namáhanou vrstvu tvořil hliníková izolace skládající se především z Al_2O_3 . Vnější vrstva (vzdálenější od středu reaktoru) byla tvořena karbidem křemíku (SiC).

Nakonec se ukázalo, že nejvýhodnější uspořádání izolace je obrácené, tedy vnitřní vrstva izolace složena z karbidu křemíku a vnější hliníková. V roce 2010 bylo toto řešení bez nutnosti výměny provozováno již 4 roky a očekával se ještě minimálně rok provozu bez nutnosti výměny této části izolace.

Složení žáruvzdorné izolace v zónách reaktoru, které jsou vzdálenější od prostoru s taveninou, bylo třívrstvé. Vnitřní vrstvu izolace tvoří přibližně z 90 % AlO_3 , 8 % SiO_2 a 1 % MgO . Druhá vrstva (vzdálenější od středu reaktoru) je tvořena porézními žáruvzdornými materiály (šamoty). Vnější vrstva je potom tvořena deskami na bázi křemíku. Tato méně namáhaná část izolace nebyla měněna po od spuštění reaktoru a Hitachi odhadovalo její životnost minimálně na 10 let.

Nejzávažnější provozní komplikací bylo vhodné **nastavení procesu zpracování jemných prachových částic a popílku**, které vstupovaly do reaktoru spolu s odpadem.

Přehled významných faktorů, které měly vliv na problematiku jemných částic:

1. **Krátká vzdálenost mezi dávkovačem odpadu a výstupním potrubím odvádějícím syntézní plyn z reaktoru**
2. **Dodávky zbytkového odpadu z drcení automobilů do Eco Valley obsahovaly vysoké procento velmi jemných prachových částic**
3. **Dodávky zbytkového odpadu z drcení automobilů obsahovaly částice plastu, které se podílely na urychlení korozivních procesů uvnitř reaktoru**
4. **Příliš vysoká teplota syntézního plynu opouštějící reaktor (1200 °C)**

Kvůli malé vzdálenosti mezi dávkovačem odpadu do reaktoru a výstupním potrubím odvádějícím syntézní plyn z reaktoru docházelo k unášení jemných částic odpadu prouděním syntézního plynu

opouštějícím reaktor. Jemné částice odpadu tak nebyly v reaktoru zpracovány a opouštěly reaktor společně se syntézním plynem, což činilo problémy při následném spalování plynu.

K řešení tohoto problému byl použit nástavec (trubka z nerezové oceli) na dávkovač odpadu, který odpad zaváděl hlouběji do reaktoru. Toto opatření vedlo k prodloužení vzdálenosti mezi vstupem a výstupem z reaktoru a tím také došlo k navýšení doby setrvání jemných prachových částic v reaktoru. Následné testy prokázaly, že díky tomuto řešení pokleslo množství prachových částic v syntézním plynu, který opouštěl reaktor o 50 %. Nevýhodou tohoto řešení byla krátká životnost ocelového nástavce, který byl vystaven vysokým teplotám uvnitř reaktoru.

Jako problematická se také ukázala navržená koncepce zplyňovacího procesu, ve které byla výstupní teplota syntézního plynu z reaktoru 1200 °C. Tato teplota byla nad bodem tání jemných částic unášených syntézním plynem z reaktoru. Tyto roztavené částice působily následně problémy v dalším procesu zpracování plynu, narušovaly povrchovou strukturu žárovzdorné ochrany spalovací komory, ve které se spaloval syntézní plyn. Popsaný stav vedl k častým odstávkám zařízení.

Hitachi nejprve snížilo výstupní teplotu plynu na 1000 °C. Při této teplotě nebyly částice ani v pevném ani v kapalném skupenství. Jemné částice za těchto podmínek měly konzistenci, díky které se snadno usazovaly na stěnách výstupního potrubí reaktoru a také ve spalovací komoře. Ani po této úpravě se situace s častými odstávkami výrazně nezlepšila. V některých případech došlo k tomu, že se vrstva hmoty usazené na stěnách spalovací komory samovolně uvolnila a při nárazu na stěnu spalovací komory došlo k dalšímu poškození žárovzdorné ochrany.

Hitachi vzhledem k neuspokojivým výsledkům přikročilo **k dalšímu snížení teploty syntézního plynu vystupujícího z reaktoru na 750 °C.** Jemné prachové částice tak zůstávaly v pevném skupenství. Tímto řešením již došlo k eliminaci problému s narušováním stěn výstupního potrubí a žárovzdorné ochrany spalovací komory. Negativním efektem bylo ovšem snížení celkové účinnosti zařízení.

Výše popsané provozní komplikace měly dopad do komerčního provozu zařízení. Zmíněné provozní potíže znamenaly, že Eco Valley nebylo schopné zpracovávat nasmlouvanou kapacitu odpadních materiálů, což se především týkalo zbytkového odpadu z likvidace automobilů. Dodavatelé tohoto typu odpadu si našly alternativní zpracovatele a ukončily s Eco Valley spolupráci. Přes úspěšné vyřešení provozních komplikací nedokázalo zařízení Eco Valley získat dostatek odpadu a pracovalo pouze na poloviční kapacitu. **Následkem nevyužívání maximální zpracovatelské kapacity došlo ke zhoršení ekonomiky provozu a v roce 2013 se společnost Hitachi rozhodla Eco Valley uzavřít.** Zkušenosti získané z provozu Eco Valley byly využity společností AlterNRG (Westinghouse) k návrhu nového typu plazového reaktoru viz obrázek 15.



Obrázek 16 Upravený design reaktoru na základě zkušeností z Eco Valley [36]

3.2.3 Projekty ve výstavbě

Pro rozšíření technologie plazmového zplyňování v České republice bude klíčové vybudování referenčního projektu s dostatečnou zpracovatelskou kapacitou komunálního odpadu v Evropě. Jen pokud bude referenčním projektem ověřena schopnost plazmaticky zpracovávat komunální odpad při ekonomicky efektivním provozu zařízení, se může tato technologie stát atraktivní pro investory. Za předpokladu úspěšného ověření provozu a jeho ekonomiky pak bude moci být tato technologie financovaná i prostřednictvím bankovních úvěrů, což může ještě víc urychlit případné rozšíření plazmového zplyňování odpadů v Evropě i v ČR.

Zařízení, které mají potenciál stát se referenčními projekty pro plazmové zplyňování v evropském kontextu, se nyní budují ve Velké Británii. Jedná se o projekt Tees Valley využívající technologii Westinghouse a ZEVO ve Swindonu, které využívá technologii Advanced Plasma Power.

3.2.3.1 Tees Valley

V Tees Valley probíhá uvádění do provozu a výstavba dvou zařízení s označením TV1 a TV2, přičemž roční zpracovatelská kapacita komplexu má být až 700 000 tun odpadu. Elektrický výkon jak TV1, tak TV2 je 50 MWe. Realizováno bylo zatím zařízení TV1 využívající plazmovou technologii

Westinghouse Plasma Corporation. Denní jmenovitá vstupní kapacita TV1 je stanovena na 950 tun komunálního odpadu denně.

Za projektem Tees Valley původně stála americká chemická společnost Air Products and Chemicals zabývající se průmyslovými a procesními plyny. Výše investice do tohoto projektu činila přibližně 300 milionů liber. Počátkem dubna 2016 se ovšem společnost Air Products rozhodla k definitivnímu odstoupení z projektu Tees Valley v rámci opuštění celého průmyslu zabývajících se energetickým využitím odpadu. Oficiálně tato společnost zdůvodnila odstoupení od projektu potřebou odstranění provozních komplikací pomocí nákladných konstrukčních úprav. [44]

Dle vyjádření PGP Terminal, a.s. a nového generálního dodavatele projektu v současnosti probíhají modifikace pomocných zařízení (konkrétně se jedná o modifikace v úpravě a dávkování odpadu do reaktoru typové řady G65), kdy současně pokračuje testování pomocných a navazujících technologií a probíhá uvádění zařízení TV1 do provozu. Na obrázku 16 je možné vidět letecký snímek výstavby zařízení TV1, pořízený v roce 2015. Také na zařízení TV2 pokračují práce na stavbě tohoto zařízení.



Obrázek 17 Výstavba zařízení TV1, Velká Británie. Zdroj PGP Terminal, a.s.

3.2.3.2 Swindon

V srpnu 2016 bylo ve Swindonu ve Velké Británii uvedeno do provozu pilotní ZEVO využívající plazmovou technologii k zplyňování tzv. RDF (Refuse Derived Fuel), což je upravený komunální odpad. Proces přeměny komunálního odpadu na RDF zahrnuje třídění odpadu, odstranění velkých nespalitelných kusů, odstranění kovových materiálů, síťování, drcení. Odpad, který se takto upraví, má vyšší výhřevnost a stává se více homogenním. Díky zmíněným úpravám má RDF širší možnosti svého využití, ZEVO využívající RDF dosahují vyšší účinnosti, nižších emisí a lepší ekonomiky provozu. Roční zpracovatelská kapacita pilotního zařízení je 10 000 t RDF, z čehož se vyprodukuje 22 GWh upraveného syntézního plynu (tvořeného z 97 % metanem), který je veden do plynárenské přepravní soustavy. Náklady na pilotní ZEVO byly 5 milionů liber.

Jedná se o projekt provozovatele britské plynárenské přepravní soustavy National Grid a dodavatele technologie Advanced Plasma Power. Na základě pilotního projektu je nyní ve výstavbě další generace reaktoru, která má prokázat komerční použitelnost této technologie. Advanced Plasma Power využívá ve svých reaktorech plazmové hořáky Tetronics. [45]

3.3 Plazmové zplyňování v ČR

Česká republika patří k zemím, kde jsou již od devadesátých let intenzivně zkoumány možnosti rozvoje plazmových technologií. Největší zásluhu na výzkumu plazmových technologií v ČR má Ústav fyziky plazmatu AV ČR, konkrétně doc. RNDr. Milan Hrabovský, CSc. a RNDr. Miloš Konrád, jejichž práce jsou často citovány i v zahraniční literatuře.

Kromě aplikovaného výzkumu je v ČR také komerční aplikace plazmového zplyňování odpadů, která se nachází ve společnosti Safina ve Vestci u Prahy.

Žádná velká průmyslová a komerční aplikace plazmatického ZEVO využívající komunální odpad v ČR doposud nebyla realizována.

3.3.1 Plazmatrony Akademie věd ČR

Tato podkapitola je převzata z [46]. V Ústavu fyziky plazmatu AV ČR byl vyvinut unikátní plazmatron používající ke stabilizaci elektrického oblouku vodní vír a vytvářející tak plazma z vody, tj. plazma složené z protonů, iontů kyslíku a elektronů. Tento plazmatron má oproti plynem stabilizovaným plazmatronům podstatně vyšší výstupní teplotu (více jak 20 000 K) a podstatně vyšší entalpii. Byl původně určen pro technologii plazmového stříkání, ale parametry jím generovaného plazmatu přivedli výzkumníky k jeho využití při rozkladu látek. Nejprve bylo v devadesátých letech vyvinuto modelové zařízení, na kterém byl studován rozklad některých halogenovaných sloučenin a v roce 2004 byl realizován společně s belgickou firmou plazmový reaktor jako zkušební zařízení pro zpracovávání většího množství látek (desítky kilogramů za hodinu) v dlouhodobějším provozu řádu hodin.

Základním funkčním prvkem jak modelového zařízení, tak plazmového reaktoru je zdroj plazmatu na bázi vodou stabilizovaného elektrického oblouku s příkonem do 160 kW (proud 300 – 550 A, účinnost 55 – 65 %). U modelových experimentů byl použit původní vodou stabilizovaný plazmatron PAL 160 s grafitovou katodou, u něhož byla rotační chlazená anoda nahrazena cylindrickou anodou pro hermetické připojení k reakčnímu prostoru. Její životnost omezovala délku experimentu na desítky minut.

Pro plazmový reaktor byl vyvinut nový typ plazmatronu WSP-H500 (hybridní) sestávající ze dvou částí – argonem stabilizované části oblouku s wolframovou katodou a navazující vodou stabilizovanou částí. Kompaktní konstrukční spojení obloukové komory s vnější rotační chlazenou anodou umožňuje hermetické spojení s reaktorem. Životnost tohoto hybridního plazmatronu se pohybuje v řádu desítek hodin a je proto vhodný k dlouhodobému provozu reaktoru.

3.3.2 Safina - PlasmaEnvi

Tato podkapitola je převzata z [47]. Ve Vestci u Prahy byla provozována společností Safina od roku 2008 technologie PlasmaEnvi, což je technologie pro recyklaci použitých průmyslových katalyzátorů s obsahem drahých kovů. Součástí technologického celku jsou rovněž mikroturbíny, spalující generované plyny. Vstupním materiálem pro plazmové tavení jsou odpady z petrochemického a chemického průmyslu. Jde převážně o katalyzátory s obsahem drahých a neželezných kovů a o odpady ze širokého spektra průmyslových odvětví.

Výstupním produktem je kov nebo slitina, která je často kolektorem zlata a stříbra a kovů platinové skupiny. Dalšími dvěma produkty procesu jsou odvalová struska a syntézní plyn. Odvalová struska je tavenina oxidů kovů s vysokou afinitou k O₂ s bodem tavení okolo 1400–1500 °C. Syntézní plyny vzniklé zplyňováním organických částí materiálu jsou spalovány v mikrokogenerační jednotce Capstone C 200 s mikroturbínou. Elektrický výkon jednotky je 200 kW a tepelným výkon je 340 kW. Výhřevnost syngasu závisí na druhu použitého plazmotvorného plynu, jeho množství a na chemickém složení vlastního zpracovávaného odpadu. Obecně lze konstatovat, že může činit až 25 MJ.m⁻³.

4. Modelový projekt ZEVO využívající technologii plazmového zplyňování odpadu

Závěrečná část práce se věnuje tvorbě modelového příkladu realizace ZEVO využívající technologii plazmového zplyňování. Nejprve je popsána uvažovaná lokalita realizace projektu a předpoklady modelového projektu. Následně je vypočtena ekonomická efektivita investice do plazmového ZEVO a provedena citlivostní analýza změny klíčových parametrů.

Po konzultaci se zástupci společnosti PGP Terminal, a.s. byla zvolena pro modelový projekt realizace umístěná na pozemku kategorie brownfield v lokalitě stávajícího teplárenského zdroje, který je napojen na systém centrálního zásobování teplem a další inženýrské sítě. Za optimální umístění pro možnou realizaci plazmového ZEVO v uvažované konfiguraci IPGCC lze považovat takové, kde je k dispozici infrastruktura po v minulosti odstavených, případně v současnosti dosluhujících zdrojích. Vzhledem k dlouhodobému trendu poklesu dodávek tepla, naddimenzovanosti výrobních kapacit městských tepláren a legislativním požadavkům na omezování emisí škodlivin i skleníkových plynů, je v ČR potenciálně několik vhodných lokalit kategorie brownfield. Výhodou takovéto realizace je kromě využití existující dopravní a technologické infrastruktury i nahrazení části spotřebované energie z fosilních paliv použité k výrobě elektřiny a tepla energií druhotných zdrojů. Navíc materiálové využití vitrifikátu bude také umožňovat omezení spotřeby primárních zdrojů. Takovéto řešení je tedy jednou z možností, jak může odpadové hospodářství přispět ke konceptu cirkulární ekonomiky, trvale udržitelného rozvoje a snížení emisní zátěže obyvatelstva.

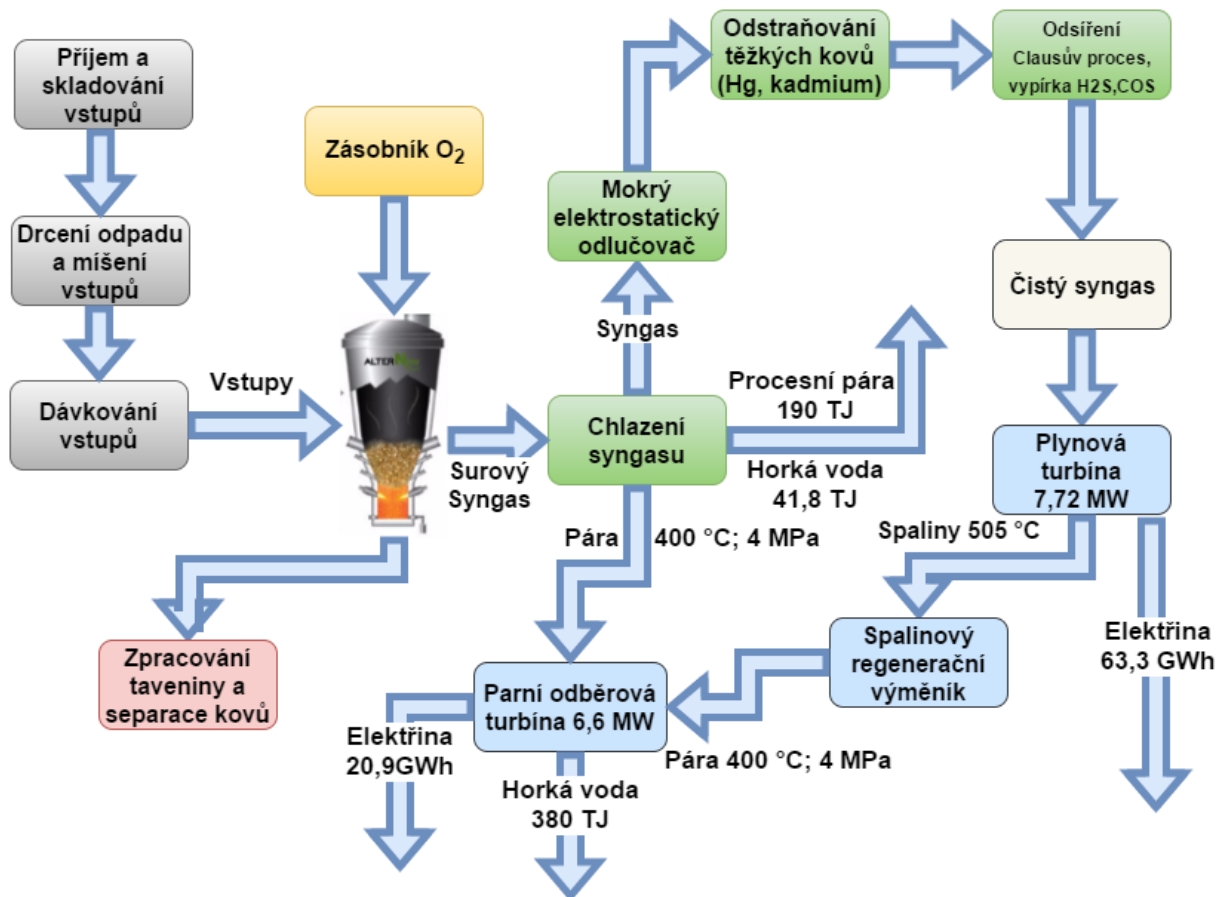
4.1 Předpoklady modelového projektu

Předpoklady jsem stanovil na základě konzervativního kvalifikovaného odhadu, konzultací s odborníky a historických dat způsobem, aby vstupy a výstupy do modelu nebo indexace cen v ekonomickém modelu v maximální možné míře odpovídaly současné tržní realitě.

4.1.1 Specifikace modelového projektu

Ve své práci uvažuji realizaci plazmového ZEVO se zpracovatelskou kapacitou 90 500 tun SKO ročně. Svou kapacitou je srovnatelné se ZEVO Chotíkov nebo Termizo Liberec.

Provedu výpočet takové konfigurace ZEVO, ve kterém bude vyráběna z produkovaného syntézního plynu elektřina prostřednictvím paroplynového cyklu (IPGCC). Zvolena byla konfigurace kombinovaného cyklu s plynovou a kondenzační odběrovou turbínou, viz Obrázek 18 Blokové schéma modelového ZEVO. K regeneraci tepla dochází nejprve při chlazení syngasu na výstupu z reaktoru WPC v jednotce HRSG (heat recovery steam generator) č. 1, následně je syngas vyčištěn a spálen ve spalovacích komorách plynové turbíny. Spaliny z plynové turbíny jsou využity k produkci páry v parním generátoru HRSG č. 2. Jak již bylo zmíněno, jedná se o brownfield realizaci, což umožňuje snížit investiční náklady ve srovnání s greenfield realizací. Z pohledu investora tedy bude výhodné pro možné komerční uplatnění technologie plazmového ZEVO najít vhodnou brownfield lokalitu. Takováto realizace umožní zvýšit konkurenceschopnost technologie plazmového zplyňování odpadu v porovnání s ostatními způsoby zpracování odpadu.



Obrázek 18 Blokové schéma modelového ZEO, včetně ročních energetických toků

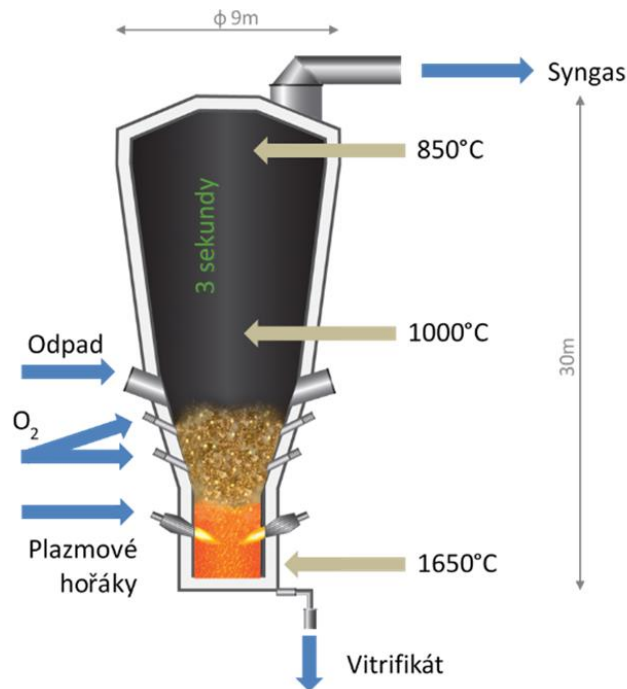
4.1.2 Materiálové a energetické vstupy a výstupy

V modelovém projektu je uvažováno s výhřevností zpracovávaného odpadu 10,78 GJ/t, což je výpočtová hodnota převzatá z bilancí hmotnostních a energetických toků předaných dodavatelem technologie WPC, licencované společností Alter NRG Corp. Jedná se o výhřevnost, která je mírně vyšší než průměrná výhřevnost odpadu v ČR. Pokud však bude zpracováván SKO z městských zástaveb, případně bude odpad před vstupem do reaktoru upraven (např. částečně zbaven vlhkosti prostřednictvím využitím odpadního tepla reaktoru) je možné takovouto výhřevnost odpadu v podmínkách ČR dosáhnout.

Dále je do reaktoru jakožto pomocný materiál přidáván slévárenský koks za účelem vytvoření koksového lože, stabilizace procesu a prostředí v termochemickém reaktoru, současně s granulovaným vápencem (CaCO_3), který slouží k úpravě vlastností a struktury taveniny vznikající ve spodní části reaktoru. Výsledná výhřevnost vstupující zplyňované směsi je 11,56 GJ/t. Hodinová zpracovatelská kapacita reaktoru je 11,04 t SKO.

Materiálovým vstupem jsou tedy tzv. pomocné látky (koks, vápenec) a mezi přídavné látky, které jsou rovněž materiálovými vstupy, řadíme také užitkovou (chladicí) vodu, katalyzátory, mazací oleje, a další chemikálie. Výroba technologických plynů, zejména technologického kyslíku (jakožto hlavního oxidačního čidla) je v projektu uvažovaná ve vlastní režii, tedy je součástí investičních výdajů a energetická a materiálová spotřeba je zahrnuta v provozních výdajích. Specifikem plazmové technologie je nutnost výměny elektrod u čtyřech instalovaných plazmových hořáků reaktoru W15. Předpokládána spotřeba elektrod všech hořáků je 50 až 100 ks/rok.

Z materiálových a energetických bilancí reaktoru W 15 jsem určil výhřevnost produkovaného syntézního plynu, jejíž hodnota je $5,82 \text{ MJ/Nm}^3$. Hodinová produkce plynu uvažovaná v modelovém projektu je $15\,602 \text{ Nm}^3$.



Obrázek 19 Reaktor typ W 15 použitý v modelovém projektu

Plyn je v rámci procesu čištění nejprve ochlazen z teploty zhruba 850°C (viz Obrázek 19) na teplotu 180°C v parním generátoru HRSG č. 1 o výkonu $4,82 \text{ MWt}$. Zde je generováno $6,2 \text{ t/h}$ páry o parametrech 400°C ; 4 MPa . Generovaná pára je částečně vedena na kondenzační odběrovou turbínu s jedním regulovaným odběrem. V modelovém projektu je uvažována varianta maximálního odběru tepla z turbíny po celou dobu projektu. V následujícím výměníku syngas/horká voda je plyn ochlazen na teplotu 70°C . Při $8\,200$ hodinách ročně je v tomto výměníku produkováno $41\,820 \text{ GJ}$ tepla v horké vodě určené k distribuci do systému centrálního zásobování teplem. V posledním výměníku syngas/voda je syntézní plyn dochlazen na 20°C .

Ochlazený plyn je zbaven pevných částic v elektrostatickém odlučovači, dále jsou odstraněny těžké kovy a je odsířen. Vyčištěný syngas je následně spalován na plynové turbíně o výkonu $7,72 \text{ MW}$. Turbína při měrné spotřebě paliva $11,75 \text{ GJ/MWh}$ vyrobí ročně $63\,300 \text{ MWh}$ elektřiny. Teplota spalin na výstupu z turbíny je 505°C .

Pro regeneraci tepla ze spalin je využit spalinový kotel, který generuje páru o stejných parametrech jak parní generátor HRSG č.1 v systému chlazení syngasu. Součet energie v páře na vstupu kondenzační odběrové turbíny je $526\,260 \text{ GJ/rok}$. Výkon parní turbíny je $6,6 \text{ MW}$. Prostřednictvím kondenzační odběrové turbíny je vyrobeno $20\,900 \text{ MWh}$ ročně. Konstantní odběr z turbíny o parametrech 143°C ; $0,32 \text{ MPa}$ je $380\,000 \text{ GJ}$ ročně.

Celkem je uvažováno s prodejem $82\,500 \text{ MWh}$ při uvažování ztrát na transformátoru a síťové přípojce 2% . Dále je uvažováno s prodejem $422\,000 \text{ GJ}$ tepelné energie vyvedené v horké vodě.

Celková vlastní spotřeba ZEVO je $4,81 \text{ MWe}$, což při 8200 provozních hodinách znamená nákup $39\,480 \text{ MWh/rok}$ ze sítě.

4.1.3 Diskont

Diskont jsem určil na základě modelu CAPM a průměrné vážené ceny kapitálu WACC.

$$WACC = r_e \times \frac{E}{E + D} + r_d \times \frac{D}{E + D} \times (1 - \tau) \quad (13)$$

$$r_e = r_f + (r_m - r_f) \times \beta_L = r_f + ERP \times \beta_L \quad (14)$$

$$\beta_L = \beta_U \times \left[1 + \frac{D}{E} \times (1 - \tau)\right] \quad (15)$$

r_e	náklady vlastního kapitálu
r_d	náklady cizího kapitálu (bankovní úrok)
E	vlastní kapitál (Equity)
D	cizí kapitál (Debt) - bankovní úvěr
τ	daňová sazba
r_f	bezrizikový výnos
r_m	očekávaný výnos tržního portfolia
ERP	tržní riziková přírážka
β_L	koeficient beta vážený (vztážený ke konkrétní zadluženosti)
β_U	koeficient beta nevážený (nezadlužené firmy)

Daňová sazba

Daň z příjmu právnických osob je v ČR 19 % na základě zákona č. 586/1992. S touto daňovou sazbou je počítán po celou dobu hodnocení projektu.

Bezrizikový výnos

K 30.11 2016 byl dle dat ČNB výnos 10letých státních dluhopisů ČR (považovaných za bezrizikovou dlouhodobou investici) 0,55 %, což přibližně odpovídá průměrné hodnotě výnosu za poslední 2 roky. Aktuální hodnota výnosu je velmi blízko historického minima 0,25 %, kterého bylo dosaženo v září 2016. Nízká hodnota kupónu dluhopisů má za následek snížení hodnoty WACC.

Zadluženost

Především kvůli neexistenci dlouhodobých provozních dat z obdobného plazmového ZEVO v evropských podmínkách je pravděpodobná nutnost dodatečného zajištění projektu ze strany investora. Za předpokladu, že se investor zaváže při neplnění provozních parametrů ZEVO hradit výdaje spojené s úvěrem z vlastních zdrojů je možné, aby takovýto projekt dosáhl na podíl cizích zdrojů 70 %, který je v projektovém financování obvyklý. Splatnost úvěru byla stanovena na 13 let od uvedení ZEVO do provozu (14 let včetně výstavby). Tato doba je na horní hranici v praxi běžně poskytované splatnosti u projektového financování projektů v energetice.

Náklady cizího kapitálu

Na základě konzultace s oddělením financování energetických projektů Komerční banky byla pro výpočet stanovena fixní úroková sazba ve výši 3 %. Součástí této sazby je pohyblivá sazba mezibankovního trhu PRIBOR (dle frekvence splátek se uvažuje tříměsíční, šestiměsíční případně roční PRIBOR), dále marže banky, náklady na zajištění úrokové sazby (IRS) a rezerva projektu. V současnosti se sice úrokové sazby na mezibankovním trhu pohybují na velmi nízké úrovni okolo 0,3 %, vzhledem k dlouhodobému charakteru úvěru je z pohledu eliminace rizika jejího růstu výhodné si tuto sazbu zajistit prostřednictvím úrokového SWAPU.

Riziková prémie

Dle databáze prof. Damodarana [48] jsem stanovil rozdíl mezi tržním portfoliem a bezrizikovým výnosem, tedy hodnotu ERP pro ČR na 6,75 %.

Beta koeficienty

Vzhledem k multidvětvovému charakteru výnosů jsem stanovil β_U jako vážený průměr dle podílu příjmů z jednotlivých sektorů. Sektor energetiky ($\beta_U = 0,56$) se na příjmech podílí z 39 %, podíl odpadového hospodářství ($\beta_U = 0,79$) je 61 %. Výsledný koeficient β_U vychází 0,65.

Dosazením do rovnice 16 pro výpočet váženého koeficientu beta vychází β_L 1,88.

Náklady vlastního kapitálu

Po dosazení bezrizikového výnosu, tržní rizikové přírážky a váženého koeficientu beta do vztahu 15 vychází hodnota nákladu vlastního kapitálu 13,23 %.

WACC

Dosazením výše uvedených hodnot do rovnice 14 vychází vážená cena kapitálu 5,67 %. Tuto hodnotu budu používat jako diskont pro výpočet ekonomické efektivity investice.

4.1.4 Doba hodnocení projektu a roční fond provozní doby

Doba hodnocení plazmového ZEVO byla stanovena na 22 let, která zahrnuje dvouletou dobu výstavby ZEVO.

Hodnota ročního fondu provozní doby je stanovena na 8 200 hodin. V prvním roce je uvažováno omezení ročního fondu provozní doby ve výši 15 % z důvodu optimalizace provozního režimu plazmového ZEVO.

4.1.5 Ocenění vstupů a výstupů, indexace

Příjmy plazmového ZEVO jsou zajištěny prostřednictvím poplatku za zpracování odpadu, prodeje elektrické a tepelné energie, separovaných kovů z odpadu a vitrifikátu, jejich přehled je uveden v tabulce (Tabulka 14).

Zpracování SKO	1 850,00 Kč/t
Silová elektřina	890,00 Kč/MWh
Horká voda	210,00 Kč/GJ
Separované kovy	5 250,00 Kč/t
Vitrifikát	630,00 Kč/t

Tabulka 14 Přehled jednotkových cen výstupů v modelovém projektu plazmového ZEVO

Poplatek za zpracování odpadu byl zvolen na základě konzultace se zástupci společnosti PGP Terminal, a.s. ve výši 1 850 Kč/t. Poplatek za zpracování odpadu je uvažován po celou dobu hodnocení projektu v konstantní výši. Poplatek za uložení směsného komunálního odpadu na skládku ve výši uvažované v modelu plánuje MŽP pro rok 2023.

Z hlediska konkurence ze strany alternativních zpracovatelů odpadu bude nutné v uvažované lokalitě výstavby analyzovat cenu odpadu za skládkování směsného komunálního odpadu, případně ostatních ZEVO v lokalitě.

Pro srovnání jsou uvedeny aktuální ceny za zpracování odpadu v ZEVO Sako Brno a skládce odpadu v Benátkách nad Jizerou a Rynholci u Rakovníka. SAKO Brno má v současnosti stanoven poplatek za zpracování odpadu ve výši 850 Kč/t. [49] Cena za uložení SKO na skládku se skládá z následujících složek. Ze zákonného poplatku, který je v současnosti 500 Kč/t, ceny za uložení odpadu a finanční rezervy na rekultivaci. Dle ceníku společnosti AVE pro skládku v Benátkách nad Jizerou je cena za uložení SKO 440 Kč/t (bez DPH) a rezerva na rekultivaci 35 Kč/t. Celková cena za uložení odpadu na skládku je 975 Kč/t bez DPH. Na skládce v Rynholci u Rakovníka je dle aktuálního ceníku výsledná cena za uložení SKO 1 170 Kč/t bez DPH. Pokud se MŽP podaří prosadit navýšení zákonného poplatku za ukládání SKO na skládky může být dosaženo ceny za skládkování odpadu na úrovni okolo 1 800 Kč/t mezi roky 2019 a 2020.

Cena silové elektřiny byla stanovena na základě ceny produkty Base load pro rok 2017 na burze EEX je indexována 0,5 % ročně. Cena za horkou vodu je odhadnuta na základě hodnot běžných pro teplárny a je indexována 1 % ročně.

Cena separovaných kovů byla určena na základě váženého průměru ceny železného šrotu a vzácnějších kovů a je indexována 0,5 % ročně. Železný šrot, který se na množství separovaných kovů podílí zhruba z 50 % (na základě informací o množství separovaného kovu v libereckém ZEVO s obdobnou kapacitou). Výkupní cenu šrotu uvažují 2,5 Kč/Kg. U ostatních vzácnějších kovů je počítáno s cenou 8 Kč/Kg.

Vzhledem k tomu, že se vitrifikát v současnosti v ČR neobchoduje, byla jeho cena odhadnuta na základě konzultace se zástupci PGP Terminal a.s., viz Tabulka 14. Zdůvodnění uvažované ceny je, že vitrifikát může být použit jako vstupní surovina pro výrobky s vyšší přidanou hodnotou (např. izolační vlna). Pro cenu vitrifikátu uvažují indexaci 1 %.

Provozní výdaje (OPEX) lze rozdělit na variabilní provozní výdaje, fixní provozní výdaje a osobní náklady. Z variabilních provozních výdajů je nejvýznamnější vlastní spotřeba elektřiny a koku,

přidávaného do reaktoru pro technologické účely. Při ročním fondu provozní doby 8 200 hodin je počítáno s vlastní spotřebou ZEVO 39 486 MWh za cenu 2 300 Kč/MWh. Koks, je další složkou variabilních výdajů, představuje však méně než 4 % zpracovávané směsi, v modelu je počítáno s jeho cenou 6 990 Kč/t. Všechny složky variabilní OPEX, kromě ceny nakupované elektřiny ze sítě pro vlastní spotřebu, jsou indexovány 1 % ročně. Cena elektřina ze sítě je indexována 0,5 % ročně.

Fixní výdaje tvoří především pojištění, oprava a údržba (případně tvorba fondu oprav). Tyto položky nejsou indexovány.

Osobní náklady jsou zobrazeny v následující tabulce (Tabulka 15).

Pozice	Počet zaměstnanců	
Mzda vedení	2	867 200 Kč
Provozní inženýr	2	813 000 Kč
Laborant	2	758 800 Kč
Operátor	20	6 504 000 Kč
Údržbář	5	1 490 500 Kč
Mzdová náklady		10 433 500 Kč
Odvod ze mzdových nákladů		35%
Osobní náklady	31	14 085 225 Kč

Tabulka 15 Přehled osobních nákladů

4.1.6 Investiční výdaje a odepisování

Na základě podkladů o cenách technologie Alter NRG a odhadu úspor za typ realizace projektu brownfield ve výši 10 % byla určena celková výše investice 1,44 mld. Kč. Pro zjednodušení uvažují celou investici ve 4. odpisové skupině - Budovy pro výrobní energetiku, elektrická vedení, turbíny, stavby elektráren, průmyslové komíny, věžové zásobníky. Doba odepisování pro tuto skupinu je 20 let a je uvažován lineární způsob odepisování. V projektu není uvažováno se zůstatkovou hodnotou projektu, počítá se s tím, že ze zůstatkové hodnoty projektu budou uhrazeny náklady na likvidaci projektu.

4.1.7 Dotace

Plazmové ZEVO splňuje kritérium energetické účinnosti zařízení energeticky využívající pevný komunální odpad. Je tedy možné v plazmovém ZEVO využívat odpad způsobem R1, tj. využití odpadu způsobem obdobným jako palivo nebo jiným způsobem k výrobě energie.

Dle rovnice (4) vychází energetická účinnost plazmového ZEVO 0,699, je tedy vyšší než požadovaná hodnota 0,65.

Na základě kapitoly Provozní podpora byly ověřeny nároky zdroje na podporu dle aktuálně platných cenových rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ).

V modelovém projektu je uvažováno s podporou 60 % vyrobené elektřiny (dle podílu BRKO v odpadu dle vyhlášky č. 477/2012 Sb.). Výše této podpory je po celou dobu projektu uvažována ve výši 1 720 Kč/MWh.

V modelovém projektu není počítáno s podporou výroby energie z druhotných zdrojů, tato podpora není vypsána pro nově vybudované zdroje.

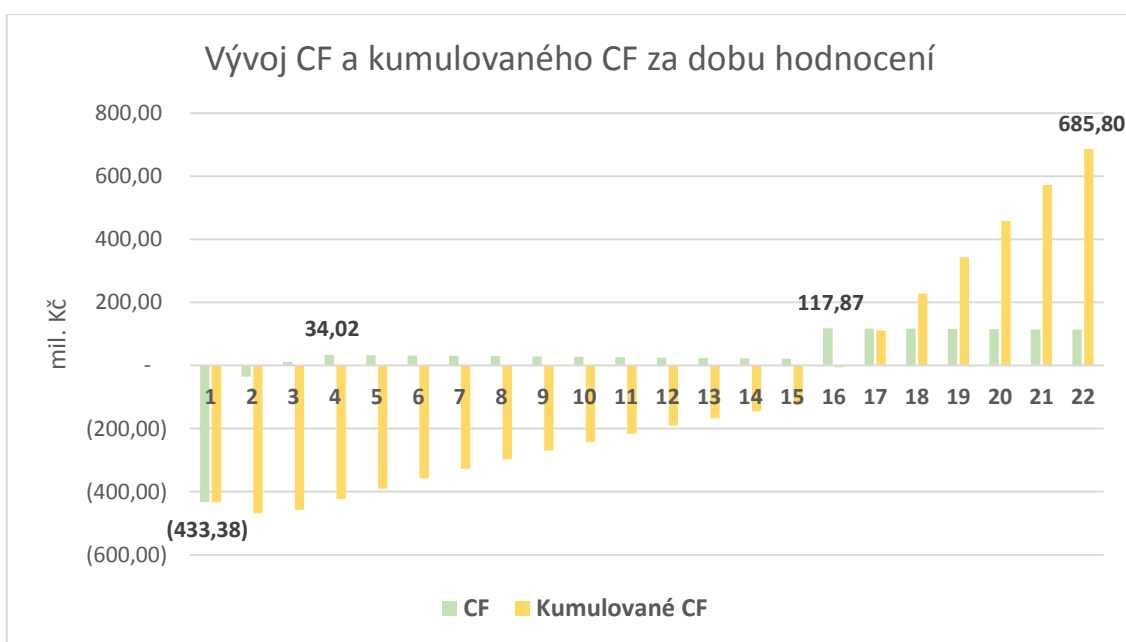
V projektu také není uvažováno s podporou výroby elektřiny v KVET, ačkoliv plazmové ZEVO splňuje podmínku úspory primární energie vyšší než 15 %. Plazmové ZEVO by tedy v případě

vypsání podpory KVET Energetickým a regulačním úřadem i pro nově vybudované zdroje tuto provozní podporu mohlo čerpat.

Dále je v projektu uvažováno s podporou výroby tepla, tzv. zeleným bonusem na teplo, která se v případě energetického využití odpadu vztahuje na teplo vyrobené spalováním obnovitelného zdroje (biologicky rozložitelná část komunálního odpadu - BRKO) s druhotným zdrojem. Zelený bonus je dle aktuálně platného cenového rozhodnutí 51 Kč/GJ, v projektu neuvažují s jeho indexací.

4.2 Cash flow modelového projektu

Na základě výše uvedených předpokladů byl zpracován ekonomický model, jehož výstupem je cash flow projektu. Vývoj cash flow v jednotlivých letech a kumulovaného cash flow je znázorněn na následujícím grafu (Obrázek 20).



Obrázek 20 Vývoj cash flow a kumulovaného cash flow v čase za dobu hodnocení projektu

Jak je patrné z grafu podstatným rokem z pohledu hotovostních toků je 16. rok projektu, kdy už je splacen úvěr a dojde k šestinásobnému navýšení hotovostního toku. Těsně po skončení 16. roku se dostane kumulovaný hotovostní tok na 0, tedy prostá doba návratnosti tohoto projektu je 17,05 roku. Hodnocení efektivity investice z pohledu investora bude provedeno v následující kapitole.

4.3 Ekonomické hodnocení

Z pohledu investora je nutné brát v úvahu časovou hodnotu peněz. Časovou hodnotu peněz z pohledu investora určuje diskont. Efektivnost investice budou posuzovat následujícími ukazateli:

1. Čistá současná hodnota (NPV)
2. Vnitřní výnosové procento (IRR)

Čistá současná hodnota je rozdílem mezi diskontovanými peněžními příjmy z investice a diskontovanými výdaji na investici. Výhodou je, že NPV zohledňuje nejen výši příjmů a výdajů, ale i jejich časové rozložení během určité doby. NPV ukazuje přírůstek investice k tržní hodnotě, která ji realizuje. Varianta investice, která má vyšší NPV je považována za výhodnější. Při rozhodování o výběru investice na základě porovnání NPV, je vybrána investice na základě kritériální podmínky maximalizace hodnoty NPV. Obecně lze říci, že všechny varianty s $NPV > 0$ jsou přípustné - přinášejí

příjem alespoň ve výši diskontu. (pozn. Při porovnávání vynucených investic může být NPV všech variant záporné, v takovém případě je zvolena ta, která má NPV v absolutní hodnotě nejnižší.)

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} \quad (16)$$

CF_t [Kč] roční cash flow (tok peněz) v jednotlivých letech

r [%] diskont

T [roky] životnost investičního výdaje

t [roky] jednotlivé roky životnosti $t \in \langle 0; T \rangle$

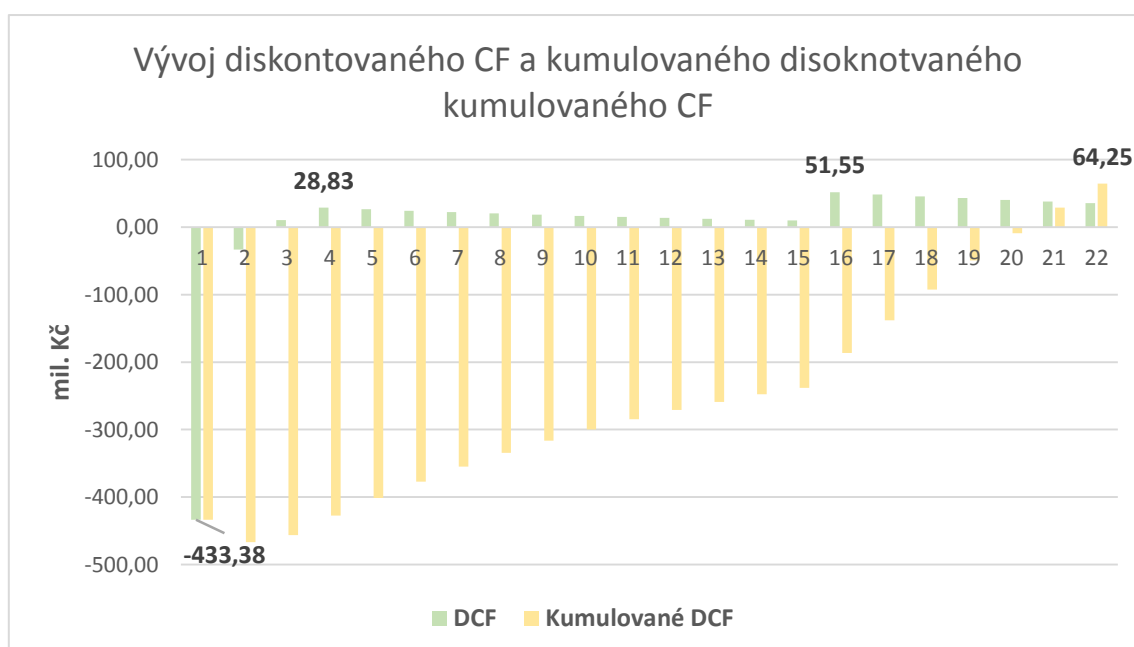
Vnitřní výnosové procento IRR lze vyjádřit ze vztahu (16) tak, že se suma hotovostních toků za dobu životnosti investičního výdaje položí rovna 0. Z takto vzniklého polynomu se vyjádří hodnota diskontu (r), která se nazve vnitřní výnosové procento (IRR).

Pro výpočet NPV je nejprve nutné provést diskontování hotovostních toků (viz Obrázek 21) a jejich následnou sumu. Diskont byl pro hodnocení tohoto projektu stanoven ve výši 5,67 %. Výsledné hodnoty NPV a IRR jsou zachyceny v následující tabulce (Tabulka 16).

WACC	5,67%
NPV	64,25 mil. Kč
IRR	6,73%

Tabulka 16 Přehled výsledných hodnot ukazatelů ekonomické efektivity investice

Hodnota IRR byla spočtena pomocí funkce v tabulkovém procesoru MS Excel.



Obrázek 21 Vývoj diskontovaného CF a kumulovaného diskontovaného CF

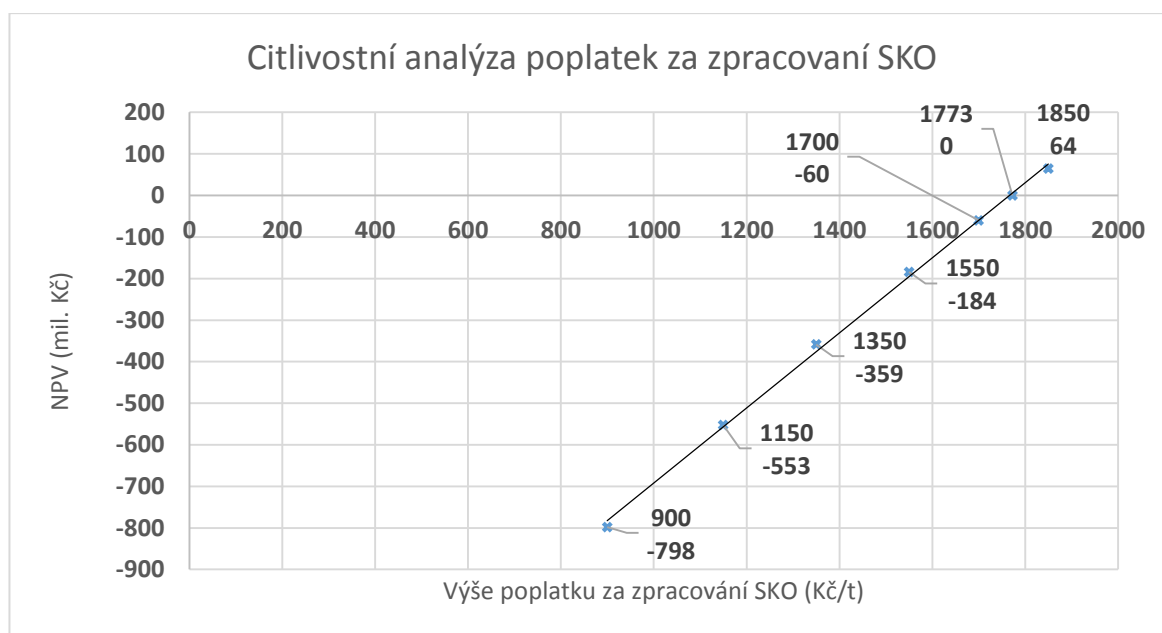
Vzhledem k tomu, že NPV projektu vychází za daných předpokladů kladné, tato investice je za stanovených předpokladů ekonomicky efektivní. Vnitřní výnosové procento takovéto investice dosahuje 6,73 %, což je hodnota standardně dosahovaná v investičních projektech v energetice. Je

ovšem nutné zdůraznit, že v modelu bylo počítáno s poplatkem za zpracování tuny odpadu 1850 Kč. Reálné dosažení takovéto nebo podobné výše poplatku za zpracování odpadu by mělo být dosaženo dle plánů MŽP kolem roku 2020 (při navýšení zákonného skladovacího poplatku ze současných 500 Kč/t na 1350 Kč/t). Cílový parametr IRR pro reálnost uplatnění plazmového ZEVO v ČR by měl být dle zástupců společnosti PGP Terminal na úrovni 9 %. Tato hodnota IRR je dosažitelná při navýšení zákonného poplatku za skládkování odpadu na hodnotu cca 1550 Kč, takovouto výši poplatku plánuje MŽP pro rok 2021.

Citlivost investice na jednotlivé parametry mj. právě i na výši skladovacího poplatku je ověřena v následující kapitole.

4.4 Citlivostní analýzy

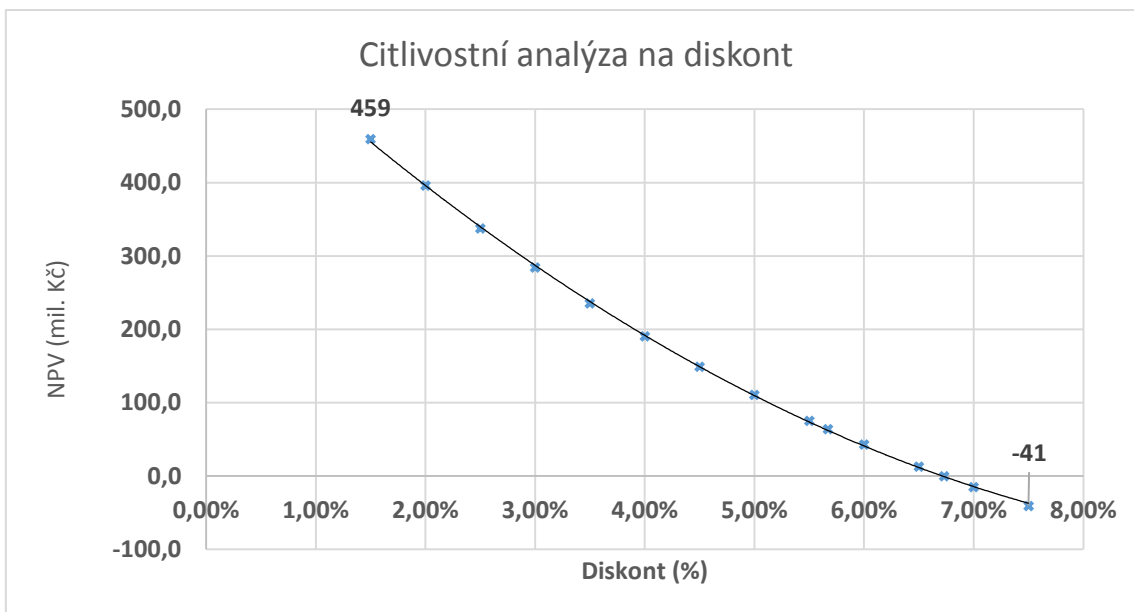
Citlivostní analýza na poplatek za zpracování tuny SKO byla zpracována tak, aby zohledňoval různou výši zákonného poplatku za uložení odpadu na skládku.



Obrázek 22 Citlivostní analýza poplatků za zpracování SKO

Z grafu (Obrázek 22) je patrné, že s uvažovaným poplatkem za zpracování odpadu ve výši 1 150 Kč/t, je projekt ekonomicky neefektivní. Tato hodnota zhruba odpovídá dnešní ceně za uložení odpadu na skládku (včetně zákonného poplatku 500 Kč/t). Minimální poplatek za zpracování odpadu, při kterém je investice ekonomicky efektivní (tj. NPV = 0 Kč) je 1 773 Kč. Tato cena za zpracování je reálná při hodnotě zákonného poplatku za uložení odpadu na skládku ve výši zhruba 1 200 Kč/t (celková cena za uložení odpadu na skládku bude zhruba 1750 Kč/t). Této výše zákonného poplatku by mělo být dle plánů MŽP dosaženo mezi roky 2019 až 2020.

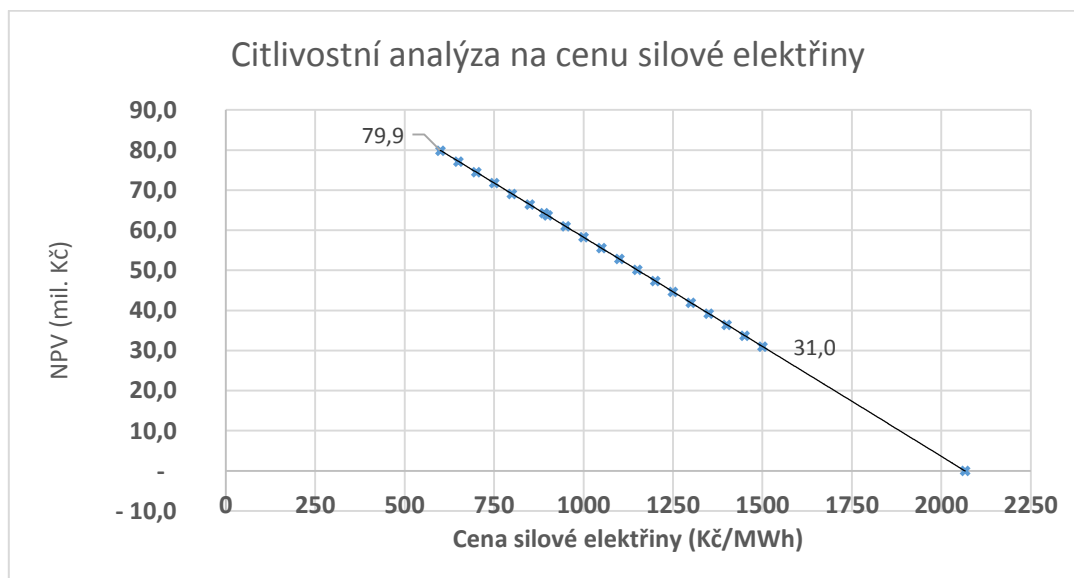
Dále byl ověřen vliv výše diskontu (respektive WACC) na ekonomickou efektivitu investice.



Obrázek 23 Citlivostní analýza na výši diskontu

Jak již bylo zřejmé z výpočtu IRR rozhodující výši diskontu pro efektivnost investice, je hodnota 6,73 %. Pokud by si investor stanovil vyšší diskont než 6,73 %, tak nebude investice do modelového projektu plazmového ZEVO ekonomicky efektivní, což je patrné i z grafického znázornění závislosti NPV na výši diskontu (Obrázek 23).

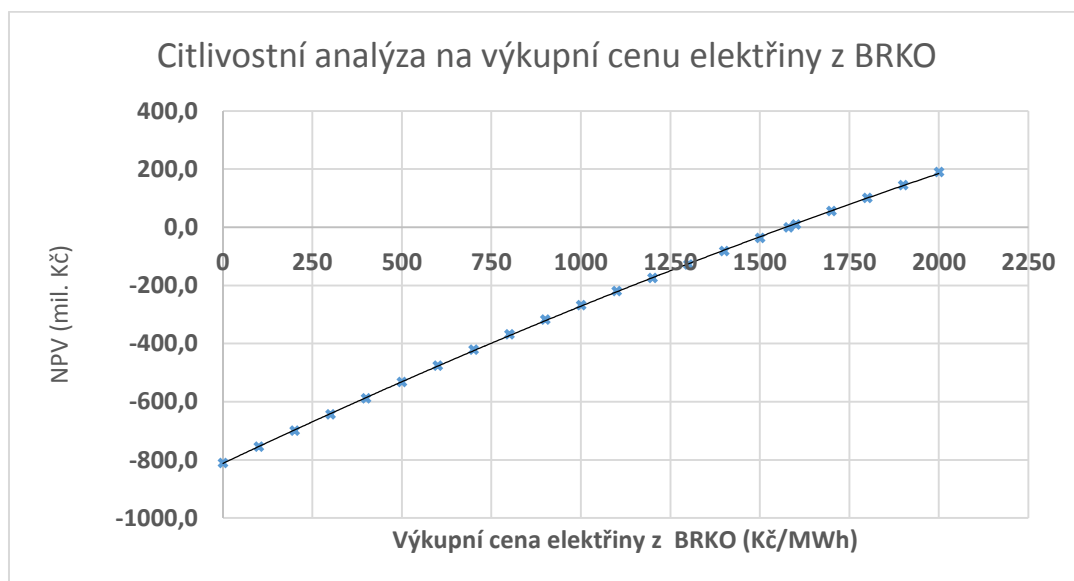
Dále byla provedena citlivostní analýza na cenu silové elektřiny. Cena silové elektřiny vstupuje do modelu na straně příjmů (40 % elektřiny, která nepochází z BRKO) i na straně výdajů (ovlivňuje cenu elektřiny za vlastní spotřebu ZEVO). Vzhledem k tomu, že cena elektřiny vstupuje jak na příjmové, tak výdajové straně, se dá předpokládat, že bude výsledek vůči výkyvům její ceny odolný.



Obrázek 24 Citlivostní analýza na cenu silové elektřiny

Jak je patrné z provedené citlivostní analýzy (Obrázek 24), změna ceny silové elektřiny o 50 Kč/MWh vyvolá změnu NPV 2,7 mil. Kč. Potvrdilo se tedy, že citlivost NPV na změnu cenu silové je poměrně nízká. Maximální cenou, při které je investice ještě ekonomicky efektivní (NPV = 0 Kč), je 2 067 Kč/MWh.

Dalším faktorem, na který byla provedena citlivostní analýza, je výkupní cena elektřiny z BRKO.



Obrázek 25 Citlivostní analýza va výkupní cenu silové elektřiny z BRKO

Ze závislosti NPV na výkupní ceně elektřiny z BRKO je patrná výrazně vyšší citlivost NPV na změnu výkupní ceny v porovnání s citlivostí na cenu silové elektřiny. Se změnou výkupní ceny silové elektřiny o 100 Kč se NPV mění o 45 mil. Kč. Minimální výše podpory pro zachování efektivity investice (NPV= 0) je 1 580 Kč/MWh.

Dále byla provedena analýza dvouparametrická citlivostní analýza, která dává do souvislosti výsledné NPV na základě různých kombinací výše poplatku za zpracování odpadu a vyšší výkupní ceny za elektřinu z BRKO, viz Tabulka 17.

NPV v mil. Kč		Výkupní cena za vyrobenou elektřinu z BRKO (Kč/MWh)								
		1300	1400	1500	1580	1600	1700	1800	1900	2000
Poplatek za zpracování odpadu (Kč/t)	900	-1035	-979	-923	-879	-868	-812	-756	-701	-645
	1150	-785	-730	-674	-630	-618	-563	-507	-451	-397
	1350	-586	-530	-474	-430	-419	-366	-315	-266	-218
	1550	-388	-336	-286	-247	-238	-191	-145	-100	-54
	1700	-252	-205	-160	-123	-114	-68	-22	24	69
	1850	-128	-82	-36	0	9	55	100	145	191

Tabulka 17 NPV v závislosti na různé kombinaci výše ceny poplatku za zpracování odpadu a výkupní ceny elektřiny z BRKO

Jak je patrné z výše uvedené tabulky (Tabulka 17), pokud nedojde k navýšení zákonného poplatku za skládkování odpadu a tím i ceny skládkování odpadu, investice nebude ekonomicky efektivní ani při zvýšení výkupní ceny za elektřinu vyrobenou z BRKO. Stav přibližně odpovídající dnešní realitě je v tabulce 17 zvýrazněn žlutě. Při nárůstu ceny skládkování odpadu (prostřednictvím navýšení zákonného poplatku) alespoň o 800 Kč/t je aktuální výše výkupní ceny elektřiny z BRKO nastavená z pohledu ekonomické efektivity projektu správně.

5. Závěr

Již delší dobu je zřejmé, že stávající kapacita zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO) v ČR bude nedostačující s ohledem na budoucí plány v oblasti odpadového hospodářství ČR. V roce 2016 bylo uvedeno v ČR do provozu po 16 letech nové ZEVO - ZEVO Chotíkov. Současná kapacita ZEVO v ČR je tedy aktuálně v souladu s Plánem odpadového hospodářství ČR (POH ČR). V průběhu následujících 8 let by se však měla kapacita ZEVO v ČR přibližně zdvojnásobit z dnešních 769 000 tun komunálního odpadu ročně na 1 470 000 tun v roce 2024.

V souladu s POH ČR a jednotlivými krajskými POH tedy bude nutné pro splnění stanovených cílů v průběhu následujících 8 let vybudovat nová ZEVO o zpracovatelské kapacitě 700 000 tun odpadu ročně. Výstavba takovéto kapacity ZEVO se dá vyřešit např. prostřednictvím výstavby 2 až 3 nových „velkých“ ZEVO se zpracovatelskou kapacitou každého zařízení v rozmezí 230 až 350 tisíc tun odpadu ročně. Další variantou je kombinace výstavby velkých a malých zařízení, případně rozšíření kapacit stávajících ZEVO.

Vzhledem ke složitosti a náročnosti povolovacího procesu obzvláště pro „velké“ ZEVO je velmi nepravděpodobné, že by bylo možné stihnout realizovat v ČR v následujících 8 letech více než jedno „velké“ zařízení. Jako reálnější varianta se jeví výstavba menších ZEVO s kapacitou řádově 100 000 tun, jejichž realizace je mimo jiné také investičně méně náročná. Z pohledu přiměřenosti zpracovatelských kapacit tedy v ČR existuje prostor pro výstavbu plazmového ZEVO obdobné kapacity a parametrů, s jakými bylo počítáno v praktické části této práce.

Nástroje, které mají motivovat investory do výstavby ZEVO v ČR jsou plánovaný růst poplatku za skládkování odpadu a provozní podpora výroby elektřiny a tepla. Dále by v roce 2024 mělo dojít k výrazné změně ve způsobu nakládání s odpady v ČR, vzhledem k tomu, že začne platit zákaz skládkování biologicky rozložitelné části komunálních odpadů. Pokud by byl poplatek za skládkování odpadu na úrovni okolo 1 300 Kč/t, který je plánovaný MŽP pro rok 2020, skutečně zaveden, tak je při současném využití provozních podpor na výrobu elektřiny a tepla investice do brownfield realizace plazmového ZEVO ekonomicky efektivní.

Efektivita investice do plazmového ZEVO výrazně závisí na výši poplatku za zpracovaný odpad. Výše poplatku za zpracovaný odpad bude určena cenou za alternativní možnost zpracování odpadu (velmi pravděpodobně skládkování). Z pohledu investora do plazmového ZEVO bude důležité sledovat dění ohledně legislativního prosazení navýšení poplatku za skládkování a roky ve kterých k němu dojde.

NPV modelového projektu plazmového ZEVO vychází za daných předpokladů kladné, tato investice je za stanovených předpokladů ekonomicky efektivní. Vnitřní výnosové procento takovéto investice dosahuje 6,73 %, což je hodnota standardně dosahovaná v investičních projektech v energetice. Je ovšem nutné zdůraznit, že v modelu bylo počítáno s poplatkem za zpracování tuny odpadu 1850 Kč. Reálné dosažení takovéto nebo podobné výše poplatku za zpracování odpadu by mělo být dosaženo

dle plánů MŽP kolem roku 2020 (při navýšení zákonného skladovacího poplatku ze současných 500 Kč/t na 1350 Kč/t). Cílový parametr IRR pro reálnost uplatnění plazmového ZEVO v ČR by měl být dle zástupců společnosti PGP Terminal na úrovni 9 %. Tato hodnota IRR je dosažitelná při navýšení zákonného poplatku za skládkování odpadu na hodnotu cca 1550 Kč, takovouto výši poplatku plánuje MŽP pro rok 2021.

Pro to, aby byla v současnosti investice do ZEVO uvažovaného v modelovém projektu efektivní, by musela na trhu s odpady v době dokončení výstavby existovat možnost stanovit poplatek za zpracování odpadu ve výši 1 773 Kč/t. Aktuálně se cena za uložení odpadu na skládku pohybuje okolo 1 100 Kč/t bez DPH, z čehož 500 Kč/t tvoří zákonem daný poplatek. Pokud se podaří MŽP prosadit plánované navýšení zákonného poplatku, může být dosaženo ceny za uložení SKO na skládku okolo 1 750 Kč/t bez DPH již v roce 2019. Při uvažování doby výstavby plazmového ZEVO dva roky je tedy možné při nalezení vhodné brownfield lokality pro realizaci investici za stanovených předpokladů realizovat.

Z provedených citlivostních analýz dále vyplývá, že výše provozní podpory za elektřinu z biologicky rozložitelného odpadu může klesnout maximálně na 1 580 Kč/MWh (při výši poplatku za zpracování odpadu 1850 Kč), aby zůstala investice ekonomicky efektivní.

Pro vlastní prosazení technologie plazmového zplyňování odpadu v Evropě respektive v ČR, bude klíčové úspěšné zprovoznění projektu v Tees Valley ve Velké Británii. Tento projekt má celkovou zpracovatelskou kapacitu 700 000 tun odpadu ročně, která je zpracovávána ve dvou totožných na sobě nezávislých zařízeních (TV1 a TV2), v současnosti probíhá modifikace pomocných zařízení TV1 a pokračuje testování a uvádění zařízení TV1 do provozu. Jakmile se v projektu Tees Valley prokáže schopnost efektivního a spolehlivého provozu splňující všechny emisní požadavky, bude možné větší rozšíření plazmového zplyňování v Evropě. V opačném případě však bude prosazení této technologie v Evropě velmi obtížné, což lze analogicky odvodit z neúspěšné realizace této technologie společností Plasco v Ottawě.

Dalším klíčovým faktorem pro realizaci ZEVO čerpající určitou formu provozní podpory za vyrobenou energii, bude obnovení důvěry investorů ve státní instituce. Z pohledu podpory obnovitelných zdrojů byly poslední dva roky velmi nestandardní. Některým zdrojům (např. malé vodní elektrárny nebo nové výroby KVET) byla podpora omezena, nebo dokonce zastavena. Opakování takovéto situace by měla zamezit např. změna ve způsobu řízení Energetického regulačního úřad. Od 1. srpna 2017 povede úřad pětičlenná rada, namísto dosavadního způsobu vedení jediným vedoucím úřadu, který mohl vypsání podpory, které se koná každý rok, velmi efektivně blokovat.

Velkou výhodou energetického využití odpadu pomocí plazmového zplyňování je také pestrost produktů ve srovnání s klasickým spalováním odpadu. Produktem plazmového zplyňování je syntézní

plyn, který nemusí být okamžitě energeticky využit, ale může být využit například k výrobě kapalných paliv. Dalším využitelným produktem zplyňování je vitrifikovaná skelná struska (vitrifikát). Tuto strusku lze recyklovat ve formě stavebního a zásypového materiálu např. použitím při výstavbě silnic, jako plnivo do betonových směsí nebo je recyklována jakožto produkt o vyšší přidané hodnotě např. jako surovina pro výrobu izolační vlny.

Plazmové zplyňování lze zařadit mezi jednu z možných alternativ pro budoucí energetické využívání odpadu v ČR. Jak prokázal modelový výpočet, tato technologie dokáže být při vhodně nastaveném poplatku za zpracovaný odpad a využití provozních podpor ekonomicky efektivní. Proto by měla být v budoucích plánech na energetické využívání odpadu v ČR zvažována i varianta plazmového zplyňování odpadu, jako jedna z možných alternativ pro efektivní nakládání s odpadem.

Příloha 1

Licensor/ technologie/ lokality	Westinghouse Plasma Corporation	Plasco Energy Group	Startech Environmental Corporation	Solena Group	InEnTec
	Westinghouse Plasma Gasification	Plasco Conversion System	Plasma Converter System (PCS)	Integrated Plasma Gasification Combined Cycle (IPGCC)	Plasma Enhanced Melter (PEM)
Zpracovávaný materiál	komunální a průmyslový odpad	tříděný komunální odpad (16,5 GJ/t) + plasty	tuhé zbytky ze spalování nebezp. odpadů	deklarována použitelnost i na komun. odpady	nebezpečné a nemocniční odpady
Oxidační plyn	vzduch, event. kyslík, dusík	vzduch v minim. množství	žádný	vzduch obohacený kyslíkem	kyslík a přehřátá pára
Teplota v oblouku	1500 - 5000°C	nad 3000°C	-	4000 - 5000°C	3000 - 10000°C
Teplota při zplyňování		700 - 1200°C		1250°C	700°C
Tlak	atmosférický	atmosférický	slabý podtlak	atmosférický	atmosférický
Složení produkčního plynu před čištěním (% obj.)	15,88 % H ₂ , 40,37% CO, 3,55 % CO ₂ , 37,33 % H ₂ O	-	52% H ₂ , 26% CO, % CO ₂ ; % N ₂ , < 1% CH ₄ , < 1 % CxH _y	42,53% H ₂ , 45,29 % CO, 4,35 % CO ₂ , 0,11 % H ₂ S, 0,05 % HCl, 2,56 % C ₂ H ₆ , 5,2 % N ₂	35,6% H ₂ , 46,8 % CO, 11,8% CO ₂ , 1,5% H ₂ O, 3,3 % N ₂
Výroba energie el. energie	z dat [LB 24a, LB 24b] dopočtena hrubá výroba 1250 kWh/t.	hrubá výr. 1250 kWh/t, export 1000 kWh/t		export el.energie 1000 kWh/t [22], hrubá výr. el.en. dle [23] až 2500 kWh/t *	není
Energetická účinnost	-	76% energie vstupní energie (W+el.) do synplynu	73 % vstupní energie (W+el.) do synplynu	Efektivita výroby el. en. pro export dle [23] 35,5 %	není
Investiční náklady	pro 265 t/d IN=65 mil. USD, projekt pro 3000 t/d IN=425 mil.USD	pro 68 kt/r IN=36 mil. USD, měrné IN do 530 USD/(t/r)	2 kt/d (500 kt/r), IN=250 mil. USD, tj. 500 USD/(t/r), 3 mil. USD/(t/h)	dle projektů: 75 mil. USD (130 kt/r), 45 mil.USD (50 kt/r), 12 mil. USD (24 kt/r)	pro projekt 290 t/d (90 kt/r) 120 mil. USD
Jiné informace	-	spotřeba el. energie plazmovými hořáky 900 kWh _e /t, LHV=16,5MJ/kg *** uvažován poplatek na bráně 40 CAD/t, 800 Kč/t	-	vlastní spotřeba el. energie 727 kWh _e /t. ** LHV odpadu =18,8 MJ/kg,	-

Pozn.:

* údaj o hrubé výrobě elektrické energie 2500 kWh/t odpadu se jeví nadsazený

** spotřeba el. energie plazmovými hořáky dle [23] má činit jen 25 % z celk. spotřeby. Nereálně nízké

Bibliografie

- [1] *Odpadové Fórum 2010: 5. ročník Česko-Slovenského Symposia Výsledky Výzkumu a Vývoje pro Odpadové Hospodářství*, 21. - 23. dubna 2010, Kouty nad Desnou ; *I. ročník Konference Výsledky Výzkumu a Vývoje pro Obnovitelné Zdroje Energie*, 22. - 23. dubna 2010, Kouty nad Desnou. Praha, 2010. ISBN 978-80-85990-12-6.
- [2] KOLONIČNÝ, Jan. *Studie odpadového hospodářství Moravskoslezského kraje: k projektu Nakládání s odpady v Moravskoslezském a Žilinském kraji*. 1. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3540-2.
- [3] HOLÍNEK, Tomáš. *Porovnání regulatorního prostředí energetického využití odpadu v ČR a v jiných zemích EU*. Praha, 2015. Vedoucí práce Prof. Ing. Oldřich Starý, CSc.
- [4] : *Plasma assisted gasification - process review* [online]. b.r., , 62 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: http://energy.cleartheair.org.hk/wp-content/uploads/2013/09/Westinghouse_Plasma_Gasification.pdf
- [5] YOUNG, Gary C. *Municipal solid waste to energy conversion processes: economic, technical, and renewable comparisons*. Hoboken, NJ: Wiley, 2010. ISBN 978-0-470-53967-5.
- [6] BRANIŠ M., Pivnička *Výkladový slovník vybraných termínů z oblasti ochrany životního prostředí a ekologie*. Praha: Karolinum, 2004.
- [7] SAKO, . *Technologický proces* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015]. Dostupné z: <http://www.sako.cz/stranka/cz/62/technologicky-proces/>
- [8] MALAŤÁK, Jan a Petr JEVIČ. *Přehled pyrolyzních technologií pro zpracování biomasy* [online]. Praha, 2013 [cit. 2015]. Dostupné z: <http://odpady.tf.czu.cz/p/pz.pdf>
- [9] *Referenční dokument o nejlepších dostupných technologiích spalování odpadů - BREF*. Sevilla: Institut perspektivních technologických studií, 2005.
- [10] FITE, . *Studie zařízení na pyrolytický rozklad odpadů*. Ostrava, 2010.
]
- [11] ROBERTS, Kelli, Brent GLOY a Stephen JOSEPH. *Life Cycle Assessment IX Conference*. Boston, 2009. Dostupné také z: <http://www.lcacenter.org/LCA9/presentations/141.pdf>
]
- [12] MORRIN, Shane, Paola LETTIERI a Chris CHAPMAN. Two stage fluid bed-plasma gasification process for solid waste valorisation. *Waste management*. Londýn, 2012.
]
- [13] CHANG, Ni-Bin a Ana. PIRES *Sustainable solid waste management: a systems engineering approach*. Hoboken, New Jersey: John Wiley, 2015. ISBN 978-111-8456-910.
]
- [14] Typical Plasma Facility: Example of IPGCC Plant Inputs and Outputs. In: *ALTERNRG* [online]. 2016 [cit. 2016-12-17]. Dostupné z: http://www.alternrg.com/waste_to_energy/typical_plasma_facility/
- [15] *Independent waste technology report: Plasma assisted gasification - process review* [online]. Juniper, 2008 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://energy.cleartheair.org.hk/wp->

content/uploads/2013/09/Westinghouse_Plasma_Gasification.pdf

- [16 HLA VATÝ, Ivo. Laserové a plazmové řezání. In: *VŠB - TU Ostrava* [online]. Ostrava, 2010 [cit. 2016-11-13]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/16-17-83-84.pdf>
- [17 GOMEZ, E., D. Amutha RANI, C.R. CHEESEMAN, D. DEEGAN, M. WISE a A.R. BOCCACCINI Thermal plasma technology for the treatment of wastes: A critical review. *Journal of Hazardous Materials*. 2009, **161**(2-3), 614-626. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2008.04.017. ISSN 03043894. Dostupné také z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0304389408005426>
- [18 FABRY, Frédéric, Christophe REHMET, Vandad ROHANI a Laurent FULCHERI. Waste Gasification by Thermal Plasma: A Review. *Waste and Biomass Valorization*. 2013, **4**(3), 421-439. DOI: 10.1007/s12649-013-9201-7. ISSN 1877-2641. Dostupné také z: <http://link.springer.com/10.1007/s12649-013-9201-7>
- [19 MAREŠ, prof. Dr. Ing. Jan. *Termochemická konverze biomasy: INOVACE STUDIJNÍCH PROGRAMŮ AF A ZF MENDELU SMĚŘUJÍCÍ K VYTVOŘENÍ MEZIOBOROVÉ INTEGRACE*. Brno, 2015. Mendelova univerzita v Brně.
- [20 HRABOVSKY, Milan. Thermal Plasma Gasification of Biomass. *Progress in Biomass and Bioenergy Production*. InTech, 2011. DOI: 10.5772/18234. ISBN 978-953-307-491-7. Dostupné také z: <http://www.intechopen.com/books/progress-in-biomass-and-bioenergy-production/thermal-plasma-gasification-of-biomass>
- [21 WEISS, Viktorie a Jaroslava SVOBODOVÁ. Biopaliva – jejich výhody a nevýhody: Věda pro život, život pro vědu. In: *Centrum pro studium vysokého školství* [online]. 2014 [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://www.csvs.cz/projekty/2014_veda_pro_zivot/KA3_prilohy/prezentace-k-prednaskam/10_Viktorie%20Weiss,%20Jaroslava%20Svoboda_Biopaliva.PDF
- [22 *Plasma Gasification Technology: Summary of Qualifications Westinghouse* [online]. 2015 [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: http://www.alternrg.com/wp-content/uploads/2015/04/WPC_SoQ_April-2015_NDA-NOT-REQUIRED_FN.pdf
- [23 BYUN, Youngchul, Moohyun CHO, Soon-Mo HWANG a Jaewoo CHUNG. Thermal Plasma Gasification of Municipal Solid Waste (MSW). *Gasification for Practical Applications*. InTech, 2012. DOI: 10.5772/48537. ISBN 978-953-51-0818-4. Dostupné také z: <http://www.intechopen.com/books/gasification-for-practical-applications/thermal-plasma-gasification-of-municipal-solid-waste-msw>
- [24 Nástroj pro konverzi objemových jednotek: Převod ppm na mg/m³. *Lenntech.com* [online]. b.r. [cit. 2016-11-19]. Dostupné z: <http://www.lenntech.com/calculators/ppm/converter-parts-per-million.htm>
- [25 Vyhláška č. 415/2012 Sb.: Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415>. b.r., ročník 2012, číslo 415.
- [26 *Nadřazenost a přednost práva EU*. Brno, 2014. Diplomová. Právnická fakulta Masarykovy univerzity. Vedoucí práce Vladimír Týč.
- [27 PUTNA, Ondřej, Martin PAVLAS (ed.). *UPLATNĚNÍ ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ MALÝCH ZPRACOVATELSKÝCH KAPACIT V PODMÍNKÁCH ČR*. Brno: VUT,

-] 2013.
- [28 MOLEK, Tomáš. Česku hrozí nedostatek kapacit pro energetické využití odpadu. In: *Oenergetice.cz* [online]. b.r. [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/energetika-v-cr/cesku-hrozi-nedostatek-kapacit-pro-energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [29 POPLATKY ZA SVOZ KOMUNÁLNÍHO ODPADU 2016. In: *Skrblik.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-11-23]. Dostupné z: <http://www.skrblik.cz/rodina/bydleni/poplatky-za-svoz-komunalniho-odpadu/>
- [30 HVELKA, Petr. Co přináší novela vyhlášky č. 294/2005 Sb. (č. 387/2016 Sb.). *České asociace odpadového hospodářství* [online]. 2016 [cit. 2016-12-18]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/co-prinasi-novela-vyhlasky-c-sb-c-sb.html>
- [31 KULHÁNEK, Petr. Plazmové technologie. *Aldebaran.cz* [online]. Praha, b.r. [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <http://www.aldebaran.cz/zvuky/blyskani/docs/05.html>
- [32 History of Gasification: Beginnings and Applications for Light and Heat. In: *US Department of Energy: National energy technology laboratory* [online]. 2011 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <https://www.netl.doe.gov/research/coal/energy-systems/gasification/gasifipedia/history-applications>
- [33 SIMOPT, . SVÍTIPLYN. In: *Cez.cz* [online]. 1999 [cit. 2016-11-25]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/svitiplyn.html>
- [34 ANYAEGBUNAM, F. N. C. Thermal Plasma Solution for Environmental Waste Management and Power Generation. *IOSR Journal of Applied Physics*. 2014, 6(5), 08-16. DOI: 10.9790/4861-06530816. ISSN 22784861. Dostupné také z: <http://www.iosrjournals.org/iosr-jap/papers/Vol6-issue5/Version-3/B06530816.pdf>
- [35 *Analýza a vyhodnocení možnosti aplikace nových technologií k energetickému využití odpadů* [online]. In: ERNST & YOUNG, S.R.O., . 2016 [cit. 2016-11-17].
- [36 WILLIS, Ken P., Shinichi OSADA a Kevin L. WILLERTON Plasma Gasification: Lessons Learned at Eco-Valley WTE Facility. In: *18th Annual North American Waste-to-Energy Conference*. ASME, 2010, s. 133-140. DOI: 10.1115/NAWTEC18-3515. ISBN 978-0-7918-4393-2. Dostupné také z: <http://proceedings.asmedigitalcollection.asme.org/proceeding.aspx?articleid=1607038>
- [37 Hazardous waste management. In: *Alternrg.com* [online]. 2012 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.alternrg.com/wp-content/uploads/2012/12/WPC-Hazardous-Waste-Brochure-Eng-Email-Feb-20121.pdf>
- [38 Summary of Qualifications: AlterNRG Plasma Gasification Solution. In: *Alternrg.com* [online]. 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: http://www.alternrg.com/wp-content/uploads/2014/11/SoQ_June_2016.pdf
- [39 CHO MORCENX POWER PLANT: Showcase of the technological know-how of CHO Power. In: *CHO power electricity from waste and biomass* [online]. 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.cho-power.com/en/our-references.php#morcenx>
- [40 CVN-78 USS Gerald R. Ford Aircraft Carrier: Compact Waste Destruction. In: *PyroGenesis*

-] [online]. 2012 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.pyrogenesis.com/projects/cvn-78-uss-gerald-r-ford-aircraft-carrier/>
- [41 US Air Force: Base Waste-to-Energy Solution - Transportable Plasma Waste-to-Energy System.
] In: *PyroGenesis* [online]. 2012 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.pyrogenesis.com/projects/us-air-force/>
- [42 HEIN, Treena. Waste Not, Want Not at Plasco. In: *Canadian Biomass* [online]. Kanada, 2013 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.canadianbiomassmagazine.ca/biofuel/waste-not-want-not-at-plasco-4147>
- [43 Plasco obtains creditor protection, 80 jobs terminated. In: *CBCNEWS* [online]. 2015 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <http://www.cbc.ca/news/canada/ottawa/plasco-obtains-creditor-protection-80-jobs-terminated-1.2951751>
- [44 TIGHE, Chris. Teesside investor drops £300m renewables project. In: *FINANCIAL TIMES* [online]. 2016 [cit. 2016-12-03]. Dostupné z: <https://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:2tXEXzKcQuMJ:https://www.ft.com/content/226c0e34-fb47-11e5-8f41-df5bda8beb40+&cd=1&hl=cs&ct=clnk&gl=cz>
- [45 FIRST PROJECT PROGRESS REPORT: Commercial BioSNG Demonstration Plant. In: *Gogreengas* [online]. 2016 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://gogreengas.com/wp-content/uploads/2015/11/BioSNG-Demonstration-Plant-June-2016-Project-Progress-Report.pdf>
- [46 HRABOVSKÝ, M a V KOPECKÝ. Rozklad látek a zplynování biomasy v plazmatu generovaném vodou stabilizovaným plazmatronem. In: *Zborník referátov X: Banskštiavnické dni. Banská Štiavnica : Slovenská nukleárna spoločnosť*. Banská Štiavnica, 2008, s. 191-196. ISBN 978-80-89384-00-6.
- [47 PlasmaEnvi® – špičková technologie pro recyklaci použitých průmyslových katalyzátorů: Nové technologie šetří energii a vracejí drahé kovy zpět do výroby. In: *Safina* [online]. 2014 [cit. 2016-12-05]. Dostupné z: <http://www.safina.cz/media/napsali-o-nas/safina-v-mediich-listopad-2014>
- [48 *Damodaran online: Aswath Damodaran* [online]. b.r. [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <http://pages.stern.nyu.edu/~adamodar/>
- [49 HOŘÁKOVÁ, Pavla. *Návrh logistiky návozu odpadu do spalovny v podniku SAKO Brno, a.s.* Zlín, 2011. Bakalářská práce.