

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B0715A270013 – Strojní inženýrství
Studijní specializace: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Budoucí trendy v EfW (Energy from Waste)

Autor: Jaroslav ŠAFRÁNEK
Vedoucí práce: Ing. Pavel ŽITEK

Akademický rok 2022/2023

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Jaroslav ŠAFRÁNEK**
Osobní číslo: **S19B0494P**
Studijní program: **B0715A270013 Strojní inženýrství**
Specializace: **Stavba energetických strojů a zařízení**
Téma práce: **Budoucí trendy v EfW (Energy from Waste)**
Zadávací katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

Zásady pro vypracování

Zanalyzujte trendy dalšího vývoje instalací parních turbín do spaloven odpadů v ČR a ve světě.

1. Nastudujte celosvětovou tendenci vývoje spaloven komunálního odpadu a pokuste se nastínit další možné využití.
2. Popište způsob využití spaloven v rámci energetické koncepce ČR a jejich uplatnění v budoucnu.
3. Připravte základní ekonomické a ekologické rozvahy zpětného získávání tepla z těchto zdrojů a popište hlavní úskalí této technologie.

Rozsah bakalářské práce: **30 – 40 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování bakalářské práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Tepelné turbíny; J. Bečvář a kol.
- Parní turbíny – návrh a výpočet; Doc. Ing. Jan Fiedler, Dr.
- Technický průvodce energetika; Zbyněk Ibler a kol.
- Termická likvidace odpadů; Trnobranský K., Dvořák L.
- Kotle a výměníky tepla; Ochrana L.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Pavel Žitek**
Katedra energetických strojů a zařízení

Konzultant bakalářské práce: **Ing. Zdeněk Kubiš**
Doosan Škoda Power s.r.o.

Datum zadání bakalářské práce: **31. října 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **26. května 2023**

L.S.

Doc. Ing. Vladimír Duchek, Ph.D.
děkan

Doc. Ing. Václav Dostál, Sc.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu Ing. Pavlu Žitkovi a konzultantovi Ing. Zdeňku Kubišovi za jejich ochotu, vstřícnost a věcné připomínky, bez kterých bych se při tvorbě bakalářské práce neobešel.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Šafránek	Jméno Jaroslav	
STUDIJNÍ PROGRAM	B0715A270013 – Strojní inženýrství		
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Žitek	Jméno Pavel	
PRACOVÍŠTĚ	ZČU – FST – KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Budoucí trendy v (EfW) Energy from Waste		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2023
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	58	TEXTOVÁ ČÁST	46	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Bakalářská práce nabízí shrnutí současné situace v oblasti energetického využívání komunálního odpadu v České republice a v ostatních světových regionech. Pojednává o zařízeních určených k energetickému využívání odpadů a jejich podílení se na výrobě elektřiny a tepla v rámci České republiky. Vysvětluje důležité principy a technologická řešení používaná ve spalovnách komunálního odpadu. Dále se tato práce věnuje ekonomickému a ekologickému ohodnocení energetického zpracování komunálního odpadu. Závěrečná kapitola pojednává o ostatních způsobech energetického využívání odpadů.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	Odpadové hospodářství, zpracování odpadu, odstraňování odpadu, spalování odpadu, skládky odpadu, spalovny, zplyňování odpadu, emise škodlivin, znečišťování ovzduší, bioplyn, bioplynové stanice

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Surname Šafránek	Name Jaroslav
STUDY PROGRAMME	B0715A270013 – Mechanical Engineering	
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Žitek	Name Pavel
INSTITUTION	ZČU – FST – KKE	
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	The global development trend of the Energy-from-Waste technology	

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KKE	SUBMITTED IN	2023
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	58	TEXT PART	46	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The bachelor thesis offers a summary of the current situation in the field of energy recovery of municipal waste in the Czech Republic and in other world regions. It discusses the waste-to-energy facilities and their contribution to the production of electricity and heat in the Czechia. It explains the important principles and technological solutions used in municipal waste incineration plants. Furthermore, this thesis deals with the economic and ecological evaluation of the energy treatment of municipal waste. The final chapter deals with other methods of energy recovery from waste.
KEY WORDS	waste management, waste processing, waste disposal, waste incineration, waste disposal sites, incinerators, waste gasification, pyrolysis, alternative power sources, purification of exhaust gases, air pollutant emission, biogas, biogas plants

Obsah

Přehled použitých zkratk a symbolů.....	10
Seznam obrázků	12
Seznam tabulek	12
1 Úvod.....	13
2 Celosvětová situace nakládání s odpadem a výhled do budoucna	14
2.1 Odpadové hospodářství ve světových regionech	14
2.1.1 Rozvojové země	14
2.1.2 Vyspělé země	15
2.1.3 Státy Evropské unie.....	15
2.1.4 Japonsko	16
2.1.5 Shrnutí	17
2.2 Energetické využití odpadů ve světových regionech	17
2.2.1 ZEVO instalovaná ve světě	19
2.3 Vznik nových ZEVO ve světě.....	20
3 Tuzemská situace nakládání s odpadem s ohledem na energetickou koncepci ČR.....	22
3.1 Odpadové hospodářství České republiky	22
3.1.1 Produkce odpadů a nakládání s nimi.....	22
3.1.2 Složení odpadů produkovaných obcemi a občany České republiky	23
3.2 Energetické využití odpadu v České republice	23
3.3 Státní energetická koncepce České republiky	24
3.4 Přehled energetických zdrojů, energetický mix	25
3.5 Současný stav a výhled do budoucna v oblasti EVO v ČR.....	26
3.5.1 ZEVO Malešice.....	26
3.5.2 ZEVO Brno	26
3.5.3 ZEVO Liberec	27
3.5.4 ZEVO Chotíkov	27
3.5.5 Plánovaný vznik nových ZEVO v České republice	27
4 Ohodnocení energetického využívání odpadů	29
4.1 Množství a složení emisních složek vznikajících při spalování odpadů	29
4.2 Skládkování odpadů a jeho ekologický vliv	30
4.3 Ohodnocení energetického využívání odpadů z ekonomického hlediska.....	31
4.4 Ohodnocení skládkování odpadů z ekonomického hlediska.....	32

4.4.1	Budoucnost skládek komunálního odpadu.....	33
5	Spalování odpadů z technologického hlediska.....	34
5.1	Obecná charakteristika ZEVO/spalovny odpadů	34
5.2	Jednotlivé části ZEVO/spalovny odpadů	35
5.2.1	Dodávka odpadu a jeho skladování.....	35
5.2.2	Spalovací systémy	36
5.2.3	Získávání elektřiny a využitelného tepla.....	40
5.2.4	Čištění spalin	46
5.2.5	Komín.....	48
5.3	Problematika využívání odpadů jako paliva	48
5.4	Základní rozdíly mezi ZEVO a konvenční tepelnou elektrárnou	49
6	Ostatní způsoby energetického využívání odpadů	50
6.1	Zplyňování odpadů.....	50
6.2	Aplikace procesu pyrolýzy	51
6.3	Plazmové zplyňování odpadu.....	52
6.4	Nízkoteplotní procesy energetického využívání odpadů	52
7	Závěr.....	54
	Seznam použitých zdrojů	55

Přehled použitých zkratk a symbolů

a ideální	[kJ/kg]	vnitřní práce turbíny bez uvažování tlakových a tepelných ztrát
a spojka	[kJ/kg]	práce na spojce mezi generátorem a turbínou
a včetně ztrát	[kJ/kg]	vnitřní práce s uvažováním vnitřních ztrát v turbíně
a generátor	[kJ/kg]	práce na svorkách generátoru
CZT	[-]	centralizované zásobování teplem
EVO	[-]	energetické využívání odpadů
E_p	[GJ/rok]	roční množství vyrobené tepelné nebo elektrické energie
E_f	[GJ/rok]	roční množství dodané energie z podpůrných paliv
E_w	[GJ/rok]	roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech
E_i	[GJ/rok]	vlastní roční energetická spotřeba
EIA	[-]	proces posuzování vlivů záměrů na životní prostředí
GJ	[-]	gigajoule
GWh	[-]	gigawatthodina
h_0	[kJ/kg]	rozdíl entalpií
IEA	[-]	International Energy Agency
i	[kJ/kg]	entalpie
Δi	[kJ/kg]	rozdíl entalpií
MWh	[-]	megawatthodina
MW	[-]	megawatt
MJ	[-]	megajoule
\dot{m}	[kg/s]	hmotnostní průtok
NO_x	[-]	souhrnné označení pro oxidy dusíku
P beze ztrát	[kW]	vnitřní výkon beze ztrát
P skutečný	[kW]	skutečný vnitřní výkon
P spojka	[kW]	výkon na spojce
P generátor	[kW]	výkon na svorkách generátoru
SEK	[-]	státní energetická koncepce
SST	[-]	Siemens steam turbine
SKO	[-]	směsný komunální odpad
SCR	[-]	selektivní katalytická redukce
T	[K]	termodynamická teplota
USEPA	[-]	United States Environmental Protection Agency

ZEVO	[-]	zařízení určené k energetickému využívání odpadů
Z generátoru	[-]	ztráty v elektrickém generátoru
Z mechanické	[-]	mechanické ztráty turbíny

Seznam obrázků

Obrázek 1 Přehled nakládání s komunálním odpadem ve světových regionech [6].....	18
Obrázek 2 Energetický mix ČR [39].....	26
Obrázek 3 Nákladový a výnosový koláč pro ZEVO s kapacitou pod 50 kt/rok [20]	32
Obrázek 4 Nákladový a výnosový koláč pro ZEVO s kapacitou přes 80 kt/rok [20].....	32
Obrázek 5 Zjednodušené schéma ZEVO Plzeň [24].....	34
Obrázek 6 Různé pohledy do bunkrů chotíkovské a pražské ZEVO [24][26].....	36
Obrázek 7 Pásový rošt [42]	38
Obrázek 8 Ukázka kaskádového vratisuvného roštu [43].....	38
Obrázek 9 Ukázka pohybů hořící vrstvy na vratisuvném roštu [43].....	39
Obrázek 10 Pohled do spalovací komory vybavené válcovým roštem [42]	39
Obrázek 11 Znázornění principu fungování fluidního kotle [44]	40
Obrázek 12 Řez jednotělesovou kondenzační parní turbínou [41]	41
Obrázek 13 Základní schéma zařízení s parní turbínou [41]	42
Obrázek 14 Ideální oběh stroje v T-s a i-s diagramu [41].....	43
Obrázek 15 Reálný oběh stroje v T-s a i-s diagramu [41]	44
Obrázek 16 Pohled do vnitřní elektrogenerátoru vysokého výkonu [45].....	45
Obrázek 17 Elektrostatické odlučovače popílku [46]	47
Obrázek 18 Schéma zplyňovacího reaktoru [40]	50
Obrázek 19 Schéma procesu pyrolýzy plastového odpadu [47]	51
Obrázek 20 Schéma plazmového reaktoru [48]	52
Obrázek 21 Schéma bioplynové stanice [49].....	53

Seznam tabulek

Tabulka 1 Číselné vyjádření kruhových diagramů z obr. 1 [6].....	18
Tabulka 2 Státy s největším energetickým využitím odpadu [6]	19
Tabulka 3 Souhrn produkce a využití odpadu v ČR za rok 2020 [19].....	22
Tabulka 4 Složení odpadu produkovaného obcemi ČR [19]	23
Tabulka 5 Přehled výroby el. energie v ČR [39].....	25
Tabulka 6 Souhrn vybraných uvažovaných projektů [20]	27
Tabulka 7 Produkce znečišťujících látek českými ZEVO [36].....	30

1 Úvod

S neustálým růstem světové lidské populace je spojen také růst produkce odpadu, což člověka stále více nutí k hledání efektivního řešení problematické otázky nakládání s odpady. Energetické využívání odpadů, které v posledních letech po celém světě nabývá na popularitě, může být právě jednou z činností, které přispějí k úspěšnému vyřešení tohoto závažného globálního problému. Tento text se věnuje hlavně zařízením, která jsou vybavena technologiemi pro energetické využívání neupravovaného komunálního odpadu přímým spalováním. Existují a také se používají i odlišné typy energetického zpracování odpadů, nicméně ty zatím nejsou tolik rozšířené. Energetické využívání odpadů může kromě výroby elektřiny, tepla nebo redukce objemu odpadů, pomoci také se snížením emisí skleníkových plynů do atmosféry. Budoucnost tohoto energetického odvětví je ovšem velmi závislá na tom, zda zůstane ekonomicky výhodné, zda bude v daných oblastech například podporováno vládami, nebo na legislativních podmínkách, které mohou ovlivnit životaschopnost těchto projektů.

Práce nastiňuje pravděpodobnou budoucnost této činnosti, formou shrnutí aktuální situace týkající se energetického využívání odpadů a dále například výčtem nově budovaných či plánovaných projektů v ČR i v jiných světových regionech. Dále pojednává o porovnání s běžným skládkováním, jakožto stále světově nejvíce využívaným typem zpracování odpadů, v ekologické i ekonomické rovině. Následující kapitola vysvětluje podstatné mechanické části, technologická řešení a základní principy používané v těchto energetických zařízeních a poslední kapitola uvádí základní fungování dalších využívaných principů energetického využívání odpadů a zmiňuje také jejich výhody a nevýhody.

Tento text byl vytvořen za účelem informování čtenáře o nejpodstatnějších aspektech těchto činností a je určen především k objasnění základních principů. Uvádí důležitá fakta, která věřím přispějí k vytvoření objektivní představy o dané problematice. Motivací k vytvoření tohoto textu jsou často převládající předsudky společnosti vůči tomuto energetickému odvětví. Tento negativní postoj nejspíš pramení především z nedostatečné informovanosti, kterou je zamýšleno touto prací alespoň nepatrně eliminovat.

2 Celosvětová situace nakládání s odpadem a výhled do budoucna

2.1 Odpadové hospodářství ve světových regionech

2.1.1 Rozvojové země

Celosvětová roční produkce komunálního odpadu přesahuje hodnotu 2 miliardy tun, z čehož více než třetina není nijak ošetřena, případně jen velice nevhodnými způsoby. Tento problém největší mírou spadá hlavně na rozvojové státy. Obecně platí, že rozvojové země nejsou schopny udržet fungující odpadové hospodářství, což je dáno velkou rozmanitostí složení odpadů, které vyžaduje odpovídající technologie a manipulační postupy. Ty jsou pro ně ovšem příliš ekonomicky nákladné. Dalším důvodem je velice nízká úroveň recyklace, která souvisí s mnohdy zcela neexistujícím systémem svozu odpadů. V důsledku toho dochází ke zpracovávání pouze malého podílu vyprodukovaného odpadu, přičemž zbytek je přímo ukládán v zemních skládkách. Ve většině chudých rozvojových států ovšem vůbec neexistují odpovídající zařízení pro adekvátní úpravu, nebo bezpečné ukládání produkovaného odpadu. Nezbyvá zde jiné řešení než odpad jednoduše vysypávat přímo do volné přírody, čímž dochází ke kontaminaci podzemních i nadzemních vod, ovzduší i okolní půdy. V důsledku toho zde dochází k výraznému snižování kvality životních podmínek a nárůstu negativních vlivů na zdraví obyvatel i živočichů. [1]

2.1.1.1 Indie

Indie se z ekonomického hlediska řadí mezi země třetího světa, je tedy možné si na tomto příkladu ukázat charakteristiky odpadového hospodářství rozvojové země. V roce 2021 dosáhla v Indii celková produkce komunálního odpadu hodnoty přibližně 70 miliónů tun. Podle některých vývojových modelů produkování odpadu v Indii, může být okolo roku 2040 překročena hodnota 160 miliónů tun. Ve velkých městech pokrývá sběr odpadu až 95 % celkového množství lokálně vyprodukovaného odpadu. Oproti tomu v menších městech jsou tyto hodnoty výrazně nižší a mnohdy nepřesahují hodnotu 50 %. Polovina vyprodukovaného odpadu zde zůstává v ulicích nebo na krajích obydlených oblastí. Komunální odpad, který pochází z Indických domácností, obsahuje převážně zbytky organického původu a recyklovatelný podíl není příliš vysoký, pohybuje se mezi 10 až 30 %. Svozem odpadu, je v Indii zachyceno přibližně 80 % z celkové roční produkce, přičemž 5 % ze zachyceného množství je recyklováno, 18 % kompostováno a 77 % je uloženo v otevřených zemních skládkách. Indická vláda již před několika lety podnikla kroky ke zlepšení ekologické situace v zemi, mezi nimiž bylo i rozhodnutí o implementování ZEVO do Indického odpadového hospodářství. [1]

2.1.1.2 Brazílie

Brazílie ročně vyprodukuje přibližně 80 milionů tun komunálního odpadu. Přes 92 % je zachyceno státními společnostmi, které poskytují zpracovávání odpadu. Složení komunálního odpadu je závislé na oblasti jeho vzniku, nicméně největší podíl je tvořen odpadem organického původu a plasty. Vzhledem k aktivnímu zapojování Brazílie do světové problematiky ochrany životního prostředí bylo brazilskou vládou do státního odpadového hospodářství zahrnuto také energetické využívání komunálních odpadů, jakožto státem podporovaná činnost. Státní legislativa je v tomto ohledu založena na principu „kdo znečišťuje, ten platí více“, vztaženo na

společnosti i na fyzické osoby. Tento způsob vedení politiky také pobízí k dalšímu studování, vývoji a implementování ZEVO a jiných šetrných řešení do odpadového hospodářství. [1]

2.1.2 Vyspělé země

Ve vyspělých zemích je již po dlouhou dobu vytvářen kvalitní systém odpadového hospodářství, který je vybaven potřebnými zařízeními a technologiemi umožňujícími alespoň do jisté míry, odpad dále materiálově i energeticky využívat. Skládkování se ve většině vyspělých zemí stále provádí, ovšem globální snahou je tento způsob nakládáním s odpadem úplně omezit. V rámci jednotlivých zemí lze pozorovat poměrně výrazné rozdíly ve míře, jakou se různé zpracovatelské činnosti podílejí na celkovém zpracování produkovaného odpadu. Předpokladem odpadového hospodářství rozvinutého státu je minimální složka odpadu, který není nijak zachycen sběrnými odpadovými systémy. [1]

2.1.2.1 Nový Zéland

Na Novém Zélandu je neefektivní odpadové hospodářství obzvláště znepokojivým problémem. Z celosvětového hlediska, se Nový Zéland řadí mezi 10 zemí s nejvyšší produkcí komunálního odpadu na jednoho obyvatele. Je to tedy jedna z nejméně plýtvajících zemí v rozvinutém světě. Průměrná roční produkce komunálního odpadu na jednoho obyvatele se zde pohybuje okolo 780 kilogramů (v ČR 540 kg/obyv.). Přes 90 % procent vyprodukovaného odpadu je ukládáno v zemních skládkách. Novozélandská vláda zavedla opatření, která vedou ke snižování samotné produkce odpadu a zvyšování podílu materiálově využitého odpadu. Většina nerecyklovatelného nebo dále nijak nevyužitelného odpadu však bude stále ukládána v zemních skládkách. Ačkoliv se skládkování může z krátkodobého hlediska jevit jako ekonomicky nejvýhodnější proces, z ekologického hlediska je tento způsob likvidace odpadu dlouhodobě neudržitelný. V blízké budoucnosti se na Novém Zélandu nechystá výstavba ZEVO, a to i navzdory výzkumům, které potvrzují, že téměř 80 % odpadu je vhodných k využití v ZEVO. [1] [19]

2.1.2.2 Spojené státy Americké

Ve Spojených státech jsou k dispozici statistiky o produkci odpadu od šedesátých let 20. století. Od začátku záznamů lze pozorovat trend růstu produkce odpadů, který ovšem souvisí také se zvyšováním přesnosti sledování. V roce 2018 dosáhla celková produkce komunálního odpadu v USA hodnoty 263 milionů tun. Oproti předešlému roku 2017, zde byl patrný nárůst o téměř 24 milionů tun. Pro lepší představu o rychlosti růstu lze uvést údaj z roku 1990, kdy bylo v USA vyprodukováno přibližně 187 milionů tun odpadu. Největší podíl na celkové produkci odpadu má papír (23 %), druhou nejvýraznější složkou jsou potraviny (21 %) celkového obsahu. Zajímavé je porovnání obsahu papíru a plastů, přičemž z dlouhodobého hlediska je patrné, že plasty je tvořen zhruba třetinový objem oproti papíru. Z celkového vyprodukovaného množství komunálního odpadu je více než 62 milionů tun recyklováno. Složky recyklované největší mírou jsou papír, kovy, plasty, dřevo a sklo. Zhruba 130 milionů tun odpadu ročně je ukládáno v zemních skládkách, z čehož největší podíl je tvořen potravinami a plasty. [2]

2.1.3 Státy Evropské unie

Ročně se v Evropské unii vyprodukuje 2,5 miliardy tun celkového odpadu. Největší podíl na celkové produkci má stavebnictví, které se podílí více jak třetinou. Druhým největším producentem odpadu v EU je těžební průmysl. Zhruba 10 % celkové produkce je tvořeno komunálním odpadem. Vzhledem k různým zdrojům má vyprodukovaný komunální odpad

velmi různorodé složení. Z tohoto důvodu je obtížně navrhnout jednoduchá a efektivní řešení k jeho snížení. Od října roku 2022 jsou zavedena nová přísnější pravidla, která mají vést ke snížení objemů nebezpečných chemikálií používaných ve výrobních procesech, což se posléze promítne i na obsahu nebezpečných chemických sloučenin ve vznikajících odpadech. Z celoevropského průměru se objem vyprodukovaného odpadu meziročně snižuje. To ovšem neplatí pro všechny státy, a v některých zemích dochází naopak k růstu roční produkce odpadu. Například Česká republika se společně s Maďarskem, Polskem a Rumunskem řadí mezi evropské země s nižší produkcí odpadu v přepočtu na jednoho obyvatele. Naopak nejvyššími producenty EU v přepočtu na obyvatele jsou například Německo, Dánsko, Kypr nebo Malta. Na Kypru a Maltě výrazně přispívají k vysoké produkci odpadů zahraniční turisté. Podle statistik se v Evropské unii recykluje a kompostuje okolo 46 % vyprodukovaného komunálního odpadu. Statistiky jednotlivých států jsou opět výrazně rozdílné. Severské státy primárně upřednostňují recyklaci a spalování s energetickým využitím. Oproti tomu východní a jižní státy EU stále více jak polovinu vyprodukovaného odpadu ukládají v zemních skládkách. Hierarchie nakládání s odpadem zavedená v Evropské unii klade důraz především na prevenci vzniku odpadu a na znovu využívání výrobků. V pomyslné pyramidě přichází na řadu nejdříve recyklování nebo kompostování, následované energetickým využíváním odpadu. Nejméně vhodnou variantou je skládkování, především kvůli záboru půdy a znečišťování životního prostředí. Z ekonomického hlediska je skládkování však stále nejvýhodnější a technologicky nejjednodušší činnost. [3]

2.1.4 Japonsko

Japonsko je ostrovní stát s velice rozvinutým hospodářstvím a již v 60. letech 20. století zde začal výrazný ekonomický růst a průmyslový rozvoj zapříčiněný zejména ekonomickou pomocí od USA. S tímto rozvojem úzce souvisel také nárůst počtu obyvatel, který zapříčinil zvýšení spotřeby zboží a produkce různorodého odpadu. Japonskou mentalitu lze v tomto ohledu charakterizovat japonským slovem „mottainai“, které mimo jiné vyjadřuje snahu o maximálně možné šetrné chování a udržování maximálního možného využití výrobků. Tento všeobecně přijatý princip motivuje japonskou společnost k vývoji technologií umožňujících tvorbu výrobků pro opakované použití, nebo co nejvíce vhodných pro recyklaci. Vzhledem k omezenému prostoru je v Japonsku obtížné hledat vhodná místa k ukládání odpadu. Japonci vyvinuli systém sběru a přepravy odpadu na jehož konci je možné výsledný odpad hygienicky a při minimálním objemu ukládat v zemních skládkách i v takto hustě obydlených oblastech. Využívají při sběru malé popelářské vozy, které svázejí odpad na strategicky rozmístěná místa v osídlených oblastech. Zde je odpad pomocí hydraulických lisů s co největším využitím prostoru ukládán do velkých kontejnerů, které jsou poté odváženy na další stanoviště (například do ZEVO, stanoviště recyklace). Tento systém je levnější z hlediska dopravy i úspory paliva. Malé popelářské vozy mají navrženou konstrukci s cílem maximálního odlehčení, čímž je maximalizovaná kapacita nákladu. Celkové množství ročně vyprodukovaného odpadu má tendenci klesat, nicméně v průběhu uplynulých dvaceti let se nejedná o výrazný rozdíl. Podíl komunálního odpadu na celkové produkci se již po dlouhou dobu udržuje přibližně na 10 %. Ovšem objem odpadu, který je definitivně likvidován jsou Japonci schopni postupně snižovat. V roce 2014 dosahovalo celkové množství vyprodukovaného odpadu na hodnotu 437 miliónů tun, z toho 393 miliónů tun pocházelo z průmyslové sféry. Komunální odpad se na celkovém množství podílel zhruba 44 milióny tun. Více než 31 miliónů tun komunálního odpadu bylo objemově zredukováno, 9 miliónů recyklováno a pouhé 4 milióny tun byly uloženy do zemní

skládky. Naprostá většina (98 %) redukováného komunálního odpadu byla zpracována v ZEVO. [5] [4]

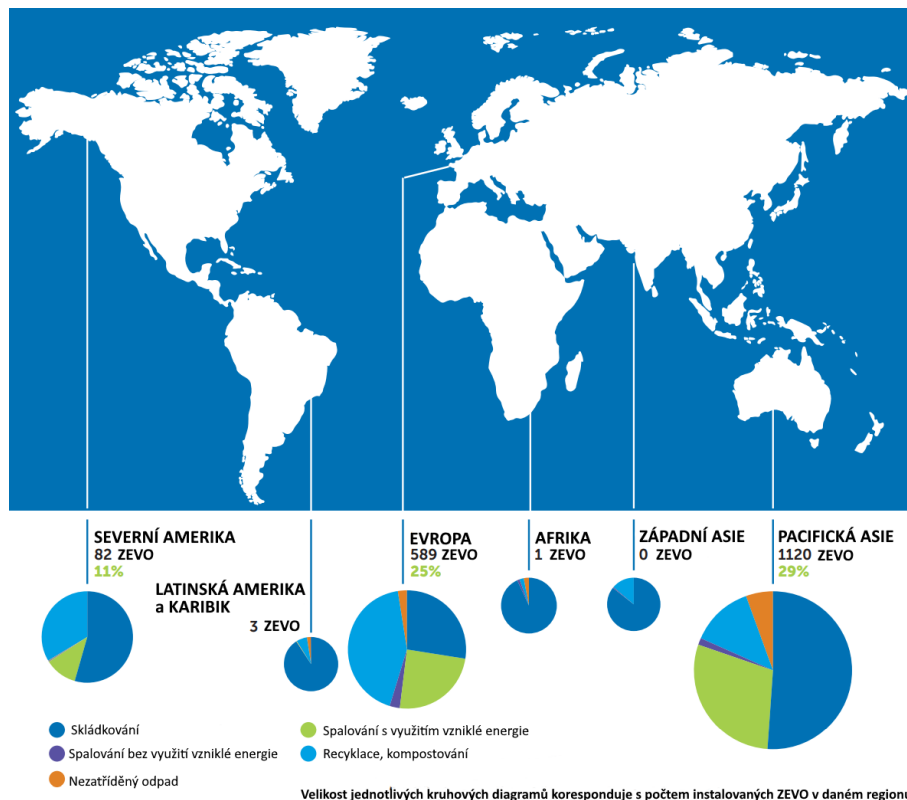
2.1.5 Shrnutí

Ačkoliv je produkce odpadů, jeho složení, sběr, třídění, způsoby likvidace a další parametry, specifické pro každou zemi, lze sledovat určité společné nedostatky. Příkladem může být nízká míra třídění odpadu již u jeho zdroje, nebo neefektivní systém neschopný produkci absorbovat. Tyto vlastnosti jsou společné především pro rozvojové země. Dalším společným nedostatkem je neadekvátní strategie a opatření týkající se nakládání s odpady. [1]

2.2 Energetické využití odpadů ve světových regionech

Z globálního hlediska se ročně ve spalovnách zpracuje přibližně 216 miliónů tun komunálního odpadu, z čehož je 15 % zpracováno v ZEVO. Například v Evropě nebo pacifické Asii je tento podíl vyšší, pohybuje se okolo 25-29 %. Skládkování ovšem stále zastává ve většině světových regionů největší podíl. Extrémním případem je Afrika nebo Latinská Amerika, kde je více než 90 % vyprodukovaného odpadu ukládáno do zemních nebo otevřených skládek. Na celém světě je v provozu více než 1 700 ZEVO, přičemž 80 % těchto zařízení je vybudováno v ekonomicky rozvinutých zemích především v Japonsku, Francii, Německu a Spojených státech. Je patrný srovnatelný objem termicky zlikvidovaného odpadu v Japonsku a USA, a to i navzdory neporovnatelnému počtu ZEVO. Japonská zařízení jsou konstrukčně menší, z čehož vychází i nižší kapacita. Oproti tomu v Latinské Americe nebo Karibiku jsou jediné fungující ZEVO instalovány v teritoriích, která spadají pod ekonomickou kontrolu evropských států (Bermudy, Martinik). Na Africkém kontinentě je pouze jediné ZEVO zařízení, které se nachází v Etiopii.[6]

Z ekonomického hlediska je globální hodnota ročně investovaných peněz do energetického využívání odpadu přibližně 40 miliard USD, přičemž určité studie předpovídají další nárůst investic během příštích let. Nejvíce prostředků (88 %) je proinvestováno do ZEVO zařízení, která odpad přímo spalují. Je to zatím nejosvědčenější technologie, u které lze do jisté míry spolehlivě předpokládat návratnost investic. Další výhodou této technologie je poměrně vysoká tepelná účinnost a ekologická nenáročnost v případě využívání moderních technologií. V rozvojových zemích, které nejsou schopné zajistit optimální řízení těchto zařízení ovšem mohou spalovny zvýšit produkci vysoce toxických sloučenin, které se posléze dostanou do okolního životního prostředí. [6]



Obrázek 1 Přehled nakládání s komunálním odpadem ve světových regionech [6]

Tabulka 1 Číselné vyjádření kruhových diagramů z obr. 1 [6]

[%]	Skládkování	Spalování s využitím energie	Spalování bez využití energie	Recyklace, kompostování	Nezatříděno
Pacifická Asie	51,2	29,2	1,3	12,9	5,3
Evropa	27,5	24,7	2,7	42,9	2,4
Západní Asie	89,5	0,0	0,7	15,5	0,02
Afrika	93,1	0,0	1,6	2,3	3,0
Severní Amerika	54,8	11,2	0,5	33,6	0,0
Latinská Amerika a Karibik	91,2	0,1	0,1	6,4	2,4
Globální průměr	59,8	15,2	1,2	22,2	2,4

Mezi světovou špičku v oblasti energetického využívání odpadu lze považovat podle objemu zpracovaného odpadu Japonsko, USA, Německo, Francii, Spojené království a další. V níže uvedené tabulce je 11 zemí s největším objemem ročně zpracovaného odpadu v ZEVO. [6]

Tabulka 2 Státy s největším energetickým využitím odpadu [6]

Stát	Počet ZEVO	Objem odpadu zpracovaného v ZEVO [mil. tun]
USA	77	30
Japonsko	754	30
Německo	121	26
Francie	126	14
Spojené království	46	10
Švédsko	34	6
Itálie	41	6
Čína	286	5
Jižní Korea	35	5
Rakousko	65	4
Švýcarsko	30	4

2.2.1 ZEVO instalovaná ve světě

ZEVO vybudované ve Švédském Malmö je považováno za jedno z nejvyspělejších a nejúčinnějších zařízení k energetickému využití odpadu na světě. Společnost SYSAV, která toto zařízení provozuje zde nechala instalovat moderní a vyspělé systémy k čištění spalin, čímž je schopna udržet emisní hodnoty odcházejících spalin velmi nízko pod povolenými limity. Samotná spalovna je vybavena dvěma kotli, které vyrábí páru pro výrobu elektřiny i k vytápění přilehlých městských částí Malmö. SYSAV ZEVO je schopna dodávat 1,5 TWh tepelné a 270 GWh elektrické energie a dokáže zpracovat přibližně 630 000 tun odpadu ročně. [7]

Vídeňská spalovna Spittelau je již po dlouhou dobu důležitým článkem pro lokální odpadové hospodářství. Díky využívání vysoce efektivních systémů čištění spalin je ZEVO Spittelau velmi nízko pod rakouskými zákonnými emisními limity. Spalovna na tomto místě existuje již od začátku 70. let. Koncem 80. let ji poničil požár a na tomto místě vznikla nová spalovna s unikátním barevným vzhledem. Ročně je zde zpracováno 250 000 tun odpadu za vzniku 60 GWh elektrické a 500 GWh tepelné energie. Ze spalovny by mohlo být ročně zásobováno teplem a elektřinou více než 50 000 domácností včetně velkých městských budov, nemocnic a jiných zařízení. [8]

Německo je evropská jednička v oblasti tepelného zpracování odpadů. Největší ZEVO zařízení je v majetku společnosti AVG v Kolíně nad Rýnem. Je určena především k využívání zbytkových odpadů z domácností i z průmyslové sféry. Roční výroba elektrické energie se pohybuje okolo hodnoty 360 000 MWh. Pokrývá energetickou potřebu více jak jedné čtvrtiny domácností Kolína nad Rýnem. Odhadovaná úspora ročně emitovaných skleníkových

plynů dosahuje 150 000 tun oxidu uhličitého, díky snížení spotřeby topných olejů a jiných fosilních paliv. Ročně je zde zpracováno 740 000 tun odpadů. Díky velmi přísné emisní kontrole a moderním technologiím jsou emisní hodnoty drženy hluboko pod povolenými limity. [9]

ZEVO Copenhill v Kodani je podobně jako ZEVO Spittelau velice zajímavá už z architektonického hlediska. Tato více účelová budova, umístěná v hustě osídlené oblasti hlavního města je využívána i jako centrum pro provozování sportovních aktivit jako je lyžování nebo lezení. Copenhill ročně zpracuje okolo 600 000 tun odpadu. Vzhledem k vyšší možné kapacitě spalování Copenhillu dováží Dánsko v zimních měsících odpad ze sousedních zemí. ZEVO Copenhill je považováno za jedno z nejlepších zařízení na světě z hlediska účinnosti, čistoty a bezpečnosti. Zařízení je dimenzováno tak aby bylo schopno pokrývat rostoucí lokální produkci odpadu. Je vybaveno dvěma kotli, přičemž každý z nich má spotřebu 25-35 tun odpadu za hodinu. Okamžitá spotřeba je závislá na výhřevnosti aktuálně spalovaného odpadu. [10]

Ve Švýcarské Basileji se nachází největší švýcarská ZEVO. Odpad, který se zde spaluje je svážen z poměrně velké spádové oblasti ze sousedních kantonů. Tato spalovna pokrývá polovinu energetické potřeby Basileji a zbytek je získáván ze zařízení spalujících dřevo a kaly získávané ve zdejších čistírnách odpadních vod. Basilejské ZEVO je schopné využít až 80 % energetického potenciálu paliva, čímž se řadí mezi nejefektivnější ZEVO v celém Švýcarsku. Za minulý rok bylo v Basilejském ZEVO zpracováno více než 230 000 tun odpadů. Z hlediska ekologických úspor se díky nespáleným fosilním palivům prakticky ušetřilo více než 123 000 tun oxidu uhličitého. Díky velmi dobré energetické účinnosti je toto zařízení schopno ročně dodat zhruba 544 GWh kombinované elektrické a tepelné energie. [12]

2.3 Vznik nových ZEVO ve světě

Na světě je nyní více než 200 ZEVO ve výstavbě, přičemž většina by měla být dokončena do roku 2023. V Číně, Tichomoří, Thajsku, Filipínách, Indonésii a Myanmaru se zakládají další spalovny odpadu s potřebnými technologiemi pro využití vznikající tepelné energie. Hlavními faktory, které by mohly motivovat k dalšímu budování ZEVO i v rozvojových zemích jsou například nízká náročnost na půdní plochu, alternativní zdroj elektrické a tepelné energie, snížení emisí skleníkových plynů, peněžní úspory a zlepšení čistoty životního prostředí, což má přímý vliv na zdraví obyvatel. Přímým spalováním odpadu dochází k redukci jeho objemu o 75 až 90 %, což snižuje prostorové nároky zemních skládek. Energetickým využíváním odpadů lze také snížit celkové emise skleníkových plynů díky ušetřeným fosilním palivům. Pro mnoho zemí by spalování odpadu mohlo výrazně zlepšit hygienickou situaci, protože by došlo ke snížení objemu volně odkládaného odpadu, ovšem pouze za předpokladu, že bude zajištěno optimální řízení těchto ZEVO. [6]

Podle zveřejněných projektů některých společností, které se zabývají návrhem a konstrukcí ZEVO lze zjistit plánovanou výstavbu nových ZEVO. Například společnost Waste to Energy International má již ve výstavbě pět ZEVO ve Spojených státech. Vzniká zde spalovna komunálního odpadu s roční kapacitou okolo 200 000 tun a čtyři zařízení určená k výrobě syntetických hořlavých plynů z automobilových pneumatik. Zhotovené plány jsou již i na velkou spalovnu komunálních odpadů v Kazachstánu, která bude mít roční kapacitu až 1,5 miliónu tun. Další ZEVO jsou plánovány na severu Afrického kontinentu v Alžírsku a Egyptě. [11]

Ve švýcarské Ženevě je na rok 2025 plánovaná výstavba nové ZEVO na místě původní spalovny. Nové zařízení bude využívat mnohem modernější technologie a při nižších emisích bude schopno ročně zpracovávat až 160 000 tun komunálního odpadu. Město nechce ovšem v průběhu výstavby přijít o tuto možnost likvidace odpadů, a proto bude výstavba nové spalovny probíhat při provozu spalovny staré. [13]

Na okraji Čínského města Shenzen probíhá výstavba ZEVO, které po dokončení a plném uvedení do provozu bude jednou z největších na světě. ZEVO pojmenované Energy ring je zamýšleno jako protiváha vysoké produkci odpadu velké čínské aglomerace. Roční produkce odpadu v Shenzhenu činí zhruba 10,5 miliónu tun odpadu, přičemž vzhledem k aktuálnímu vývoji lze předpokládat 7 % meziroční růst. Budova je navržena moderně, hlavní budova, která zastřešuje kompletně celé technické zázemí spalovny je půdorysu velkého kruhu s třísetmetrovým průměrem. Stěny vnější budovy jsou zhotoveny z ocelové konstrukce kryté opracovaným bambusovým dřevem. Hlavní vjezd do celého komplexu je umístěn mezi dvěma kouřovody. Střecha je v celé své ploše pokryta solárními panely, které jsou schopné za přímého slunečního svitu generovat elektrickou energii, která pokryje vlastní spotřebu celé ZEVO. Spalovna bude schopna zpracovat až 5 tisíc tun odpadu denně, při roční energetické dodávce 550 GWh kombinované tepelné a elektrické energie. [14]

V Dubaji ve Spojených Arabských emirátech je ve výstavbě spalovna odpadů, která se bude svou kapacitou taktéž řadit mezi největší na světě. Ročně bude toto ZEVO schopné zpracovat téměř 2 milióny tun odpadů a vyrobí okolo 215 MWh elektrické energie. Pokryje tedy roční spotřebu více než 135 000 domácností. Její výstavba byla zahájena v roce 2020 a hotová by měla být v roce 2024. ZEVO je součástí energetického projektu UAE. Cílem je do roku 2030 naprosto eliminovat zemní skládkování a zavést masivní energetické využití odpadů, přičemž plánem je energeticky využívat alespoň 45 % celkové odpadové produkce UAE. Čištění spalin je zajištěno kombinací technologických řešení osvědčených již v Japonsku a Švýcarsku. Parní turbína, která je prakticky největší svého druhu, instalovaná v Dubajském ZEVO, je vyrobena v Plzeňském DOOSAN Škoda Power s.r.o. Plánovaná denní dodávka odpadu činí přes 1000 popelářských vozů, což představuje denní kapacitu přes 5500 tun zpracovaného odpadu. [15] [31]

3 Tuzemská situace nakládání s odpadem s ohledem na energetickou koncepci ČR

3.1 Odpadové hospodářství České republiky

Odpadové hospodářství je souhrnný název pro činnosti, které člověk provádí při nakládání s odpadem. V tomto komplexním systému platí hierarchie, která tyto činnosti seřazuje podle jejich důležitosti ve vztahu k moderní ekologické společnosti. Na první příčce je z hlediska důležitosti již samotné předcházení vzniku odpadu. V případě, že však odpadu nelze nijak předejít, přichází jako první v úvahu jeho recyklace a příprava k jeho dalšímu použití. Následující o něco méně preferovanou možností je energetické využití odpadu, jehož nevýhodou je nenávratné zničení spalovaného materiálu, který by jinak ještě mohl mít potenciál k opětovnému využití. Pokud daný odpad nelze ošetřit těmito způsoby, teprve tehdy je možné uvažovat o jeho odstranění. Od roku 2021 přišel v České republice v platnost nový zákon o odpadech, který pozměnil původně platný zákon a je výrazněji zaměřen na princip takzvaného oběhového hospodářství a ochranu životního prostředí [17]

Oběhové hospodářství neboli cirkulární ekonomika je moderní přístup k nakládání s materiály a surovinami. Střídá zastaralý takzvaný lineární způsob, který je založen na těžbě surovin, jejich zpracování, následném využití a konečném nenávratném vyřazení (vyhození). V cirkulární ekonomice je naopak kladen důraz na snížení vzniku odpadu a na maximalizaci využití surovin a z nich vyrobených výrobků. Tím jsou ušetřeny primární zdroje, jejichž získávání vyvíjí na planetu největší zátěž. [18]

3.1.1 Produkce odpadů a nakládání s nimi

Za rok 2020 bylo v České republice celkem vyprodukováno zhruba 38,5 miliónů tun odpadu. Méně než 2 milióny tun tvořily nebezpečné odpady. Odpad je považován za nebezpečný, splňuje-li alespoň jedno z kritérií uvedených v zákoně o odpadech. Příklady některých kritérií jsou toxicita, žíravost, výbušnost nebo radioaktivita. Na jednoho obyvatele ČR tedy připadá 3,6 tuny vygenerovaného odpadu ročně. Více než 90 % vygenerovaného odpadu bylo dále využito, z toho 86 % materiálově a 4 % za účelem získání energie. Zbýlých 10 % bylo uloženo na skládkách. V případě komunálního odpadu se celkově vyprodukované množství vyšplhalo k téměř 6 miliónům tun. Komunální odpady se na celkové roční odpadové produkci podílejí téměř 15 %. V přepočtu na jednoho obyvatele ČR tedy připadá přibližně 536 kg. Na skládkách bylo uloženo zhruba 48 %, dalších přibližně 39 % produkce komunálního odpadu bylo využito materiálově a zbylých 12 % energeticky. [19]

Tabulka 3 Souhrn produkce a využití odpadu v ČR za rok 2020 [19]

Rok 2020	Produkce	Využito	Materiálově využito	Energeticky využito	Odstraněno	Skládkování
Všechny odpady	38,5 mil. t	90 %	86 %	4 %	10 %	10 %
Komunální odpady	5,7 mil. t	51 %	39 %	12 %	48 %	48 %

3.1.2 Složení odpadů produkovaných obcemi a občany České republiky

Zdaleka největší podíl na odpadech, které jsou produkovány v obcích v České republice, má směsný odpad. Druhou nejvýznamnější složkou je biologický odpad, následovaný objemným odpadem. Objemný odpad je odpad z domácností, který pro své velké rozměry nelze umístit do běžných popelnic nebo kontejnerů. Příkladem může být třeba nábytek, koberce nebo podlahové krytiny. Další v pořadí jsou papír a kovy, obě tyto složky mají téměř stejně velký podíl. Tento trend se v posledních pěti letech téměř nemění. [19]

Tabulka 4 Složení odpadu produkovaného obcemi ČR [19]

Rok 2020	Papír	Plast	Sklo	Kovy	Bio. odpad	Dřevo	Textil	Objemný	Směs.
(kg/obyv.)	28,5	16,7	15,3	28,7	66,2	5,6	2,5	48,8	198

3.2 Energetické využití odpadu v České republice

Energetické využívání odpadů (EVO) je v legislativě České republiky definováno jako určitý způsob tepelného zpracování odpadu, při němž dochází k jeho přímému spalování a uvolňující se tepelná energie je znovu využívána. Vzhledem k různým používaným technologiím při spalování odpadu, je možné pozorovat určité rozdíly v účinnosti, s jakou je uvolňovaná tepelná energie využívána. V EU je zavedena konkrétní limitní hodnota, která definuje hraniční účinnost, podle které je možné rozlišovat činnosti energetického využívání odpadu a pouhé odstraňování odpadu. Pro libovolné zařízení je možné vypočítat jeho takzvanou energetickou účinnost a na základě porovnání s definovanou hraniční hodnotou lze toto zařízení zařadit do příslušné kategorie.[20]

$$\text{Energetická účinnost} = (E_p - (E_f + E_i)) / (0,97 \times (E_w + E_f)) \quad (1)$$

E_p – roční množství vyrobené tepelné nebo elektrické energie v GJ/rok

E_f – množství energie dodané do systému z podpurných paliv za dobu jeden rok v GJ/rok

E_w – roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech v GJ/rok

E_i – roční vlastní spotřeba energie v GJ/rok

Pokud zařízení nesplní hraniční hodnotu energetické účinnosti 0,65, je kategorizováno jako zařízení pro odstraňování odpadů. Odstraňování odpadů je stejně jako skládkování nejméně preferovanou formou nakládání s odpady, protože tyto činnosti nepřispívají ke splnění cílů v oblasti využití odpadů. [20]

Podle zákona o odpadech, platném v ČR, má recyklace (materiálové využití) odpadu, přednost před energetickým využitím (EVO), které má opět přednost před odstraňováním odpadu. Dalším pojmem je „využití odpadu“, ten lze definovat jako činnost, při které je odpad využíván k užitečným účelům jakožto náhrada materiálu, který je jinak k tomuto účelu používán. To je platné i mimo činnosti spojené s energetickým využíváním odpadu. [20]

V ČR jsou do statistiky energetického využívání odpadů a alternativních paliv zahrnuty zařízení tří kategorií: spalovny tuhého komunálního odpadu, spalovny průmyslového a nemocničního odpadu, využívání odpadů v cementárnách a vápenkách. [20]

3.3 Státní energetická koncepce České republiky

Státní energetická koncepce (SEK) je soubor znalostí a praktikovaných činností jejichž cílem je dostatečně pokrýt poptávku obyvatel a státního hospodářství po energii, a to za předpokladu udržení přijatelných cen a minimálního možného ekologického dopadu. Dalším důležitým aspektem je zajištění stabilní dodávky energie i za mimořádných situací v míře dostatečné k uspokojení základních potřeb obyvatel i nejdůležitějších státních orgánů. Základní ideologie energetického průmyslu ČR, lze shrnout do několika hlavních cílů: bezpečnost – konkurenceschopnost – udržitelnost. [38]

V květnu roku 2015 byla českou vládou schválena aktualizace SEK platná pro následujících 25 let. K dosažení stanovené dlouhodobé vize jsou pro určitá časová období definovány strategické cíle a priority. Délka tohoto období je určena s ohledem na návratnost investovaných prostředků do všech typů zdrojů energie a také na schopnost rozumné předvídatelnosti základních charakteristik budoucího vývoje. Energetický trh je řízen především tržními principy, ovšem dosavadní vývoj vedl investory k investování jen do projektů, u nichž měli garantované výše tržeb což by vedlo ke snižování diverzity státního zdrojového mixu s čímž jsou spojená ostatní systémová rizika. Stát je tedy nucen v zájmu optimalizace rozložení zdrojů provádět v tomto smyslu určitá intervencionistická opatření. [38]

Česká republika je schopna z vlastních zdrojů pokrýt až 50 % spotřeby primárních energetických zdrojů. V rámci EU se ČR řadí mezi energeticky nejsoběstačnější státy. O tom vypovídá i ukazatel dovozní energetické závislosti, jehož hodnota (50 %) se pohybuje pod průměrem EU (60 %) a je tedy schopna uspokojit vlastní potřeby teplené a elektrické energie. V České republice se velké a střední elektrárny poměrně výrazně podílejí na celkové výrobě tepla (kogenerace), která dosahuje přibližně 70 %. Podíl kogenerační výroby energie na celkové výrobě však z celostátního hlediska dosahuje jen zhruba poloviny. Prioritou nadcházejících let bude především zvyšování podílu kogenerace na celkové výrobě, a tedy i zvyšování účinnosti. Rozvodná elektrická síť ČR je velmi rozvinutá a je schopna spolehlivě zajišťovat dodávku elektřiny. Velká část energetických zdrojů i rozvodné sítě je už poměrně stará a vyžaduje modernizaci. Ekonomicky náročná však bude nutná adaptace rozvodové sítě na nízké napětí, které umožní rozvoj a uplatnění malých elektrických zdrojů. [38]

V současné době je v ČR stále více než 60 % elektrické a tepelné energie vyrobeno v tepelných uhelných elektrárnách. Poměrně výrazná část takto vyrobené tepelné energie je využita pro dálkové vytápění. Obecně známou skutečností je, že uhelné zdroje z ekologického hlediska nemají budoucnost, ale v horizontu státní energetické koncepce není možné toto fosilní palivo nahradit. Na druhém místě s pokrytím 33 % vyrobené elektrické energie je jaderné palivo, které hraje důležitou úlohu pro pokrytí základního zatížení. Dalším významným zdrojem především tepelné energie je zemní plyn, ten k vytápění využívá více než 27 % domácností. Vodní zdroje jsou v ČR již dlouhou dobu využívány především pro svou pružnost k pokrývání výkyvů ve spotřebě elektřiny a podílejí se přibližně 3 % na výrobě elektrické energie. Vzhledem ke geografickým a klimatickým podmínkám jsou možnosti využívání větrné a solární energie v ČR omezené. [38]

Potenciál energetického využívání odpadu (EVO) není v ČR zcela využitý a tato činnost by mohla nezanedbatelnou mírou nahradit zužující se uhelné zásoby. Výhody EVO spočívají také v účinném způsobu nakládání s nevyužitou složkou odpadu. Aktuálně využívané technologie poskytují poměrně vysokou účinnost využití tepelné energie a spolehlivě udržují kontrolovanou emisní koncentraci škodlivin ve spalínách. Obnovitelné zdroje budou podle řady členských

států EU v příštích desetiletých zastávat pozici doplňkového zdroje, jehož úlohou nebude pokrývání hlavní energetické spotřeby. Budou vhodné především pro malé až střední odběratele a budou stále více přispívat ke snižování závislosti na dovozu ostatních paliv. [38]

3.4 Přehled energetických zdrojů, energetický mix

Za rok 2021 bylo v České republice vyrobeno 84,9 TWh elektrické energie. Oproti předešlému roku 2020 byl tedy zaznamenán více jak 4% nárůst výroby, a to i přes pokles instalovaného výkonu parních elektráren (odstavení elektrárny Mělník III) se na tomto nárůstu největší mírou podílely právě elektrárny parní. Nárůst zaznamenaly také jaderné, vodní, plynové a spalovací elektrárny, a naopak největší pokles zaznamenaly paroplynové a větrné elektrárny. Pokles výroby se projevil také u přečerpávacích vodních elektráren, a naopak velmi výrazně stoupla výroba elektřiny z černého uhlí, méně pak z uhlí hnědého a zemního plynu. V případě obnovitelných zdrojů byl zaznamenán meziroční nárůst výroby zhruba o 2,5 %. Pokles je ovšem patrný u větrných a fotovoltaických elektráren, což platí také v případě výroby elektřiny z bioplynu a skládkových plynů. Oproti tomu u velkých vodní elektráren (s instalovaným výkonem nad 10 MW) byl zaznamenán takřka čtvrtinový meziroční přírůstek, což lze v menším měřítku pozorovat také u malých vodních elektráren a u energetických zařízení zpracovávajících biomasu. [39]

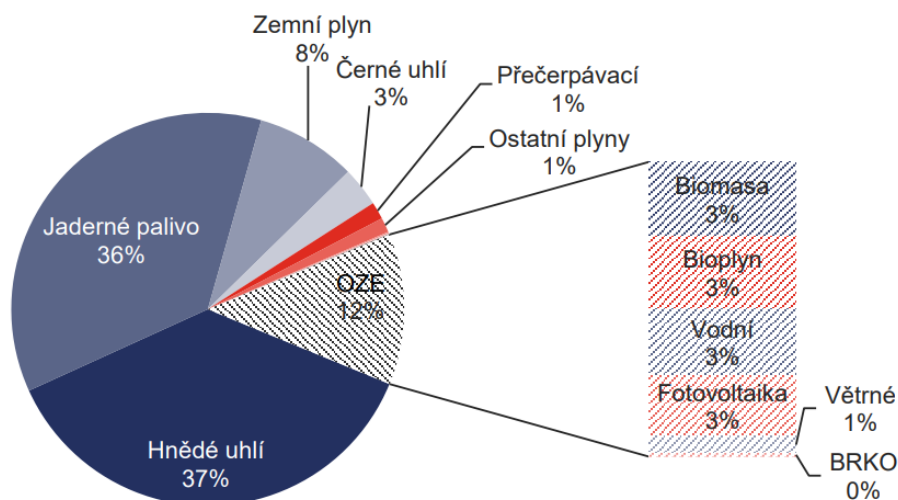
Tabulka 5 Přehled výroby el. energie v ČR [39]

Výroba elektřiny [GWh]	brutto	netto	Vlastní spotřeba elektrárny
Celková	84 907,3	79 302,3	6,6 %
Jaderné	30 731,2	29 044,7	5,5 %
Parní	38 629,8	35 092,4	9,2 %
Paroplynové	5 239,8	5 146,2	1,8 %
Plynové, spalovací	3 931,7	3 705,0	5,8 %
Vodní	2 408,5	2 389,5	0,8 %
Přečerpávací	1 211,4	1 195,6	1,30 %
Větrné	601,5	594,0	1,3 %
Fotovoltaické	2 153,3	2 134,9	0,9 %

K vysvětlení rozdílu mezi hodnotami ve sloupečcích brutto a netto, je potřeba uvést, že samotná elektrárna má určitou spotřebu elektrické energie. Tento nezanedbatelný elektrický příkon je potřeba odebírat přímo z generátoru samotné elektrárny a dodávat jej do všech elektrospotřebičů potřebných k udržení chodu elektrárny (například: napájecí čerpadlo, ale i samotný generátor). Hodnota brutto tedy udává elektrickou energii vyrobenou generátorem a netto pak skutečnou hodnotu dodané elektrické energie do sítě.

Tabulka č. 6 ukazuje jednak celkové množství vyrobené elektrické energie, ale také podíly jednotlivých typů energetických zařízení. [16]

Dle výšečového grafu uvedeného níže je patrné, že většina elektrické energie vyrobené v ČR pochází z hnědého uhlí a jaderného paliva. Tyto dvě složky dohromady tvoří 73 % energetického mixu. Následující v pořadí dle jeho významnosti se nachází obnovitelné zdroje s 12 % podílem. Zbýlých 15 % je rozděleno na málo významné energetické zdroje, jako je zemní plyn a černé uhlí. Ostatní pevná paliva, mezi které patří i odpad, se na celkové roční energetické produkci v ČR podílejí pouhými desetínami procent. [39]



Obrázek 2 Energetický mix ČR [39]

3.5 Současný stav a výhled do budoucna v oblasti EVO v ČR

Na území České republiky je nyní v provozu 34 zařízení s oficiálně uděleným souhlasem využívat odpad k výrobě tepla a elektrické energie. V praxi platí, že u zařízení s vyšší roční kapacitou převažuje podíl produkce elektrické energie nad tepelnou. Takováto zařízení s povolenou kombinovanou roční kapacitou 791 000 tun, fungují v ČR celkem čtyři. [20]

3.5.1 ZEVO Malešice

Tato spalovna je provozována společností Pražské služby a.s. a je koncipována především ke spalování komunálního odpadu z Prahy. Maximální roční spalovací kapacita je 330 000 tun. Zařízení je vybaveno čtyřmi kotli a je napojeno na centrální síť pro zásobování teplem a ročně dodá okolo 8500 000 GJ tepla. Část vyrobené páry pohání parní turbínu o instalovaném výkonu 18 MW. Před několika lety byl vyměněn jeden kotel a jsou plánované i další výměny za účelem zvýšení roční kapacity a současného zlepšení ekologických dopadů zařízení na okolní prostředí. [20]

3.5.2 ZEVO Brno

Toto zařízení je vybaveno dvěma kotli, které v obou případech využívají ověřenou technologii roštového ohniště. Roční kapacita se pohybuje okolo 250 000 tun odpadu. Spotřeba paliva (odpadu) se pohybuje při průměrné výhřevnosti 8-9 MJ/kg právě okolo hodnoty 250 000 tun ovšem je značně závislá na aktuální hodnotě výhřevnosti spalovaného odpadu. Spalovna je také napojena na centrální vytápěcí síť. Je navržen nový provozní režim, při kterém by měla být spalovna schopna dodávat 580 000 GJ tepla a 70 000 MWh elektrické energie ročně. [20]

3.5.3 ZEVO Liberec

Zařízení s instalovanou roční kapacitou okolo 96 000 tun spaluje odpad z Liberce, Jablonce nad Nisou a okolí. Spotřeba paliva (odpadu) se zde pohybuje v rozmezí mezi 6-18 t/h. Množství dodané elektrické energie se pohybuje okolo 13 000 MWh/rok a dodávka tepelné energie je přibližně 720 000 GJ/rok. [20]

3.5.4 ZEVO Chotíkov

Projektovaná roční kapacita se pohybuje okolo 95 000 t/rok. V odběrové kondenzační turbíně vyrábí elektřinu (36 000 MWh/rok) a dodává teplo do CZT (400 000 GJ/rok). [20]

3.5.5 Plánovaný vznik nových ZEVO v České republice

V níže uvedené tabulce jsou uvedené některé z uvažovaných projektů k výstavbě nových zařízení k energetickému využívání komunálního odpadu.

Tabulka 6 Souhrn vybraných uvažovaných projektů [20]

Název kraje	Popis projektu	Kapacita [t/rok]
Hlavní město Praha	Do roku 2024 by mělo proběhnout zvýšení kapacity ZEVO Malešice o jeden až dva kotle	Zvýšení kapacity až o 200 000
Jihočeský kraj	Úprava teplotěnských kotlů na spoluspalování složek z SKO	Plánovaná kapacita 130 000
Jihočeský kraj	Výstavba ZEVO Planá nad Lužnicí	20 000
Jihočeský kraj	Výstavba ZEVO Písek	20-25 000
Jihomoravský kraj	Navýšení kapacity SAKO Brno	Navýšení o 110 000
Karlovarský kraj	Výstavba ZEVO na spojnici Cheb – Karlovy Vary	Plánovaná kapacita 60 000
Královehradecký kraj	Plánovaná stavba nového ZEVO	Plánovaná kapacita by měla přesáhnout 130 000
Liberecký kraj	Termizo Liberec	Navýšení kapacity o 30 000
Moravskoslezský kraj	Výstavba ZEVO KIC	Kapacita 192 000
Moravskoslezský kraj	ZEVO Horní Benešov plazmové zplyňování	Plánovaná kapacita 360 000
Olomoucký kraj	ZEVO Mohelnice, Prosenice, Olomouc nebo Přerov	Plánovaná kapacita 200 000
Plzeňský kraj	Navýšení kapacity ZEVO Chotíkov	o 50 000
Středočeský kraj	ZEVO Mělník	Plánovaná kapacita 320 000
Ústecký kraj	ZEVO Komořany	Plánovaná kapacita 150 000

ZEVO Malešice bylo v roce 2019 rekonstruováno a byla zde provedena výměna jednoho kotle. V budoucnu je plánováno vyměnit i zbývající kotle, což povede ke zvýšení kapacity a ekologičnosti. [20]

V **SAKO Brno** je připravována výměna starého nepoužívaného kotle. Předpokládaná instalovaná kapacita se bude pohybovat okolo 144 000 t/rok. Projekt je ve fázi zpracování projektové dokumentace a výběru zhotovitele. [20]

Plánované **EVO Komořany, Most** bude mít roční kapacitu okolo 150 000 tun. Stavba zařízení probíhá již od roku 2014 a pro rok 2024 je plánováno zahájení provozu zařízení. [20]

Projekt **ZEVO Planá nad Lužnicí** je nyní ve fázi posuzování ekonomické výhodnosti z hlediska investovaných prostředků. Plánované zařízení s roční kapacitou 50 000 tun, by se využívalo ke spalování materiálově neuplatnitelných plastů. V areálu společnosti C-Energy v Plané je již v provozu ZEVO s nízkou roční kapacitou využívající takzvané kontejnerové uspořádání EVECONT. [20]

ZEVO Mělník by měl stát v areálu Elektrárny Mělník Skupiny ČEZ. Roční kapacita by se měla pohybovat okolo 320 000 tun. Zařízení se bude skládat z dvou linek s elektrickým výkonem 2 x 16 MW. Tento projekt je nyní ve fázi procesu EIA (proces posuzování vlivů na životní prostředí pomocí systematického zkoumání a posuzování jejich možného působení na životní prostředí). [20]

ZEVO Vsetín je plánován v lokalitě výtopy s předpokládanou roční kapacitou 12 000 tun. [20]

ZEVO Přerov a Otrokovice mají v obou případech již vypracovanou studii proveditelnosti zařízení o roční kapacitě 40 000 tun. [20]

4 Ohodnocení energetického využívání odpadů

Tato kapitola je zaměřena na ekologický a ekonomický popis energetického využívání odpadů a jeho skládkování. Ukládání odpadů do zemních skládek je stále světově nejvýznamnější způsob zpracování nevyužitelné složky odpadu, a proto se nabízí vytvořit zjednodušené porovnání těchto činností v ekonomické i ekologické rovině.

4.1 Množství a složení emisních složek vznikajících při spalování odpadů

Obecně známým negativním faktorem spojeným se spalováním odpadů je znečišťování ovzduší. ZEVO nebo obyčejné spalovny odpadů mohou do ovzduší vypouštět celou řadu škodlivých a nebezpečných látek, které mohou představovat poměrně závažnou hrozbu pro zdraví člověka i okolní přírodu. Jedná se převážně o emise těžkých kovů, dioxinů a pevných částic. Zmiňované dioxiny se mohou například kumulovat v potravním řetězci a vzhledem k jejich vysoké toxicitě tak ohrožovat prakticky celou škálu živých organismů včetně člověka. Polévaté částice mohou zas způsobovat respirační a kardiovaskulární onemocnění a těžké kovy mohou snadno kontaminovat půdu a vodu. Dalším negativem je také poměrně výrazná produkce škváry a popela, se kterým musí být důsledně nakládáno, protože jeho unik do životního prostředí by kvůli obsahu těžkých kovů a jiných nebezpečných látek mohl způsobit značné škody. V neposlední řadě jsou spalovny také zdrojem skleníkových plynů (methan a oxid uhličitý) jejichž příspěvek ke změně zemského klimatu je snad všeobecně známý a množství těchto emisí se může pohybovat v rozmezí od stovek až po tisíce gramů CO₂ na kilowatt hodinu vyrobené elektrické energie.[35]

Z globálního pohledu není jednoduché jednoznačně vyčíslit jakou mírou se technologie energetického využívání odpadu podílejí na znečišťování ovzduší a životního prostředí obecně. Je to dáno závislostí na několika faktorech, kterým je například samotný typ energetického využití odpadu, složení spalovaného odpadu nebo platné regulace v daném místě. V případě emisí skleníkových plynů, se podle dat uváděných agenturou IEA hodnoty emitovaného CO₂ pohybují mezi 0,5 až 1,5 kg/kWh. Emise dioxinů se v závislosti na typu používané technologie pohybují v řádu nanogramů až mikrogramů na krychlový metr spalin. Produkce popela a škváry se v závislosti na složení zpracovávaného odpadu pohybuje mezi několika procenty až po více než třetinu původního objemu zpracovávaného odpadu. [50]

Vzhledem k přísnému monitorování složení spalin produkovaných spalovnami v ČR, je zde možné si pro zajímavost uvést jakých konkrétních číselných hodnot dosahují ZEVO v České republice a do jaké míry jsou tato zařízení schopna předepsané emisní limity plnit. V ČR, jakožto členském státě EU, je fungování všech energetických zařízení podmíněno přísnými emisními normami a existuje platná vyhláška č.415/2012, která mimo jiné také vymezuje přípustné úrovně znečišťování přírody, kde konkrétně její pátá část zmiňuje energetické spalování odpadu. V níže uvedené tabulce je znázorněna produkce znečišťujících látek některých českých ZEVO. [51]

Tabulka 7 Produkce znečišťujících látek českými ZEVO [36]

Název znečišťující látky	ZEVO Plzeň	Jednotky	ZEVO Malešice	Jednotky	SAKO Brno	Jednotky
TZL	0,644	t/rok	0,209	t/rok	0,300	t/rok
SO ₂	3,810	t/rok	2,281	t/rok	31,162	t/rok
NO _x	48,583	t/rok	151,000	t/rok	316,718	t/rok
CO	4,940	t/rok	4,392	t/rok	8,205	t/rok
C	0,656	t/rok	0,644	t/rok	1,280	t/rok
Sb	2,770	kg/rok	0,200	t/rok	0,171	t/rok
As	2,770	kg/rok	0,300	kg/rok	0,065	kg/rok
Cd	2,770	kg/rok	0,070	kg/rok	0,037	kg/rok
Cr	9,850	kg/rok	2,200	kg/rok	1,991	kg/rok
Hg	2,810	kg/rok	1,500	kg/rok	1,153	kg/rok
Co	2,770	kg/rok	0,100	kg/rok	0,034	kg/rok
Mn	12,380	kg/rok	6,400	kg/rok	0,597	kg/rok
Cu	18,850	kg/rok	1,000	kg/rok	7,161	kg/rok
Ni	64,150	kg/rok	1,000	kg/rok	3,037	kg/rok
Pb	4,780	kg/rok	0,800	kg/rok	1,826	kg/rok
V	2,770	kg/rok	0,200	kg/rok	0,062	kg/rok
Tl	2,770	kg/rok	0,100	kg/rok	0,034	kg/rok
F	139,000	kg/rok	679,000	kg/rok	113,100	kg/rok
Cl	40,000	kg/rok	56,000	kg/rok	10081,200	kg/rok
PCDD/PCDF	2,800	mg/rok	10,000	mg/rok	7,200	mg/rok

4.2 Skládání odpadů a jeho ekologický vliv

Hlavní negativní skutečností, které je nutné důkladně předejít už před samotným založením skládky, je průsak vody postupně vylučované z odpadu do půdy pod samotnou skládkou. V českém jazyce nemá tato problematická kapalina přesný název, ovšem v angličtině pro ni existuje slovo "leachate". Je to prakticky dešťová voda smíšená s různými tekutinami obsaženými v komunálním odpadu uloženém ve skládce. Chemické složení této tekutiny se liší v závislosti na druhu a složení odpadu, nicméně běžně se vyskytující složky jsou: **a)** těžké kovy jako olovo, kadmium, nebo rtuť **b)** organické sloučeniny jako benzen, toluen a xylen **c)** sloučeniny prvků jako dusík a fosfor, které mohou podporovat vývoj a růst řas a vodních rostlin **d)** patogeny jako bakterie, viry a parazity **e)** soli různých kyselin. [37]

Tato prosakující kapalina je jednoznačně toxická pro životní prostředí a může kontaminovat povrchové i podzemní vody, půdu i ovzduší. Je potřeba dbát na správně vybudovaný podklad skládky a tuto tekutinu sbírat a likvidovat, tak aby vůbec neměla možnost uniknout. Dalšími negativními vlivy jsou například tvorba a uvolňování methanu jakožto potenciálního

skleníkového plynu a v neposlední řadě také zábor půdy, s čímž je spojeno hubení divokých zvířat a narušování přírodních ekosystémů. [37]

Závěrem lze shrnout, že skládky mají obecně široký rozsah negativních vlivů a je potřeba intenzivně pracovat na minimalizaci jejich dopadu. Množství těchto znečišťujících složek uvolňujících se do okolního prostředí nelze jednoznačně vyčíslit, protože tato hodnota závisí na velikosti skládky, typu ukládaného odpadu a také na poloze. Podle některých amerických studií se zemní skládky v USA řadí na třetí místo z hlediska roční produkce methanu, což by se dalo ekvivalentně vyjádřit jako 170 milionů tun CO₂ ročně. Podle této hodnoty se tak skládkování podílí přibližně z 20 % na světové produkci methanu. Také bylo zjištěno, že přibližně 20 % vzniklé kontaminované skládkové kapaliny uniká do okolní půdy a následně do podzemní i povrchové vody. [35]

4.3 Ohodnocení energetického využívání odpadů z ekonomického hlediska

Ekonomickou výhodnost používaných technologií energetického zpracování odpadů je obtížné podrobněji popsat, protože se jedná o komplexní a obsáhlou problematiku. Bylo by nutné vytvořit obsáhlý finanční dokument, ve kterém by byly zahrnuty všechny výnosy i náklady spojené s prováděním procesů energetického využívání odpadu. V této kapitole budou tedy shrnuty pouze hlavní ekonomické faktory, které utvářejí celkovou ekonomickou rozvahu daného energetického zařízení.

První klíčovou položkou při utváření ekonomické rozvahy, jsou investiční náklady, za kterou je možné dané ZEVO postavit a vybavit potřebnými technologiemi, tak aby bylo připravené k plnému provozu. Do těchto pořizovacích nákladů spadají stavební náklady na stavbu samotného ZEVO, ale také například infrastruktury, která je potřebná k jeho provozování. Tato dodatečná infrastruktura může být tvořena například linkou a dalšími zařízeními určenými k úpravám odpadu před jeho energetickým zpracováním. Aby bylo možné určit úspěšné fungování projektu po jeho finanční stránce, je důležité zvážit celkové náklady na výstavbu a vybavení ZEVO včetně nákladů na jeho financování. Dalším důležitým aspektem, který je nutné do rozvahy zapojit jsou tedy provozní náklady daného zařízení. Tyto náklady jsou tvořeny mzdami zaměstnanců, údržbou, nebo vlastní energetickou spotřebou a jejich výše je proměnlivá v závislosti na velikosti a kapacitě daného ZEVO a také na použitém typu energetického zpracování odpadu. Provozní náklady (je nutné zvážit i časovou proměnlivost provozních nákladů, například lze předpokládat po určitém čase provozu elektrárny i vyšší servisní náklady spojené s výměnou některých již opotřebovaných částí) je zase nutné znát z důvodů úspěšného určení dlouhodobé finanční životaschopnosti projektu. [20]

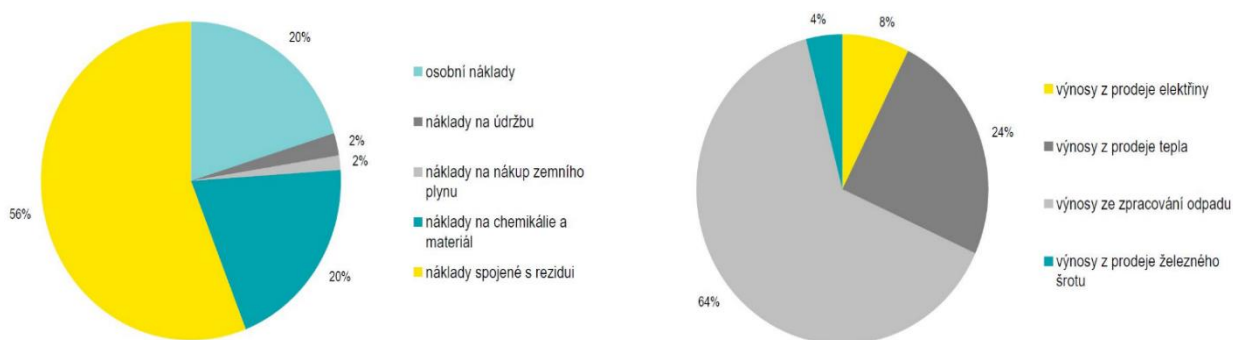
Hlavní část příjmů ZEVO je generována z prodeje elektřiny, páry nebo topné vody a odpadní škváry. Menší mírou pak také přispívají služby, které společnosti provozující tato zařízení nabízejí. Může se jednat například o služby spojené s cíleným likvidováním menších objemů odpadu od určitých firem i fyzických osob. Je nutné brát v úvahu také potenciální schopnost zařízení vydělávat peníze s ohledem na lokální trh s elektřinou. [20]

Na níže uvedených výšečových grafech jsou znázorněna složení nákladů a výnosů pro malá (do 50 kt/rok) a velká (nad 80 kt/rok) ZEVO. V obou případech je patrné, že nejvýznamnější část výnosů pochází ze zpracování odpadu a také je vidět výrazný rozdíl mezi výnosy z prodeje tepla a elektřiny. Větší ZEVO jsou schopna díky vyšším parametrům páry mírně zvýšit výnosy za prodej elektřiny. V případě rozložení nákladů jsou patrné nejdominantnější náklady spojené s rezidui a osobní náklady, přičemž u velkých ZEVO je patrný převažující podíl spojený

s nakládáním s rezidui. To lze vysvětlit vztahem, který platí mezi kapacitou ZEVO, množstvím vznikajícího rezidua a počtem zaměstnanců. I velké ZEVO je schopno fungovat s malým počtem stále přítomných zaměstnanců, zatímco množství škváry a popela roste úměrně s kapacitou ZEVO.[20]



Obrázek 3 Nákladový a výnosový koláč pro ZEVO s kapacitou pod 50 kt/rok [20]



Obrázek 4 Nákladový a výnosový koláč pro ZEVO s kapacitou přes 80 kt/rok [20]

4.4 Ohodnocení skládkování odpadů z ekonomického hlediska

Jedním z primárních vstupních nákladů spojených s provozováním skládky je nákup potřebné půdní plochy. Cena půdy je závislá na mnoha faktorech, jakým je například rozloha, poloha nebo přístupnost a daný projekt může po ekonomické stránce velice výrazně ovlivňovat. [52]

Provozní náklady, které jsou spojeny s provozem skládky jsou tvořeny mzdami, dále pak náklady spojenými s provozováním těžké techniky, opravami a údržbou potřebných strojů a nářadí. Tyto náklady jsou přímou úměrou závislé na velikosti skládky, objemu zpracovávaného odpadu a také na jeho typu. [52]

Výše již zmiňované negativní dopady na životní prostředí mohou následně vyžadovat náklady například na zdravotní péči spojenou s léčbou osob, které onemocněli kvůli styku se znečišťujícími látkami, nebo na nápravy poškozených přírodních zdrojů. Další složku nákladů, které jsou s provozováním zemních skládek bezvýjimečně spojeny, jsou poplatky za plnění regulačních požadavků, které se mohou lišit v závislosti na místě a typu likvidovaného odpadu. Náklady na jejich dodržování pak nejčastěji zahrnují náklady na monitorování a podávání zpráv o eventuelních dopadech na životní prostředí, dále náklady vynaložené za účelem získání potřebných licencí, nebo náklady na implementaci různých opatření určených ke snížení dopadů na životní prostředí. [52]

Skládka je schopna generovat zisk prostřednictvím nabývání poplatků od dopravců odpadů, kterým je umožněno zde sklápat odpad. Výše těchto poplatků za sklopení se liší v závislosti na velikosti skládky nebo na objemu přijatého odpadu. Na závěr lze dodat, že důkladné ekonomické ohodnocení může velmi pomoci při výběru nejvhodnější strategie pro nakládání s odpadem v dané oblasti. [52]

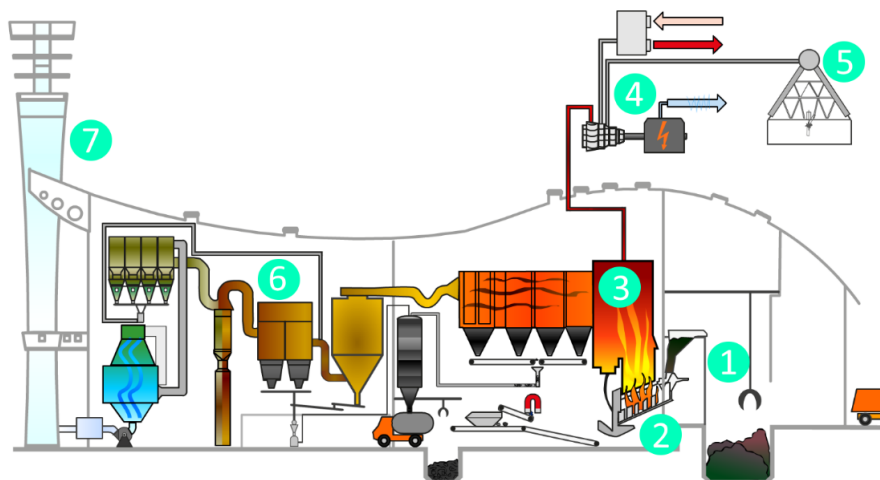
4.4.1 Budoucnost skládek komunálního odpadu

Skládkování se sice v EU stále významně podílí na celkovém zpracování odpadu, ovšem snaha unie směřuje k úplnému, nebo alespoň většinovému omezení skládkování recyklovatelných a biologicky rozložitelných odpadů. Tímto mezníkem má být rok 2050, kdy by EU měla být již uhlíkově neutrální. Jedná se ovšem o náročný proces, při kterém bude muset být vyřešeno odklonění a zpracování mnoha milionů tun odpadu. Úplné ukončení skládkování odpadů, tedy není pro celou EU zcela reálné. Prozatím je plánováno, že do roku 2050 bude dosaženo maximálně 10 % podílu. [53]

Některé členské státy jsou ovšem zavázány, že tohoto cíle dosáhnou dříve. Například Česká republika měla dle původního rozhodnutí minimalizovat aktivitu skládkování do roku 2024, nicméně už v roce 2020 rozhodla poslanecká sněmovna o posunutí tohoto mezního data až na rok 2030. [54]

Na tak velké množství odkloněného odpadu bude muset být reagováno posílením jiných úrovní odpadní hierarchie. Téměř určitě tedy dojde k posílení vztahů s energetikou (ZEVO), kde je stále velký nevyužitý potenciál a bude nutné investovat do navyšování jejich zpracovatelských kapacit. Bude nutné také přistoupit k zavedení třídících linek komunálního odpadu. Tyto výrazné změny budou vyžadovat velmi vysoké investice a pravděpodobně budou v budoucnu stále více populárním tématem.

5 Spalování odpadů z technologického hlediska



Obrázek 5 Zjednodušené schéma ZEVO Plzeň [24]

Stručný popis rozmístění jednotlivých technologií: 1. bunkr; 2. rošt (spalovací komora); 3. parní kotel; 4. turbogenerátor; 5. venkovní výměník kondenzátoru; 6. systém čištění spalin; 7. komín (kouřovod)

5.1 Obecná charakteristika ZEVO/spalovny odpadů

Spalovny odpadů jsou průmyslová zařízení určená ke spalování odpadů, přičemž je možné tato zařízení dělit na ta, která vzniklou tepelnou energii využívají k prospěchu člověka a na ta, která jsou určena především k hygienické likvidaci a objemové redukci nevyužitelné složky odpadu. Tato práce bude zaměřena především na zařízení, která odpad zpracovávají přímým oxidačním spalováním a jsou tedy podobná konvenční tepelné (uhelné) elektrárně právě i z hlediska výroby elektrické energie. Spalovny nebezpečného odpadu a jejich problematika v této práci nebudou příliš rozebírány, neboť z energetického hlediska nejsou oproti spalovnám komunálního odpadu významné.

Základní princip využívání tepelné energie uvolněné při spalování odpadu je stejný jako u konvenční tepelné elektrárny. Významné rozdíly jsou ovšem v používané technologii, protože palivo, které spalují spalovny (netříděný komunální odpad) má výrazně odlišné charakteristiky a vlastnosti. Nevýhodami využívání odpadu jako paliva mohou být například: vysoký podíl vody, výrazná heterogenita, obsah zcela nehořlavých materiálů nebo tendence k tvorbě vysoce toxických a nebezpečných chemických sloučenin ve spalinách. Je tedy nutné zde instalovat taková spalovací zařízení, která využívají technologie umožňující jejich fungování i za předpokladu nesouvislého přísunu energeticky dostatečně bohatého paliva, protože spalováním smíšeného odpadu nelze zajistit konstantní hodnoty výhřevnosti. Průměrná hodnota výhřevnosti komunálního odpadu je velmi závislá na jeho složení a na místě jeho produkce. Podle agentury USEPA se průměrná hodnota výhřevnosti smíšeného odpadu například ve Spojených státech pohybuje okolo 12,1 MJ/kg. Z bezpečnostních důvodů jsou pak kotle spaloven vybaveny například přídatnými (plynovými/naftovými) hořáky, pomocí nichž je udržována předepsaná teplota spalin. Zároveň je nutno počítat i s výrazným množstvím odcházejícího popela a strusky. V systému je potřeba klást důraz na vysoce účinné systémy čištění spalin, které jsou schopny neutralizovat takové chemické sloučeniny, které například při

hoření uhlí nevznikají nebo vznikají v nižším množství. Příkladem chemických sloučenin vznikajících výhradně při spalování odpadu mohou být: dioxiny, furany, těžké kovy nebo kyseliny na bázi chloru nebo fluoru. [35]

Pokud je spalovna navržena ke spalování komunálního odpadu, který již neprochází žádnou úpravou před spálením, pak nejčastěji využívanou metodou je spalování v roštovém ohništi. V případě uhelných elektráren se roštová ohniště používají jen u těch s omezeným výkonem a v porovnání s jinými typy ohnišť dosahuje tento typ ohniště nižší účinnosti. Využití modernějších a účinnějších typů spalovacích komor u spaloven odpadů je ovšem spojeno s nutnou přípravou spalovaného materiálu, jako je například separace, snižování obsahu vody, drcení. Takto upravené palivo je pak možné spalovat daleko efektivněji, například v účinnějších fluidních kotlích.[21][22]

Tepelná energie, která se uvolňuje při spalovacím procesu, prochází stěnami kotle do trubek, v nichž proudí voda, která energii přijímá a zvyšuje se tak její teplota. Posléze dojde ke skupenské přeměně na sytou páru, která dále přijímá tepelnou energii a narůstá její teplota. Přehřátá pára expanduje v parní turbíně a vysokou rychlostí obtéká turbínové lopatky. Ty mají vhodně tvarovaný profil, který nutí rychle proudící plyn měnit směr proudění, čímž dochází k vyvozování sil působících na oběžné lopatky. Vlivem těchto sil dochází k roztáčení rotoru turbíny, který je spojen s elektrickým generátorem. Ten tuto mechanickou práci přeměňuje na energii elektrickou.[23]

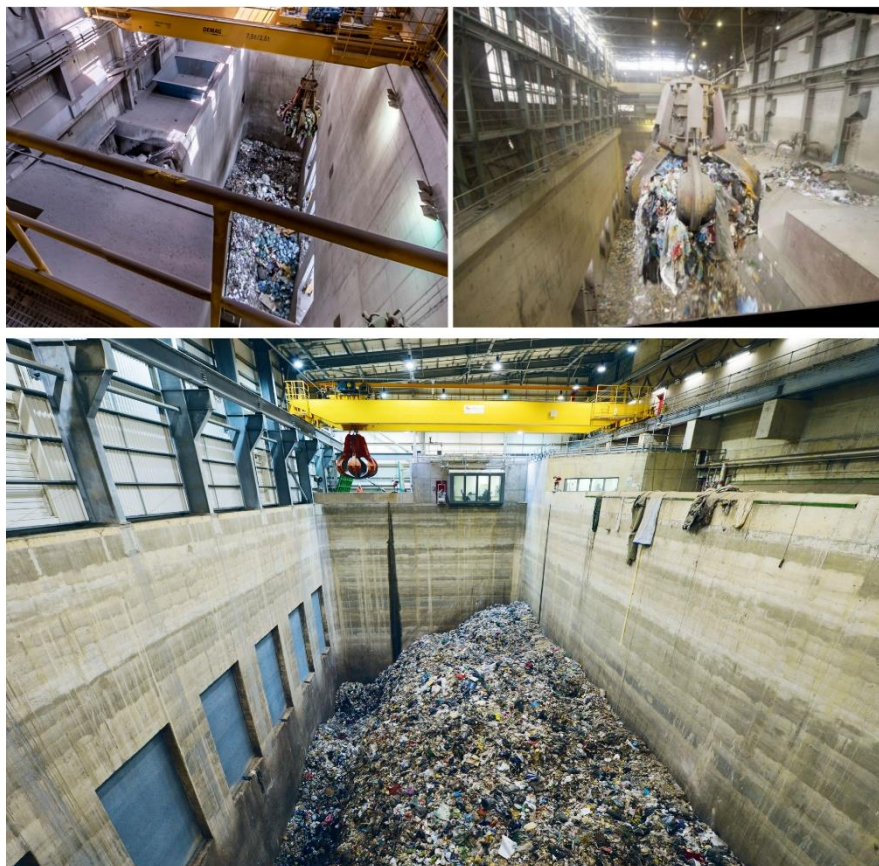
5.2 Jednotlivé části ZEVO/spalovny odpadů

Jako vzorové ZEVO, na kterých budou popisovány důležité části, byly zvoleny ZEVO Chotíkov a ZEVO Malešice. Západočeská spalovna je nejmladší ZEVO v ČR a v něm instalované technologie je možné považovat za moderní. Pražské spalovací zařízení Malešice zaujímá první místo v ČR z hlediska výkonu a objemu zpracovaného odpadu. Zde je nutné upozornit, že dále popisované principy a použité technologie nelze automaticky považovat za všeobecně platné pro libovolná ZEVO.

5.2.1 Dodávka odpadu a jeho skladování

Komunální odpad je dopravován do areálu ZEVO pravidelně téměř každý den svozovými nákladními automobily. Při průjezdu vstupní branou projde náklad kontrolou radiace. Každá jednotlivá dodávka je následně vážena a evidována. Obsah nákladních vozů se pak přímo vsype do zásobníku odpadu zvaného bunkr. Bunkr je prvním článkem procesu energetického využití odpadu. Je to rozlehlá a vysoká místnost železobetonové konstrukce, jejíž dno se nachází pod úrovní nájezdových ramp pro svozové vozy odpadu. V horní části bunkru je umístěna kabina operátora jeřábu, který ovládá kolejnicový jeřáb vybavený hydraulickým uchopovacím systémem, schopným pojmout na jednu operaci až 3 tuny odpadu. Hlavním úkolem jeřábníka je kontinuálně doplňovat násypku vedoucí do kotle a promíchávat nově přivezený odpad s již uloženým materiálem. Pro případ výskytu nadměrně velkých kusů odpadu je bunkr vybaven drtičem odpadu, který svou kapacitou pojme a okamžitě rozdrťí celý objem jeřábového drapaků. Bunkr je vybaven protipožárním systémem. Termokamerami a výkonnými automaticky řízenými vodními děly. V celém bunkru je nutné udržovat podtlak, aby nedocházelo k šíření

zápachu a prachu do okolí. Pro představu, kapacita bunkru v ZEVO Malešice je přibližně 11 000 m³. [24] [25]



Obrázek 6 Různé pohledy do bunkrů chotíkovské a pražské ZEVO [24][26]

5.2.2 Spalovací systémy

Odpad je pomocí jeřábu vhazován do vstupní násypky vedoucí do kotle a postupně prochází spádovou šachtou na jejímž konci je pomocí podávacího zařízení s hydraulickým pohonem dávkován na spalovací rošt kotle. Kotle v chotíkovské i pražské spalovně jsou vybaveny takzvanými vratisuvnými rošty. Tento typ ohniště je pro jiná odvětví energetiky už příliš zastaralý a téměř se tedy nepoužívá. Ve spalovnách odpadu je ovšem tento typ s výhodou využíván pro svou nenáročnost z hlediska kvality paliva. V ZEVO Chotíkov je již od začátku instalovaný vratisuvný rošt. Oproti tomu pražská spalovna při zahájení svého provozu používala válcové rošty. Při poslední rekonstrukci byly ovšem kotle vyměněny za nové, které jsou již vybaveny také vratisuvnými rošty. [24][22]

Rošt se nachází na dně kotle a jeho hlavní funkcí je rovnoměrná distribuce odpadu ve spalovací komoře a zajištění postupného prohřátí přikládaného materiálu. Je důležité, aby byl odpad optimálně rozprostřen do přiměřeně silné vrstvy a bylo zajištěno dostatečné profukování spalovacím (primárním) vzduchem. Přibližně 65 %-70 % délky roštu by mělo být využíváno k vysušování a spalování. Zbývá část roštu by měla umožnit kompletní dohoření škváry a popela. Činnost roštu má přímý vliv na výkon celé spalovny a je tedy nutné, aby byl schopen vyrovnávat změny energetické vydatnosti spalovaného odpadu regulací rychlosti dodávky odpadu. Další důležitou funkcí roštu je také schopnost měnit směr proudění primárního

vzduchu, čímž je umožněno intenzivněji vysušovat oblasti roštu s vyšší vlhkostí. Zjišťování oblastí s vyšší vlhkostí, tedy i s nižší teplotou je zajištěno kontinuálním snímáním spalovací komory termokamerami. Například v ZEVO Chotíkov setrvává odpad na roštu přibližně 20 minut, nicméně délka této doby se může lišit v závislosti na velikosti zařízení. Roštnice se pohybují proti sklonu roštu a zároveň i proti pohybu paliva (odpadu), což palivo promíchá a provzdušní a tím dojde k poměrně kvalitnímu vyhoření všech spalitelných složek. [24]

Optimální spalovací režim kotle je závislý na třech hlavních parametrech. Dávkování odpadu, pohyb odpadu na roštu, množství spalovacího vzduchu. Správným nastavením těchto parametrů lze zajistit rovnoměrné rozložení teplot ve spalovací komoře. Důležité je udržet spaliny na teplotě 850 °C po dostatečně dlouhou dobu (řádově jednotky sekund), což jsou nezbytné podmínky pro oxidaci biogenních prvků (uhlík, dusík, vodík, síra). Tato dostatečně vysoká teplota také zajistí úplné dohoření organických látek a tím zamezí možné rekombinaci a vzniku jiných ještě škodlivějších látek. [24] [27]

Velké množství energie horkých spalin je do značné míry pohlceno stěnami parního kotle, který je umístěn nad ohništěm. Například parní kotel instalovaný v ZEVO Chotíkov je vodotrubný s přirozenou cirkulací a je koncipován jako tři tahový. Princip přirozené cirkulace spočívá v rozdílné měrné hmotnosti tekutiny proudící v potrubí, což vede k proudění z místa s vyšší teplotou do míst chladnějších. Jsou zde instalovány dva bubny, svazek výparníku je umístěn ve třetím tahu. Dvoustupňový ekonomizér (zařízení využívající zbytkové teplo spalin k předehřívání napájecí vody) je pak umístěn vně kotelny. [24]

K úspěšnému nastartování procesu ve spalovací komoře, jsou zde instalovány hořáky (velmi často na naftu nebo plyn), které celou komoru předehřejí až na teplotu 850 °C. Takto předehřátá spalovací komora zajistí samovolné vzplanutí paliva (odpad) a od tohoto momentu je hoření již nezávislé a externí předehřev může být odpojen. [24][26]

5.2.2.1 Roštová ohniště

Roštová ohniště jsou jedním z nejstarších typů ohniště používaných ke spalování pevného paliva. Tato technologie je poměrně flexibilní a dokáže si poradit s výkyvy v chemickém složení a výhřevnosti spalovaného materiálu.

Rošty instalované v kotlích spaloven splňují několik důležitých funkcí, jejichž základní principy s nimi sdílí rošty, často mnohem menších rozměrů, které se běžně používají například v domovních krbových kamnech na tuhé palivo. Rošt umístěný ve spodní části spalovací komory nese hořící vrstvu paliva a dovoluje tak, aby se k němu dostávalo dostatečné množství spalovacího vzduchu. Mocnost hořící vrstvy je udržována v adekvátních mezích, aby byl umožněn dostatečný prostup spalovacího vzduchu. Trysky přivádějící vzduch do ohniště jsou umístěny pod roštem a umožňují dynamicky měnit profukovanou oblast hořící vrstvy, čímž v kombinaci s regulací rychlosti dodávky paliva, lze korigovat výkon kotle. Rošty jsou pak rovněž konstrukčně navrženy k rovnoměrnému odvodu popela a škváry z prostoru spalovací komory. [28]

Nově přiložené palivo putuje ven z násypky do chladnějších oblastí spalovací komory a začíná se postupně ohřívat. V počátku dochází k odpařování obsahu vody (fáze sušení), na což naváže uvolňování plynů (fáze odplynování) a po překročení zápalné teploty započne hoření. U pevných roštů a roštů s pohazováním následují tyto fáze za sebou ve směru výšky vrstvy, zatímco u pásových a přesuvných roštů toto platí ve směru jejich délky. Oblast roštu, kde dochází k nejvýraznějšímu uvolňování tepelné energie se nazývá účinná plocha, té předchází

oblast, ve které dochází, k již zmiňovanému vysušování a odplyňování, a z opačné strany na ni navazuje oblast kde dochází k dohořívání paliva. Rošty se rozdělují podle způsobů přemísťování hořící vrstvy na nehybné (pevný rovinný rošt) dále na trvale se pohybující (pásový) a rošty s přerušovaným pohybem vrstvy (přesuvný). [28]

Takzvaný pásový rošt je sestaven z mnoha roštnic příčně seřazených do trámců, které jsou pevně spojeny s články takzvaného Gallova řetězu, jenž tvoří po vnějších okrajích roštu nosnou strukturu. Aby vlivem tíhy hořícího paliva nedocházelo k prohybu celého roštu, jsou jednotlivé čepy řetězu vybaveny kladkami, které se odvalují po kolejnicích přichycených ke stěnám spalovací komory. Podobně jsou k pevnému rámu přichycena i hnací řetězová kola, která celým roštem posouvají. Před vstupem na plochu samotného roštu je umístěno takzvané hradítko, které zajišťuje konstantní tloušťku vrstvy paliva. Na opačném konci roštu je umístěn takzvaný výkyvný škrabák, který naopak zadržuje dohořívající palivo uvnitř spalovací komory, aby mohlo lépe dohořet a zároveň zabraňuje přísávání falešného vzduchu. [28]

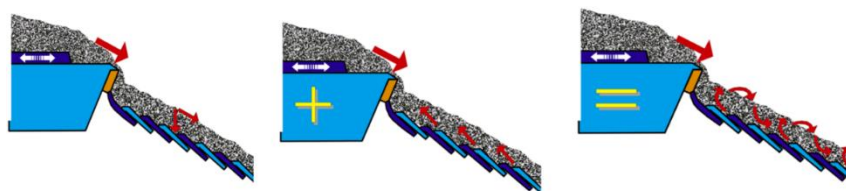


Obrázek 7 Pásový rošt [42]

Vrativné, popřípadě přesuvné rošty jsou dodnes ve spalovnách odpadů poměrně často využívaným typem. Tento rošt připomíná část schodiště, u kterého jednotlivé schody konají protiběžný pohyb. Každý schod je složen z příčně vyrovnaných roštnic, kterými je za pomoci hydraulicky, popřípadě elektricky poháněného klikového mechanismu pohybováno. Takto se opakující pohyb jednotlivých kaskád způsobí promíchávání a posouvání hořícího paliva. Celá plocha roštu bývá zpravidla nakloněna pod úhlem 15° až 20°. [28]



Obrázek 8 Ukázka kaskádového vrativného roštu [43]



Obrázek 9 Ukázka pohybů hořící vrstvy na vratísuvném roštu [43]

Obdobou pásového roštu je takzvaný rošt válcový. Ten byl již v minulosti hojně využíván právě pro účely spalování odpadu. Je tvořen soustavou velkých dutých válcových roštnic, které se pomalu otáčejí ve stejném smyslu okolo své podélné osy symetrie a přispívají tak opět k prolamování a promíchávání hořící vrstvy paliva. Spalovací vzduch je zde přiváděn čepy roštnicových válců a je vyfukován otvory v jednotlivých válcích. Celá sestava válců bývá zpravidla uložena pod sklonem 30° až 40°. [28]



Obrázek 10 Pohled do spalovací komory vybavené válcovým roštem [42]

5.2.2.2 Fluidní ohniště

Pokud je odpad podroben potřebným úpravám, jakými jsou například snížení obsahu vody, odseparování nehořlavých složek, nebo rozmělnění na drobné částice, je možné ho poté spalovat v kotlích vybavených takzvaným fluidním ohništěm. Základní princip spočívá ve smíchávání částic paliva s částicemi nehořlavé hmoty (například křemenný písek nebo keramzit). Částice písku jsou postupně zahřáty na pracovní teplotu a vznášejí se spolu s palivem v silném proudu vzduchu, tento sypký materiál je pak v ohništi uveden do jakéhosi tekutého (fluidního) stavu. Vzduch je do ohniště přiváděn velkým množstvím trysek. Za předpokladu, že je průtok vzduchu optimálně nastaven, získává hmota uvnitř ohniště vlastnosti blízké kapalině, a to především v oblasti sdílení hmoty a tepelné energie. Přechod tepelné energie mezi fluidační tekutinou a výhřevnou plochou kotle je oproti běžným kotlům významně účinnější, protože u klasických kotlů dochází ke sdílení energie pouze mezi plynem a teplosměnnou plochou. U běžných kotlů se součinitel přestupu tepla pohybuje v rozmezí 10 až 100 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Fluidní kotle dosahují mnohem lepších výsledků, součinitel přestupu tepla se pohybuje mezi 200 až 800 $\text{Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$. Hmotnostní podíl paliva na celkové fluidní vrstvě se pohybuje okolo 2-3 %. V závislosti na charakteru fluidní vrstvy v ohništi lze dále rozlišovat fluidní kotle se stacionární a cirkulující fluidní vrstvou. [28]

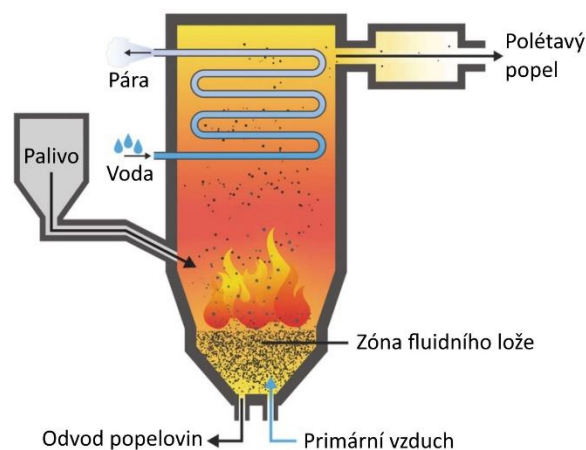
a) Fluidní ohniště se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou – v tomto typu ohniště je udržována nižší rychlost fluidační tekutiny s čímž souvisí i menší expanze fluidní vrstvy a lze zde pozorovat jasně ohraničenou hladinu fluidní vrstvy v požadované výšce nad roštem. Fluidní spalování probíhá ve stavu, kdy vlivem dynamického účinku protékajícího vzduchu dochází k

porušení stability vrstvy inertních a uhelných částic v ohništi, vrstva expanduje, vznáší se a původně heterogenní systém přejde v systém homogenní s odlišnými fyzikálními vlastnostmi. [28]

b) Fluidní ohniště s cirkulující fluidní vrstvou – v tomto typu fluidního ohniště je silně expandující fluidní vrstva, která zaplní ohniště po celé jeho výšce. Již zde nelze pozorovat samovolně vznikající horní hranici fluidní vrstvy v podobě nějaké hladiny, ale hranice je v tomto případě určena odlučovacím zařízením (nejčastěji cyklónovým odlučovačem). V něm dochází k odlučování ještě ne zcela dohořelého paliva, odsířovacích aditiv, nebo také dostatečně hmotných částic popela od spalin. Jemnější frakce společně s horkými spalinami tedy dále proudí přes teplosměnné plochy kotle. [28]

Výhody fluidního spalování

Výhodou tohoto způsobu spalování je vysoká intenzita sdílení tepla. Součinitel přestupu tepla může dosahovat až $800 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$, což je dvakrát až třikrát vyšší hodnota než u konvenčních kotlů. Palivo lze snadno mísit například s drceným vápencem, což pomáhá omezit tvorbu oxidů síry. Vzhledem k nižším teplotám mezi (600–800 °C) spalování ani nevznikají v takové míře jedovaté oxidy dusíku. Palivo nemusí být drceno na tak jemnou frakci, jako v případě práškových ohnišť (dostatečná je hrubost i do dvou desítek milimetrů). S tím jsou spojeny tedy i nižší energetické nároky na přípravu paliva. Ve fluidním kotli lze spalovat různé druhy paliv, včetně méně kvalitních s vysokým obsahem popelovin. Obsahuje-li palivo naopak málo nespalitelné složky, je nutné přidat popeloviny uměle, aby se mohla fluidní vrstva vytvořit. [28]



Obrázek 11 Znárodnění principu fungování fluidního kotle [44]

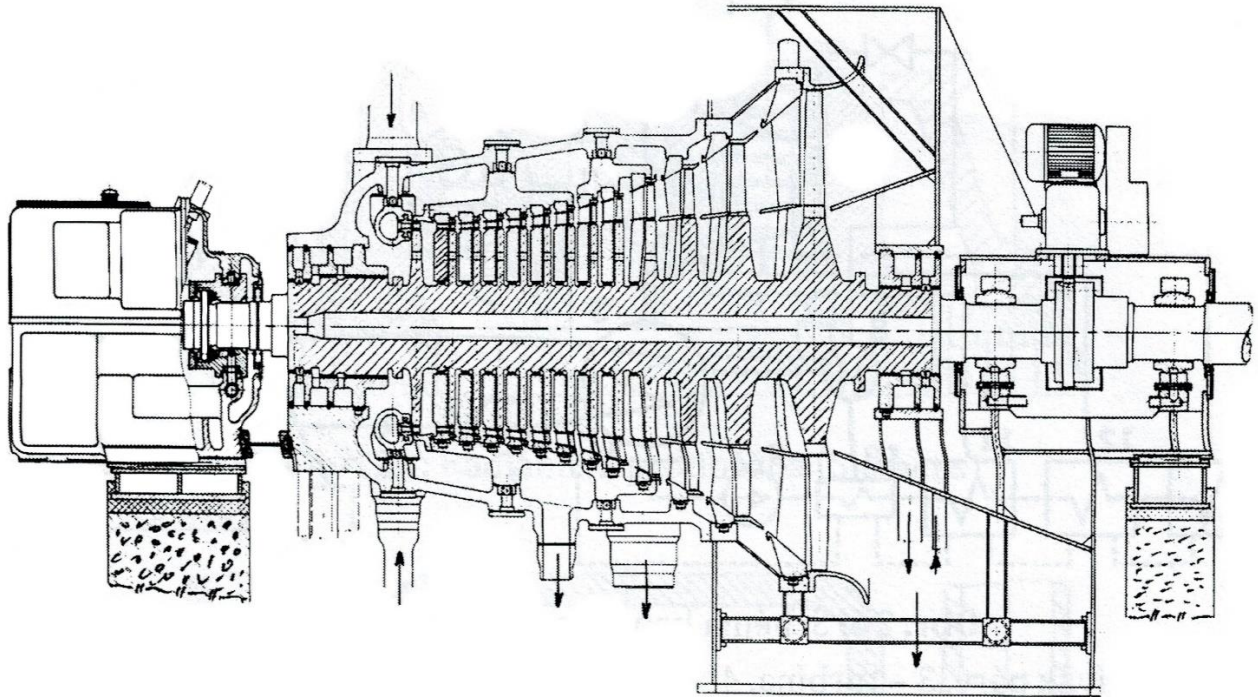
5.2.3 Získávání elektřiny a využitelného tepla

Tepelná energie, která se uvolňuje při procesu spalování odpadu má kromě výroby vodní páry i další praktická využití:

1. Dodávka a prodej tepla externím zákazníkům a zároveň vytápění potřebných prostor samotného ZEVO.
2. Dále je teplo využíváno k vysušování a předehřívání přivezeného odpadu, případně k redukci jeho objemu.
3. Tepelnou energii mohou také odebírat různé průmyslové zóny a továrny a také například pekárny, nebo obecně objekty, které mají stálou spotřebu tepla.

Výše uvedenými způsoby využití tepelné energie odpadu výrazně stoupá tepelná účinnost celé ZEVO s čímž také souvisí například pokles provozních nákladů a závislosti na fosilních palivech (například menší potřeba přitápění ve spalovací komoře).

5.2.3.1 Získávání elektrické energie

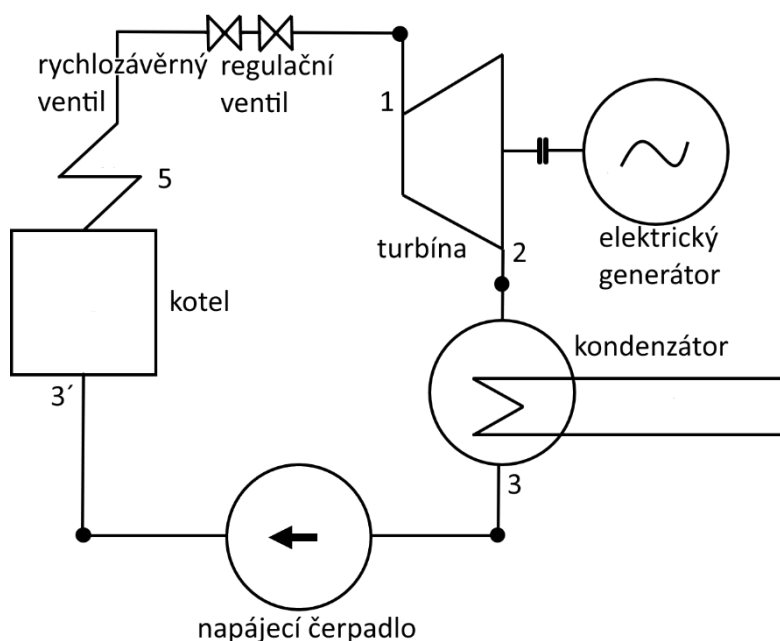


Obrázek 12 Řez jednotělovou kondenzační parní turbínou [41]

Parní turbíny jsou hnací zařízení (motory) o velmi dobré termodynamické účinnosti (okolo 90 %) což vede k jejich rozsáhlému využívání. Uplatňují se nejen ve výrobě elektrické energie, ale najdeme je u turbodmychadel, čerpadel, turbokompresorů, nebo k pohonu lodí. Existuje velké množství typů a dělí se podle několika kritérií: **a)** podle principu přeměny energie (rovnotlaké a přetlakové), **b)** podle počtu stupňů, podle směru toku páry (axiální nebo radiální tok páry), **c)** dle vstupních parametrů páry (na přehřátou nebo na sytou páru), **d)** dle tlaku za posledním stupněm (kondenzační, protitlaké) **e)** odběrové (s regulovaným/ neregulovaným odběrem) a bezodběrové. [41]

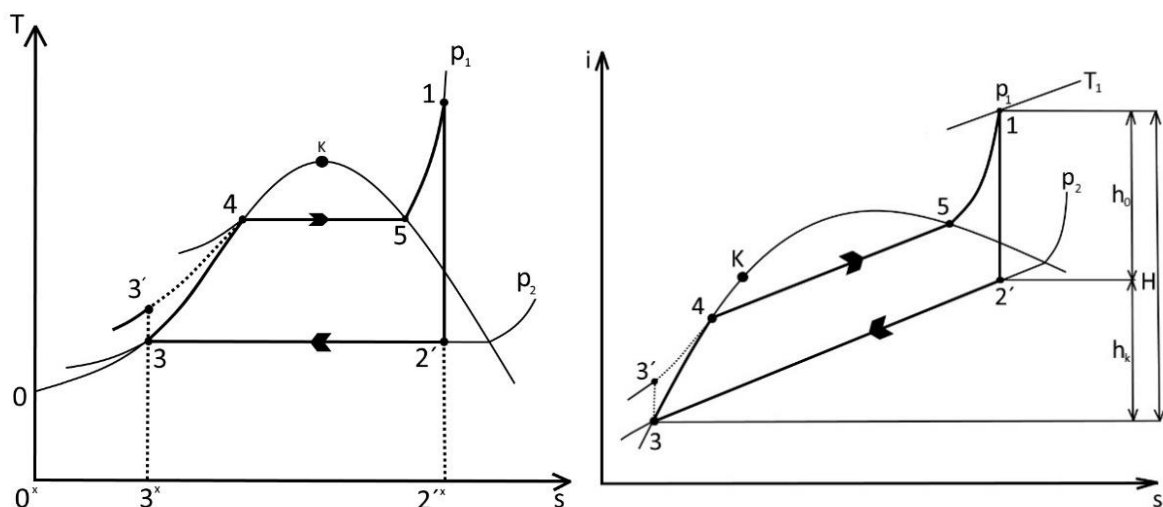
Parní turbína mimo jiné obsahuje několik stupňů, které postupně ve směru expandování páry zvětšují svůj poloměr. Celá fungující soustava je pak složena ze satorových a rotorových turbínových stupňů. Satorové turbínové stupně jsou tvořeny bubnovými rozváděcími lopatkami nebo rozváděcími koly. Rotorové stupně jsou pak tvořeny bubnovými oběžnými lopatkami nebo oběžnými koly. [41]

Pro lepší pochopení zde budou nejdříve zjednodušeně shrnuty základní fyzikální principy, které určují průběh všech dějů v parní turbíně. Z hlediska problematiky energetického využívání odpadu je to sice spíše druhotný problém, ale stále se jedná o zásadní přechod mezi tepelnou energií a energií elektrickou. Jak již bylo několikrát zmíněno, pracovním médiem v parní turbíně je vodní pára. Přeměna forem energie je umožněna expanzí páry, která proudí mezi lopatkami rozváděcího kola. To platí v případě rovnotlaké turbíny, pokud se jedná o turbínu přetlakovou, pak dochází k expanzi i mezi lopatkami oběžných kol. Horká pára uchovává energii ve formě tepla a také prakticky tlaku (tlaková energie), neboť turbína využívá této tlakové formy. Tlaková energie se tedy v jednotlivých stupních mění na energii kinetickou a ta je postupně předávána z proudícího plynu na pevné těleso příhodně tvarované lopatky oběžného kola. Síla od plynu konstantně působící na lopatky konající otáčivý pohyb je z fyzikálního hlediska mechanická práce. Pokud by byly zanedbány veškeré odporové účinky, které musí pára překonávat, dal by se proces expanze v parní turbíně popsat jako izoentropický (nedochází k tepelné výměně s okolím), jinými slovy to znamená, že mechanická práce vykonaná turbínou je rovna entalpiickému spádu. Tedy rozdílu měrných entalpií mezi vstupem a výstupem do turbíny. [29] [23]



Obrázek 13 Základní schéma zařízení s parní turbínou [41]

V termodynamice se tento cyklus, který využívají téměř všechny tepelné elektrárny, které jsou vybaveny parními turbínami, nazývá Rankinův-Clausinův. Tento základní princip je tedy uplatňován i v ZEVO, která jsou vybavena parními turbínami. Podrobnější popis tohoto cyklu je na následující straně vysvětlen a vyznačen pomocí T-s a i-s diagramů.



Obrázek 14 Ideální oběh stroje v T-s a i-s diagramu [41]

Na obrázku 14 je znázorněn v T-s a i-s diagramu parní Rankine-Clausiusův cyklus bez uvažování ztrát v turbíně a napájecím čerpadle.

Vysvětlení jednotlivých fází cyklu:

1-2 probíhá izentropická expanze v turbíně

2'-3 dochází ke kondenzaci páry v kondenzátoru

3-3' izentropický proces stlačení vody v napájecím čerpadle

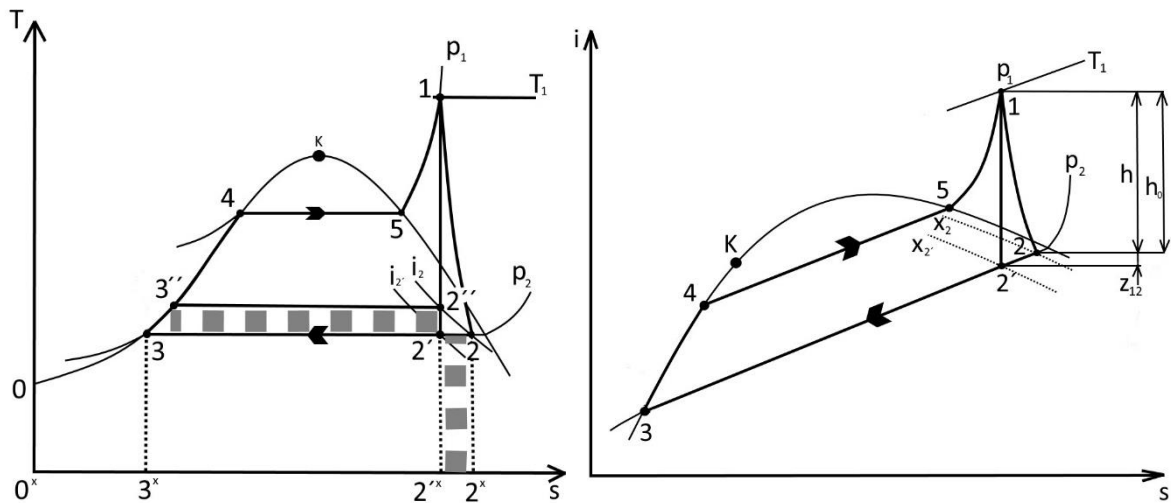
3'-5 ohřívání napájecí vody a její vypařování v kotli

5-1 přehřívání páry v přehříváku kotle

Práce turbíny při izentropické expanzi (bez tlakových a tepelných ztrát) lze vypočítat vztahem:

$$a_{ideální} = h_o = i_1 - i_{2'} = \Delta i \quad (2)$$

V reálném světě ovšem samozřejmě toto zjednodušení udělat nelze, protože vlivem tření páry o překážky dochází ke ztrátám a reálný tepelný spád je menší, protože vnitřní ztráty způsobují vznik tepla, což způsobuje zvyšování výstupní entalpie a také entropie.



Obrázek 15 Reálný oběh stroje v T-s a i-s diagramu [41]

Na obrázku 15 je znázorněn cyklus v T-s a i-s diagramech s uvažováním vnitřních ztrát v turbíně. Je patrné, že skutečná vnitřní práce je menší. V T-s diagramu je vnitřní práce zmenšena o zvýrazněnou šedou plochu $2'33''2''2'$ a celkové vnitřní ztráty představuje plocha $122^x2'^x1$ (plocha $22^x2'^x2'$ vlastně představuje zvětšení odvedeného tepla v kondenzátoru a je ekvivalentní k již zmiňované ploše $2''2'33''2''$). Rozdíl prací bez a včetně uvažování ztrát je znázorněn v i-s diagramu jako veličina z_{12} . Vnitřní práci turbíny je však nutno zmenšit o mechanické ztráty v uložení turbíny a ztráty v elektrickém generátoru.

$$a_{\text{včetně ztrát}} = i_1 - i_2 = h \quad (3)$$

Skutečná práce na spojce mezi turbínou a generátorem je pak zmenšena o již zmiňované mechanické ztráty zařízení.

$$a_{\text{spojka}} = a_{\text{včetně ztrát}} - z_{\text{mechanické}} \quad (4)$$

Z hlediska výroby elektřiny je pak nutno dále započítat i ztráty v elektrickém generátoru. Práce, kterou je možné naměřit na svorkách generátoru je pak o tyto ztráty zmenšená.

$$a_{\text{generátor}} = a_{\text{spojka}} - z_{\text{generátoru}} \quad (5)$$

K určení výkonu stroje lze vyjít ze vztahu:

$$P_{\text{beze ztrát}} = \dot{m} \cdot h_0 = \dot{m} \cdot (i_1 - i_2') \quad (6)$$

Skutečný vnitřní výkon pak bude kvůli menšímu entalpickému spádu menší:

$$P_{\text{skutečný}} = \dot{m} \cdot h = \dot{m} \cdot (i_1 - i_2) \quad (7)$$

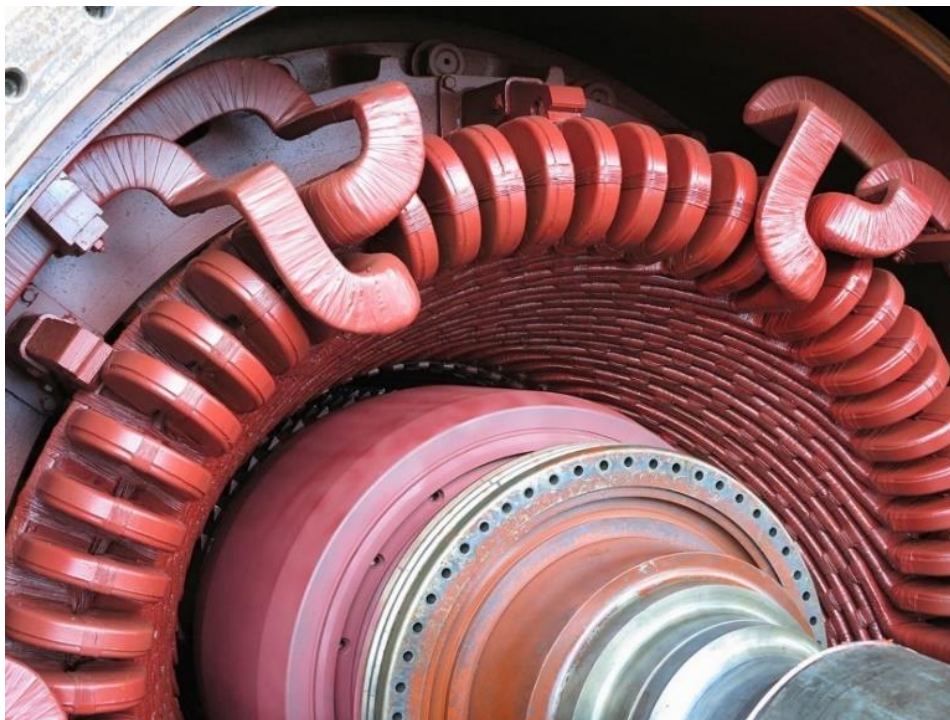
Dále je možné obdobným způsobem určit výkony na spojce a na svorkách elektrického generátoru.

$$P_{\text{spojka}} = P_{\text{skutečný}} - z_{\text{mechanické}} \quad (8)$$

$$P_{\text{generátor}} = P_{\text{spojka}} - z_{\text{generátor}} \quad (9)$$

Podobně jako u jiných tepelných motorů pracujících na principu rozpínajícího se plynu v uzavřeném prostoru, je možné zvyšovat účinnost také u parní turbíny. Různé technologické úpravy parního cyklu vedoucí k maximálnímu vyžití energie páry se souhrnně nazývají carnotizace. Nejběžnějšími úpravami jsou například zvyšování teploty a tlaku vstupní páry, zapojení přehřívání páry v průběhu její expanze mezi vysokotlakým a nízkotlakým dílem, regenerační ohřev vody nebo snížení teploty kondenzace. [23]

V neposlední řadě je potřeba zajistit přeměnu mechanické práce na elektrickou energii. Toho je dosaženo v elektrickém generátoru. Tento elektromechanický stroj je nejčastěji používaným typem téměř ve všech typech elektráren. Funguje na principu pohybujícího se magnetického pole okolo vodiče, což v onom vodiči vyvozuje elektrický proud. Magnetické pole je vytvářeno cívkami umístěnými na rotoru generátoru, kterými je veden elektrický proud. Tyto cívky se pohybují po kružnici uvnitř statoru a indukují tak proud v jeho pevných cívkách. Tento elektrický výkon je pak v podobě třífázového proudu vyváděn do transformační stanice. [33]



Obrázek 16 Pohled do vnitra elektrogenerátoru vysokého výkonu [45]

5.2.3.2 Získávání tepla

Základní princip, který je uplatňován v případě využívání ZEVO jako teplárny, spočívá v převádění tepelné energie uvolněné ve spalovacím zařízení do distribučního média. Nejčastěji se jedná o vodní páru nebo termální olej, který cirkuluje v primárním okruhu do výměníku, kde opět předává svou tepelnou energii do sekundárního okruhu, ve kterém již proudí pouze voda, která je vedena na potřebná místa k zákazníkům jako zdroj k vytápění obydlí nebo jiných obytných prostor. [26]

Běžně je toto řešeno instalací takzvané kondenzační odběrové turbíny, která kombinuje kondenzátor a zároveň umožňuje odevzdávat páru do horkovodu k distribuci tepelné energie na větší vzdálenosti. Například v ZEVO Plzeň je vzhledem k velikosti této spalovny a výkonu kotle nainstalována parní turbína od firmy Siemens s typovým označením SST-300. Je zde

provedena jako kondenzační přetlaková a je složena z deseti přetlakových stupňů, přičemž má zaveden jeden neregulovaný odběr za druhým nosičem statorových lopatek a regulovaný odběr za nosičem třetím. Výhodou takového typu turbíny je, že například v letních měsících dovede pracovat jako čistě kondenzační turbína (malý odběr páry) a naopak v zimních měsících, když je velký požadavek na odběrovou páru, pracuje primárně jako protitlaková turbína. [24][41][30]

5.2.4 Čištění spalin

Při spalování tuhého odpadu odcházejí z kotle spaliny, které je možné rozdělit na tuhé a plynné. Příkladem tuhých spalin může být popel nebo škvára a plynná složka je tvořena především základními prvky, jako je dusík, kyslík, oxid uhličitý nebo vodní pára. Vyskytují se zde ovšem také plynné sloučeniny těchto prvků jako je například kyselina chlorovodíková, fluorovodíková, oxid siřičitý nebo oxid sírový a jejich výskyt už je problémem. Hlavními skupinami chemických sloučenin vznikajících při spalování tuhého odpadu jsou polycyklické aromatické uhlovodíky, polychlorované dibenzodioxiny nebo dibenzofurany. [34]

Hlavním smyslem systému čištění spalin je maximálně omezit odcházející množství obou složek odcházejících z komína ZEVO, tak aby naměřené emisní hodnoty zůstávaly pod zákonem povolenou hranicí. Proces je složen z několika stupňů, které na sebe postupně navazují a jejich pořadí je z hlediska dosažení maximální účinnosti nezaměnitelné. Jednotlivé metody lze rozdělit do tří skupin na suché, polosuché a mokré. [34]

Suchá metoda spočívá v mísení horkých spalin s jemně namletým sorbentem, který je tvořen hydroxidem vápenatým. Ten je rozptýlen do proudu spalin a reaguje s kyselými složkami. Dalším často používaným sorbentem je hydrogen uhličitán sodný. Ten reaguje s chlorovodíkem anebo fluorovodíkem a oxidem sírovým. Hlavní princip spočívá v tom, že atom sodíku se naváže na atom chlóru nebo fluóru a umožní tak uvolnění plynného oxidu uhličitého a vody. Sloučenina sodíku a druhého atomu však není plynnou, ale pevnou látkou, a proto je možné ji snadněji odloučit. Sorbent je po proběhnutí chemické reakce zachytáván ve filtru pevných částic. Tento pevný odpad je nutné následně likvidovat na skládkách nebezpečného odpadu. Suchá metoda je poměrně jednoduchá a oproti ostatním řešením i ekonomicky nejméně náročná, za to je však méně účinná. [34]

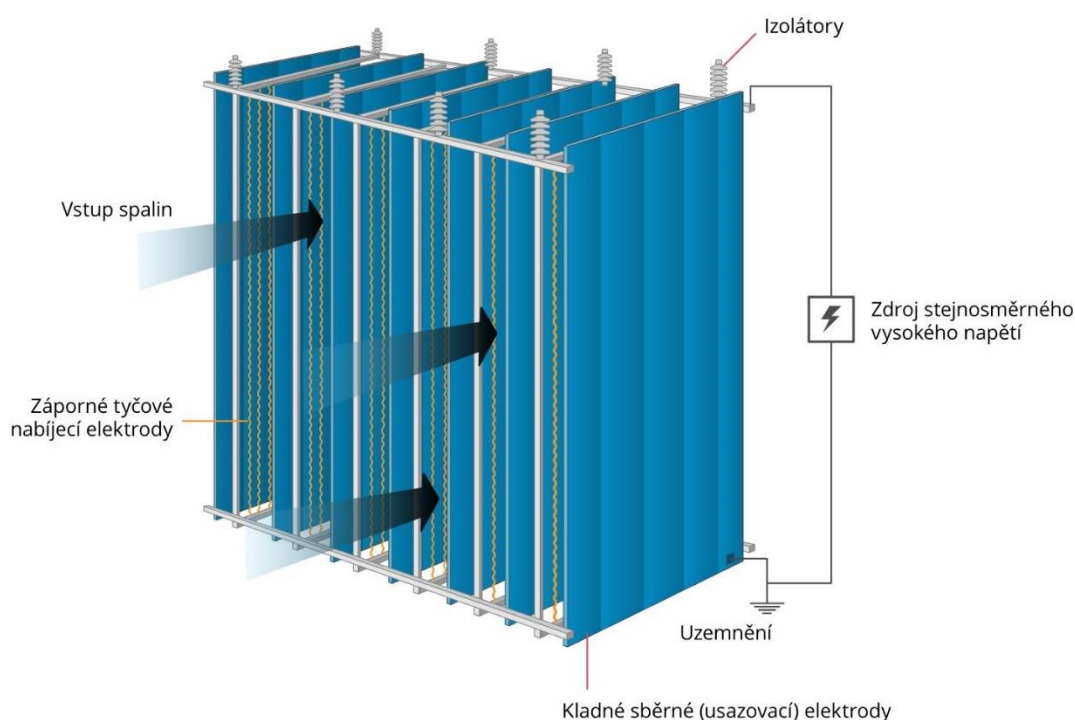
Polosuchá metoda využívá podobného principu jako metoda suchá, ovšem zde je sorpční suspenze do proudu přímo rozstříkována, vodní složka suspenze se odpařuje a výsledkem tohoto procesu je jen pevná složka. Jako chemické činidlo se zde často používá například hydroxid vápenatý nebo jiné podobné zásadité sloučeniny. Pomocí této metody je možné navázat a odstranit i molekuly obsahující atomy těžkých kovů. Další značnou výhodou je také vyšší účinnost v porovnání s metodou suchou, nicméně zavedení této technologie je výrazně dražší. [34]

Mokrá metoda je proces čištění rozdělený do několika stupňů, přičemž v každém se využívá roztoku o jiné hodnotě pH. V prvním stupni je sníženo pH na hodnotu 2 až 3 a zároveň dochází k odlučování prachových částic, sloučenin obsahujících halové prvky a prvky těžkých kovů. V následujícím stupni je za pomoci zásaditých chemických sloučenin, jako je například hydroxid sodný nebo takzvané vápenné mléko, hodnota pH zvýšena na 6 až 7. Průběžně také dochází k odlučování kyselých plynů. Mokrou metodu lze doplnit i třetím stupněm, který se zařazuje v případě zvýšeného výskytu škodlivých chemických sloučenin. Tato metoda se vyznačuje velmi dobrou účinností, ovšem její provoz je nákladný. [34]

Další komplikací, která je spojena se spalováním materiálů obsažených v tuhém komunálním odpadu, je výskyt takzvaných perzistentních polutantů. Například při hoření látek, které obsahují chlor (polyvinylchlorid) vznikají velmi toxické sloučeniny mezi které se řadí i často zmiňované dioxiny (PCDD a PCDF) a proto je třeba dbát na jejich efektivní zachycení. K tomuto účelu je vyvinuta například adsorpční metoda, selektivní katalytická oxidace dioxinů, nebo katalytická filtrace. [34]

Adsorbční metody využívají sorbenty, které se vyznačují velkým vnitřním povrchem, jako je například aktivní uhlí. [34]

Selektivní katalytická oxidace dioxinů (mnohdy spojena se selektivní katalytickou redukcí) spočívá ve vstřikování amoniaku do spalin, které se pohybují v teplotním rozmezí 250 až 300 °C, což umožní výrazný pokles koncentrace NO_x . Do směsi je přidáván dále také katalyzátor (oxid titaničitý), který je nutný k nastartování samotné oxidační reakce. [34]



Obrázek 17 Elektrostatické odlučovače popílku [46]

5.2.4.1 Čištění spalin v ZEVO Malešice

V ZEVO Malešice je linka čištění spalin složena z takzvané rozprašovací sušárny, filtru, pračky a odlučovače kapek, směšovače spalin, parního ohřívачe spalin a kouřového ventilátoru. Spaliny odcházející z kotle mají teplotu 230 až 270 °C a jsou přiváděny v tangenciálním směru do rozprašovací sušárny. Zde je proti rotačnímu pohybu spalin rozprašována suspenze, která je přiváděna z pračky a absorberu. Dalším bodem je filtrace, kde dochází na základě elektrostatické interakce nabitých ploch filtru s drobnými částicemi, k jejich zachycení a následnému odloučení z proudu plynů. Elektrofiltr je zde sestaven ze tří komor a na výstupu se teplota spalin pohybuje okolo 190 °C. Dalším krokem čištění spalin je takzvaný SCR reaktor, kde dochází ke snížení obsahu oxidů dusíku (NO_x). Do proudu spalin je vstřikována směs močoviny a vody, což spolu s přítomným katalyzátorem, jenž je v reaktoru ve slabé vrstvě

nanesený (často se jedná o platinu nebo paládium), dochází k rozkladu NO_x na samostatný dusík a kyslík. Dalším krokem úpravy spalin je jejich vypírání v takzvané pračce. Spaliny jsou nejdříve před vstupem do pračky ochlazený na teplotu přibližně $80\text{ }^\circ\text{C}$ z důvodu teplotně nerezistentního provedení vnitřku pračky. V samotné pračce dochází k jejich promývání vápennou suspenzí, což vede k odloučení velké části sloučenin vodíku s halovými prvky, těžkých kovů a zbytku prachu. Po prvním vyprání je směs spalin a vápenné suspenze vedena do takzvaného absorbéru, kde dojde k odloučení kapiček a vypírka se provede ještě jednou. Po těchto procesech čištění klesne teplota spalin na přibližně $70\text{ }^\circ\text{C}$, což není příliš výhodné z hlediska jejich schopnosti následného samovolného rozptylu do vnějšího prostředí, proto je zde parní ohřívák, který jejich teplotu znovu zvýší na $110\text{ }^\circ\text{C}$. Nakonec jsou spaliny ventilátorem odváděny do komína. [25]

5.2.5 Komín

V pražské spalovně odpadů je instalovaný téměř 180 metrů vysoký komín. Jeho vnější plášť je tvořen z betonového monolitu, který má průměr při patě téměř 13 metrů. Uvnitř monolitického pláště je keramické pouzdro. V dané výšce jsou umístěny sondy měřících zařízení, která neustále zaznamenávají hodnoty emisí oxidu uhličitého, siřičitého, chlorovodíku a dalších chemických sloučenin jejichž emise do vnějšího prostředí je nutno podle zákona sledovat. Teplota spalin se na výstupu z komína pohybuje okolo $100\text{ }^\circ\text{C}$ a stoupá vzhůru rychlostí přibližně 10 m/s . [25]

5.3 Problematika využívání odpadů jako paliva

Hlavním problémem, který je spojen se spalováním odpadu je nekonzistentnost v jeho energetické výdajnosti (výhřevnosti), dále poměrně významný obsah nespalitelných složek a mnohdy vysoký podíl vody. Jako palivo je sice komunální odpad snadno přístupný a je produkován téměř kontinuálně, ale vzhledem k jeho charakteristickým vlastnostem s ním nelze zacházet tak snadno jako například s hnědým uhlím. Je to dáno jeho nestabilitou, která je způsobena různými chemickými procesy neustále probíhajícími v biologických materiálech, které komunální odpad bohužel nevyhnutelně obsahuje. S tím souvisí i velká míra plynných chemických sloučenin, které se z odpadu uvolňují, což se projevuje výrazným zápachem. Je tedy nutné odpad skladovat v budovách/místnostech, které jsou vybaveny příslušnou technologií, která úniku těchto sloučenin zamezí. Jak již bylo zmíněno, technologie, které jsou schopny vypořádat se těmito negativními faktory již v provozu jsou. Jejich spolehlivost je však vykoupena nižší účinností, a tedy i nižším nominálním elektrickým nebo tepelným výkonem celého zařízení. Vysoký obsah nespalitelných složek v palivu se projevuje i na objemu odcházející škváry a popela. Spalovny jsou tedy z pravidla vybaveny sofistikovaným systémem separace kovů a jiných neshořelých hrubých materiálů z odcházející škváry. Ta je vzhledem k chemickým procesům spojeným se spalováním umělých hmot značně toxická a musí s ní být zacházeno jako s nebezpečným odpadem. Při postupu odpadu spalovací komorou se například může stát, že umělohmotné pytle s vlhkým obsahem nejsou schopny kompletně prohořet a následně pak neprostoupí dalšími stanovišti, což způsobí zablokování celého systému. Nelze také opomenout velmi potřebnou kvalitní technologii čištění vznikajících spalin.

5.4 Základní rozdíly mezi ZEVO a konvenční tepelnou elektrárnou

Velmi často používaným palivem v tepelných elektrárnách je hnědé uhlí. Uhlí je na rozdíl od tuhého odpadu pro naše životní prostředí prakticky nezávadné (myšleno v nespáleném stavu). Není potřeba tedy používat uzavřené nádoby nebo podtlakové bunkry pro jeho skladování. Zde se ukazuje výhoda například v tom, že uhlí lze volně skladovat v areálu elektrárny/teplárny jednoduše na hromadách.

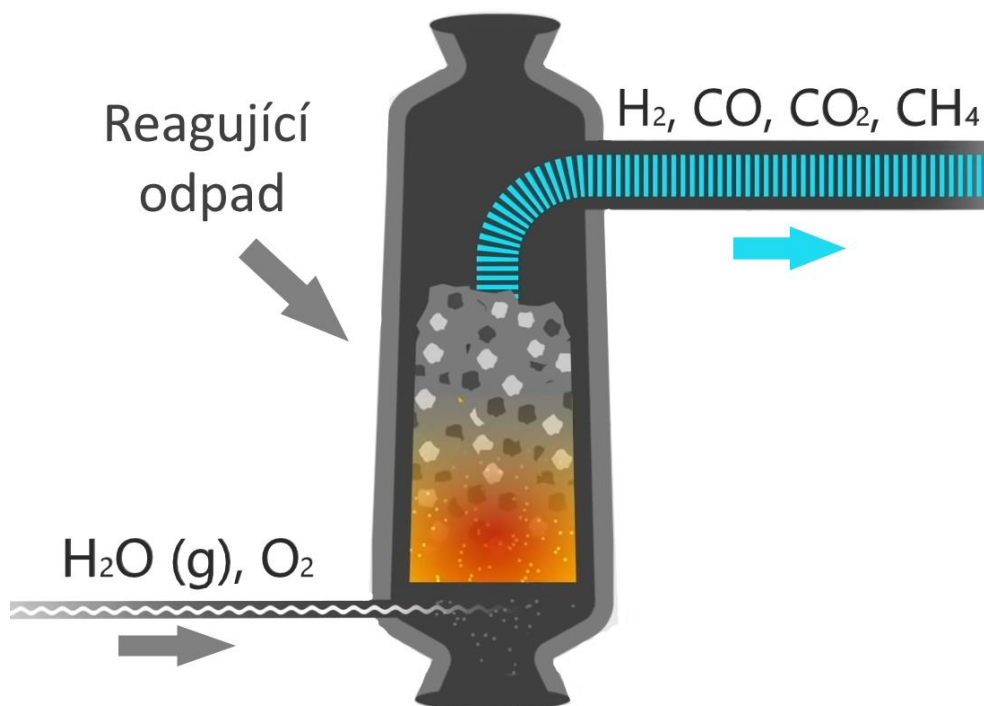
Uhlí je z hlediska výhřevnosti mnohem více stabilní a lze ho tedy spalovat i v zařízeních, která využívají technologie, které jsou z principu citlivé na výkyvy poměru paliva a spalovacího vzduchu. Proto jsou také uzavírány dlouhodobé smlouvy o odběru uhlí, mezi důlními společnostmi a provozovateli elektráren, neboť je potřeba aby kotel spaloval pouze uhlí z jednoho naleziště a byla tak zajištěna určitá stabilita v jeho kvalitě. Tyto technologie dovolují dosahovat většího využití potenciální energie paliva, s čímž je spojen i nárůst celkového výkonu. Často používaná jsou například prášková ohniště, do kterých je palivo vháněno ve formě prášku za pomoci spalovacího vzduchu. Uhlí je před vstupem do ohniště upravováno (sušeno a mleto), zatímco spalovny komunálního odpadu jsou schopny přijímat a zpracovávat odpad přímo v surové podobě. Nárůstem účinnosti oproti spalovnám odpadu je podmíněn také nárůst výkonu parního kotle. Větší množství páry pak vyžaduje i větší turbínu. Velký hmotnostní průtok páry a jeho energetický potenciál už ovšem nelze snadno využít jediným turbostrojem. Přichází tedy rozdělení na vysokotlaké a nízkotlaké turbíny, systémy přehřívání a regenerace atd. Všechny tyto technologie a vylepšení nelze s valným využitím uplatnit v malých měřítkách do kterých stále spadají právě ZEVO. Zvyšování účinnosti se pohybuje v řádu procent a drahé vstupní investice jsou rentabilní, až u větších výkonů (řádově stovky megawatt). Nastupuje také potřeba účinnějšího chlazení kondenzátorových výměníků, a proto je potřeba připojit i chladicí okruh již s vodou chlazenými věžemi. V případě uhelných elektráren je při čištění spalin kladen důraz především na jejich odsířování a snižování obsahu oxidů dusíku.

6 Ostatní způsoby energetického využívání odpadů

Tato práce dosud pojednávala převážně o problematice přímého oxidačního spalování komunálních odpadů, což je stále nejvíce využívaným principem tepelného zpracování odpadů. Existují však i odlišné způsoby, které zatím nejsou v praxi uplatňovány ve stejném měřítku jako jsou například ZEVO s přímým spalováním. V této kapitole jsou tedy uvedeny některé odlišné chemické principy, které mohou být v budoucnu častěji a více uplatňovány.

6.1 Zplyňování odpadů

Při procesu zplyňování je odpad vystaven vysokému tlaku a teplotě, což postupně vede k jeho rozkladu (především organických složek) a uvolňování směsi různých plynů. Tyto podmínky jsou vytvářeny v takzvaném zplyňovacím reaktoru, kde se teplota pohybuje mezi 1200 °C až 1500 °C. V kombinaci s omezeným množstvím dostupného vzdušného kyslíku prochází odpad takzvaným termickým rozkladem. Uvolňující se směs plynů (vodík, oxid uhelnatý, oxid uhličitý, metan) je z prostoru reaktoru odváděna k procesu čištění, a nakonec je stlačována do tlakových nádob. Takto vzniklý plyn může být vyžíván například jako palivo pro velké lodní motory, které pomocí připojeného elektrického generátoru umožní vyrábět elektřinu. Jeho využití je však širší, neboť kromě výroby paliv ho lze použít také k výrobě různých chemikálií nebo jiných dále průmyslově využitelných surovin. V podstatě je zplyňování odpadu speciálním případem pyrolýzy, která bude vysvětlena v dalším bodě. Výhodou oproti běžnému spalování odpadu, je například výrazně nižší produkce nebezpečných chemických sloučenin (např. dioxiny). [40]

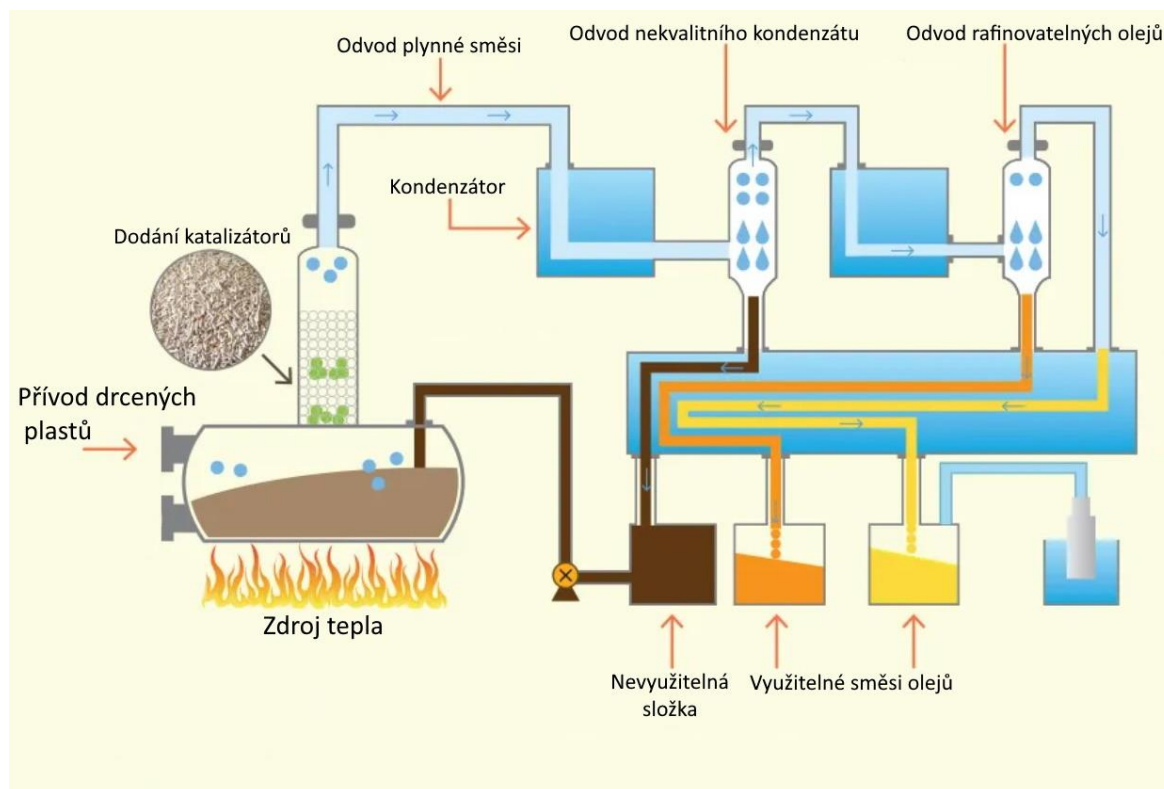


Obrázek 18 Schéma zplyňovacího reaktoru [40]

6.2 Aplikace procesu pyrolýzy

Podobně jako v případě zplyňování, je odpad umístěn do reaktoru s omezeným přístupem vzdušného kyslíku, ve kterém je udržována vysoká teplota (400 až 800 °C) a tlak. Termický rozklad sloučenin, který uvnitř probíhá však kromě směsi plynů produkuje také kapalně a pevné produkty. Vznikající kapalně produkty mohou být dále použity k výrobě chemikálií nebo paliv. Příkladem využitelných pevných produktů pyrolýzy jsou uhlíkové zbytky, které mohou být dále zpracovávány na aktivní uhlí, nebo použity k výrobě uhlíkových vláken. [40]

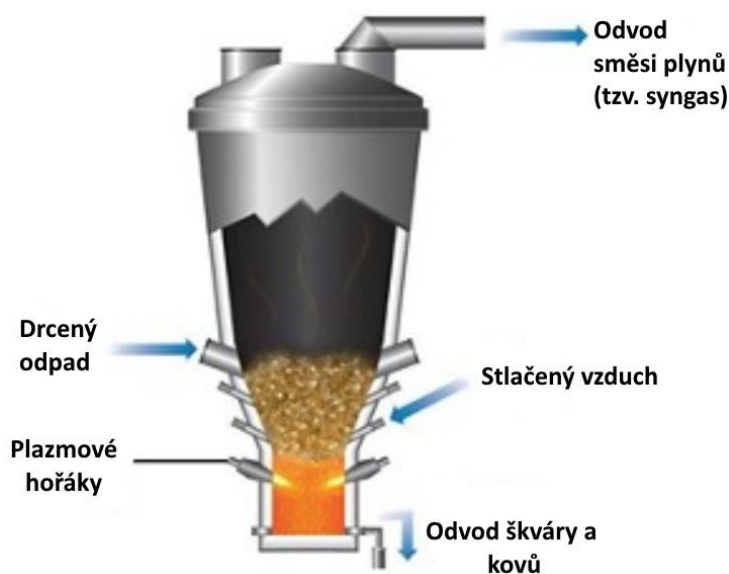
Princip pyrolýzy se velmi hodí ke zpracovávání odpadních plastů. Plasty jsou produktem rafinačních a polymerizačních procesů ropy a do určité míry je možné je nechat projít takovýmto reverzním procesem na jehož konci je opět látka s širokým využitím a potenciálem jako má ropa. Při zahřívání rozdrčeného plastu v komoře reaktoru dochází nejprve k tání a posléze vypařování plynů (musí být přítomné katalyzátory (uhelný prach, minerál zeolit), které po průchodu kondenzátorem vytvoří směs olejů. Takto vzniklá kapalina dále prochází rafinací a čištěním. Výsledným produktem rafinace je: 80% topný olej, 15% směs plynů, 5% černý uhlík. Směs hořlavých plynů je znovu využita v samotném zařízení k zahřívání komory reaktoru. Nevýhodou procesu pyrolýzy je poměrně vysoká energetická náročnost. [55]



Obrázek 19 Schéma procesu pyrolýzy plastového odpadu [47]

6.3 Plazmové zplyňování odpadu

Při tomto procesu je odpad opět umístěn do reaktoru, který je vybaven elektrodami, které dokážou silně ionizovat plyn uvnitř reaktoru, což umožní vznik plazmy. Plazma dosahuje velmi vysokých teplot což umožňuje rozpad různých materiálů obsažených v odpadu na samostatné prvky, nejčastěji v plynné podobě. Sloučeniny, které jsou na tolik chemicky odolné zůstávají v pevném stavu na dně reaktoru a jsou postupně odváděny pryč. Odpad je nutné v tomto případě před samotnou reakcí rozdrtit a upravit ho na přijatelnou konzistenci. Rozdrcený odpad je postupně dávkován do reaktoru a uvnitř se vyskytující plazma s nově přichozím palivem reaguje, zahřívá ho a rozkládá na směs plynů a popel. Vzniklé plyny jsou opět, stejně jako u předchozích způsobů uchovávány a posléze využívány, například k energetickým účelům (výroba elektřiny a tepla), zatímco vzniklou škváru lze využít například jako stavební materiál. Nevýhodou této plazmové technologie je vysoká energetická a finanční náročnost. [40]



Obrázek 20 Schéma plazmového reaktoru [48]

6.4 Nízkoteplotní procesy energetického využívání odpadů

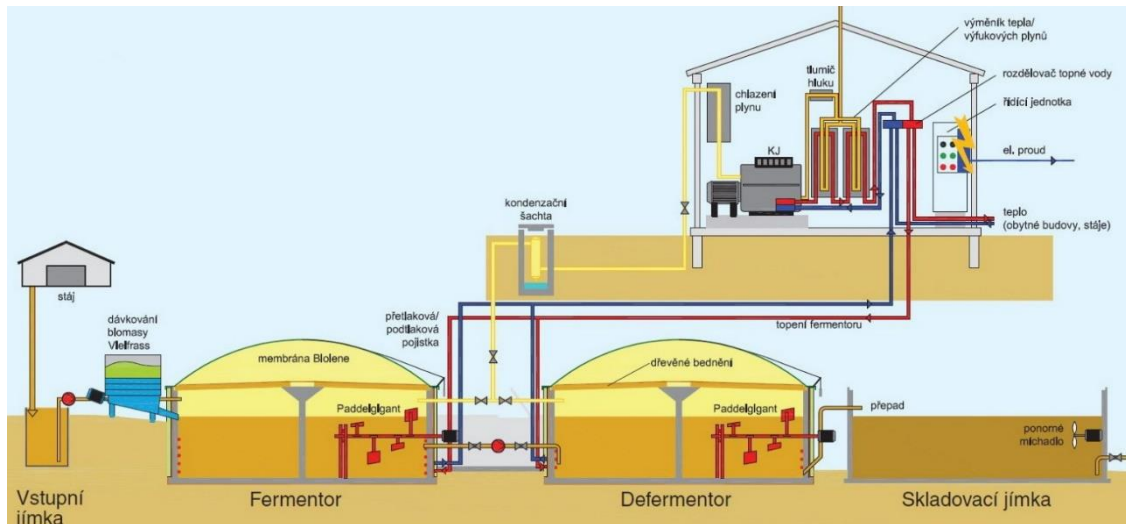
Mezi nízkoteplotní procesy energetického využívání odpadů lze zařadit i soubor různých biochemických procesů, které jsou aplikovatelné především na organickou složku komunálního odpadu. Organické látky za přítomnosti metanových bakterií fermentují a produkují hořlavé plyny. Tato anaerobní fermentace se skládá z několika na sebe navazujících fyzikálních, chemických a biologických procesů na jejímž konci stojí jednak zbytkový fermentovaný materiál a také bioplyn. Proces probíhá za relativně nízkých teplot (0 až 70 °C) a není doprovázen uvolňujícím se teplem, ale plynným metanem, oxidem uhličitým a vodou. [56]

Proces fermentace lze rozdělit na čtyři základní fáze:

- 1) Při **hydrolýze** je v digesteru ještě hojně přítomný kyslík a poměrně velká vlhkost. Mikroorganismy, které přítomnost kyslíku tolerují, provádějí rozklad polymerů na monomery (ze složitějších na jednodušší organické látky).
- 2) Ve fázi **acidogeneze** dojde v digesteru vzdušný kyslík a nastává tak anaerobní prostředí. Tuto změnu provází mikroorganismy, které přežívají v obou typech prostředí.

- 3) Při následující **acetogenezi** dochází k přeměně vyšších organických kyselin na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík.
- 4) Při konečné **metanogenezi** rozkládají různé typy mikroorganismů kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý. Jiné kmeny mikroorganismů zas dokážou produkovat metan z oxidu uhličitého a vodíku.

Existuje i takzvaná dvoustupňová varianta fermentace, při které je možné dosáhnout výrazně vyššího podílu hořlavého metanu. Produkovaný bioplyn lze posléze využívat k vytápění, přímému spalování, k výrobě elektřiny a eventuálně i k zásobování rozvodných sítí se zemním plynem. [56]



Obrázek 21 Schéma bioplynové stanice [49]

7 Závěr

V úvodní části textu je nastíněna globální situace týkající se odpadového hospodářství, formou shrnutí současné situace v jednotlivých světových regionech. Tato podkapitola je rovněž rozčleněna na úseky pojednávající zvláště o vyspělých a rozvojových zemích světa a poskytuje tedy jednoduché porovnání jejich přístupů k nakládání s odpady. Další část druhé kapitoly je více zaměřena na energetické využívání odpadu v těchto světových regionech a zároveň jsou zde uvedeny příklady některých nově budovaných zařízení určených k energetickému využívání odpadů.

Následující třetí kapitola pojednává o aktuální situaci týkající se odpadového hospodářství v České republice a je zde číselně představena produkce, složení a zastoupení jednotlivých způsobů nakládání s odpady. Dále je zde shrnuta aktuální situace týkající se energetického využívání odpadu v České republice, včetně hrubého nastínění státní energetické koncepce a aktuálního přehledu státních energetických zdrojů. Na závěr této kapitoly je uveden pravděpodobný vývoj České republiky v oblasti energetického využívání odpadů a jsou zde zmíněny plánované projekty spojené s rozšiřováním činností energetického využívání odpadů.

Čtvrtá kapitola je zaměřena na ohodnocení energetického využívání odpadu z ekologického a ekonomického hlediska. Popisuje základní ekologické vlivy energetických zařízení spalujících komunální odpad, které jsou porovnány s dopady běžného skládkování odpadů. Čtvrtou kapitolu uzavírá krátké zamyšlení nad vlivy restrikcí v oblasti skládkování odpadů na odpadové hospodářství v Evropské unii.

Pátá kapitola se věnuje popisu fungování celého zařízení určeného k energetickému využívání odpadu. Popisuje jednotlivé důležité části zařízení, bez kterých by nebylo možné spalovat palivo s takto specifickými charakteristikami jako je neupravovaný komunální odpad. Další bod kapitoly je zaměřen na popis základních principů fungování parní turbíny, bez které by výroba elektrické energie nebyla vůbec možná. Další část navazuje popisem procesu čištění spalin, kde jsou vysvětleny chemické principy neutralizace velice škodlivých sloučenin vznikajících při spalování. Kapitola pět je uzavřena shrnutím problematiky využívání odpadu jako paliva a zároveň poskytuje výčet několika základních rozdílů mezi spalovnou odpadu a konvenční tepelnou elektrárnou.

Poslední kapitola této práce pojednává o dalších možných zajímavých způsobech energetického využívání odpadu, které zatím nejsou uplatňovány v takové míře jako právě přímé spalování komunálního odpadu. Píše se zde například o procesech zplyňování odpadů, pyrolýze plastů nebo o principu získávání hořlavých plynů z biomasy, které mají obdobný potenciál širokého využití jako zemní plyn. Jsou zde vysvětleny základní principy fungování těchto variant spolu s příslušnými schématy a popisy daných procesů.

Seznam použitých zdrojů

- [1] KHAN, Afzal Husain, Eduardo Alberto LÓPEZ-MALDONADO, Shah Saud ALAM, et al. Municipal solid waste generation and the current state of waste-to-energy potential: State of art review. *Energy Conversion and Management* [online]. 2022, **267** [cit. 2022-10-26]. ISSN 01968904. Dostupné z: doi:10.1016/j.enconman.2022.115905
- [2] National Overview: Facts and Figures on Materials, Wastes and Recycling. *EPA: United States Environmental Protection Agency* [online]. Washington: Office of Resource Conservation and Recovery, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/facts-and-figures-about-materials-waste-and-recycling/national-overview-facts-and-figures-materials#NationalPicture>
- [3] Nakládání s odpadem v EU: fakta a čísla. *Evropský Parlament: Zpravodajství* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180328STO00751/nakladani-s-odpadem-v-eu-fakta-a-cisla-infografika>
- [4] Solid Waste Management and Recycling Technology of Japan — Toward a Sustainable Society Toward a Sustainable Society —. Ministry of the Environment [online]. Tokio: Ministry of the Environment, 2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.env.go.jp/content/900453393.pdf>
- [5] AMEMIYA, Takashi. Current State and Trend of Waste and Recycling in Japan. *International Journal of Earth & Environmental Sciences* [online]. 2018, 3(2) [cit. 2022-10-26]. ISSN 2456351X. Dostupné z: doi:10.15344/2456-351X/2018/155
- [6] Waste to Energy: Considerations for Informed Decision-making. *UN Environment* [online]. Osaka: United Nations Environment Programme, 2019 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.unep.org/ietc/resources/publication/waste-energy-considerations-informed-decision-making>
- [7] One of the world's most advanced Waste-to-Energy plants. SYSAV [online]. Malmö: Sysav, 2021 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.sysav.se/en/The-Waste-to-Energy-plant/>
- [8] Spittelau waste incineration plant. Wien Energie positionen [online]. Vídeň: Wien Energie, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://positionen.wienenergie.at/en/projects/spittelau-waste-incineration-plant/>
- [9] AVG – die durchsatzstärkste Müllverbrennungsanlage Deutschlands in Köln. Superlative - Made in Germany [online]. Hamburg: Superlative - Made in Germany, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://blog.superlative-made-in-germany.de/avg-die-durchsatzstaerkste-muellverbrennungsanlage-deutschlands-in-koeln/>
- [10] New Publication – Waste-to-Energy and Social Acceptance: Copenhill WtE plant in Copenhagen. IEA Bioenergy [online]. Kodaň: IEA Bioenergy, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.ieabioenergy.com/blog/publications/new-publication-waste-to-energy-and-social-acceptance-copenhill-wte-plant-in-copenhagen/>

- [11] Project Pipeline. Waste to Energy International [online]. Tallinn: Waste to Energy International, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://wteinternational.com/about/project-pipeline/>
- [12] KVA BASEL. IWB [online]. IWB [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.iwb.ch/servicecenter/kehrichtverwertungsanlage/ueber-die-kva-basel>
- [13] Construction of a new waste-to-energy facility. Vinci [online]. Nanterre Cedex: Vinci, 2019 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: https://www.vinci.com/vinci.nsf/en/news-update/pages/construction_of_a_new_waste_to_energy_facility_switzerland_112019.htm
- [14] Shenzhen Energy Ring. <https://www.shl.dk/> [online]. Malmö: Schmidt Hammer Lassen Architects, 2019 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.shl.dk/shenzhen-east-waste-to-energy-plant/>
- [15] World's largest waste-to-energy project in Dubai is 85 percent complete. ArabianBusiness [online]. ArabianBusiness, 2022 [cit. 2022-10-26]. Dostupné z: <https://www.arabianbusiness.com/industries/construction/worlds-largest-waste-to-energy-project-in-dubai-is-85-percent-complete>
- [16] Vodní díla a nádrže. Povodí Vltavy [online]. Praha: Povodí Vltavy, státní podnik, c2023 [cit. 2023-05-07]. Dostupné z: <https://www.pvl.cz/vodohospodarske-informace/vodni-dila/vodni-dila-a-nadrze>
- [17] Odpadové hospodářství. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2021 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi
- [18] Cirkulární ekonomika. *Pražská mise nulové emise* [online]. Praha, 2022 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: <https://klima.praha.eu/cs/cirkularni-ekonomika.html>
- [19] Odpady. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2020 [cit. 2022-10-27]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/odpady_podrubrika
- [20] Podklady pro oblast podpory odpadového a oběhového hospodářství OPŽP 2021–2027 Energetické využití odpadů. Ministerstvo životního prostředí [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, c2008-2023, 29. 5. 2020 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/\\$FILE/OODP-4_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/$FILE/OODP-4_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf)
- [21] DARGO BEYENE, Hayelom, Teklit Gebregiorgis AMBAYE a Adhena WERKNEH. Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus* [online]. 2018, 24., 1-4 [cit. 2023-02-04]. Dostupné z: doi:10.1016
- [22] RAND, T., J. HAUKOHL a U. MARXEN. Municipal solid waste incineration : a decision maker's guide (English). Washington, D.C. [online]. Washington, D.C.: World Bank Group, 2000, 3-30 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <http://documents.worldbank.org/curated/en/206371468740203078/Municipal-solid-waste-incineration-a-decision-makers-guide>

- [23] prof. Ing. BEČVÁŘ, Josef. Tepelné turbíny. Praha: SNTL, 1968, 548 s.
- [24] Princip. ZEVO PLZEŇ [online]. Plzeňská teplárenská a.s. - ZEVO Plzeň, [2017] [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/princip>
- [25] Princip technologie ZEVO. Pražské služby [online]. Praha: Pražské služby, c2019 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/princip-technologie-zevo>
- [26] Energetické využití odpadu. SAKO Brno [online]. Brno: SAKO Brno, c2018 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/#vyhody>
- [27] Brochures. Martin [online]. Mnichov: MARTIN, [2022] [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.martingmbh.de/en/technologies-2.html>
- [28] POLACH, Vladislav. Parní kotle. In: *Katedra energetických strojů a zařízení* [online]. Plzeň: Fakulta strojní Západočeské univerzity v Plzni, c1991-2018 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: https://kce.zcu.cz/export/sites/kce/about/projekty/enazp/projekty/01_Stavba-a-provoz-stroju_1-3/1_IUT/005_Parn-kotle---Polach---P0.pdf
- [29] Energetika z blízka: Parní turbína – fyzikální principy. Svět energie [online]. Praha: Simopt, c2020 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/parni-turbina/fyzikalni-principy>
- [30] Siemens Steam Turbine SST-300. SIEMENS ENERGY [online]. Siemens Energy, c2020-2023, 2018 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://assets.siemens-energy.com/siemens/assets/api/uuid:07137baa-e796-4876-b99b-8a056835cb3e/sst-300-interactivepraes.pdf>
- [31] Plzeňský Doosan exportuje své turbíny z 90 procent do desítek zemí světa. Průmysl Dnes [online]. c2023, 08.12.2022 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.prumysldnes.cz/strojirenstvi/plzensky-doosan-exportuje-sve-turbiny-z-90-procent-do-desitek-zemi-sveta-221207>
- [32] Doosan Škoda Power vyrobila turbogenerátor pro moderní britskou spalovnu Newhurst. Ekonomický deník [online]. Media Network, [2023], 23.1.2021 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://ekonomickydenik.cz/doosan-skoda-power-vyrobila-turbogenerator-pro-modertni-britskou-spalovnu-newhurst/>
- [33] Energetika z blízka: Elektrický generátor. Svět energie [online]. Simpot, c2020 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/elektricky-generator/vyklad>
- [34] Technologie čištění spalin po spalování odpadu [online]. Praha 6: Ústav energetiky – ČVUT, 2018, 13.4.2018, 1-6 [cit. 2023-02-05]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/2018/06/ELO-pr8.pdf>

[35] Inventory of U.S. Greenhouse Gas Emissions and Sinks: 1990-2019. U.S. Environmental Protection Agency [online]. Washington, DC: United States Environmental Protection Agency, [2023] [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-04/documents/us-ghg-inventory-2021-chapter-executive-summary.pdf>

[36] Informace o zařízeních pro tepelné zpracování odpadu za rok 2021. Český hydrometeorologický ústav [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, c2022 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/incinerators/index_CZ.html

[37] Municipal Solid Waste Landfills. U.S. Environmental Protection Agency [online]. Washington: U.S. Environmental Protection Agency, 2022 [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/landfills/municipal-solid-waste-landfills#whatis>

[38] STÁTNÍ ENERGETICKÁ KONCEPCE ČESKÉ REPUBLIKY. Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Praha: Ministerstvo průmyslu a obchodu, c2005-2023, prosinec 2014 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/dokumenty/52841/60959/636207/priloha006.pdf>

[39] ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ELEKTRIZAČNÍ SOUSTAVY ČR PRO ROK 2021. Energetický regulační úřad [online]. Jihlava: Energetický regulační úřad, c2023 [cit. 2023-02-19]. Dostupné z: <https://www.eru.cz/rocni-zprava-o-provozu-elektrizacni-soustavy-cr-pro-rok-2021>

[40] Current updates on waste to energy (WtE) technologies: a review. *Renewable Energy Focus* [online]. 2018, 2-3 [cit. 2023-02-22]. Dostupné z: doi:10.1016/j.ref.2017.11.001

[41] ŠKOPEK, Jan. TEPELNÉ TURBÍNY A TURBOKOMPRESORY. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. ISBN 978-80-7043-862-6.s

[42] Travelling Grate. SARETCO [online]. Saretco, c2018 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <http://www.saretco.com/travelling-grate/index.html>

[43] TECHNOLOGIES. MARTIN [online]. Munich: MARTIN, 2023 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.martingmbh.de/en/waste-to-energy.html#technologies>

[44] YLINIEMI, Juho. *ALKALI ACTIVATION-GRANULATION OF FLUIDIZED BED COMBUSTION FLY ASHES* [online]. Oulu: UNIVERSITY OF OULU, 2017 [cit. 2023-04-11]. ISBN ISSN 1796-2226. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/323848125_Alkali_activation-granulation_of_fluidized_bed_combustion_fly_ashes

[45] Elektrický generátor. Svět energie [online]. Praha: Skupina ČEZ, c2020 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/elektricky-generator/vyklad>

[46] Odlučovač popílku. Svět energie [online]. Praha: Skupina ČEZ, c2020 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.svetenergie.cz/cz/energetika-zblizka/uhelne-elektrarny/uhelna-elektrarna-podrobne/odlucovac-popilku/vyklad>

[47] Can We Convert Plastic Waste to Petroleum?. Ecoideaz [online]. Ecoideaz, c2022 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.ecoideaz.com/innovative-green-ideas/convert-plastic-waste-to-petroleum>

[48] Tasíme proti odpadu plazmové zplyňování?. Technický týdeník [online]. Praha: Bussines Media CZ, 2016 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/veda-vyzkum-inovace/tasime-proti-odpadu-plazmove-zplynovani_38364.html

[49] Schéma bioplynové stanice. SUNFIN [online]. Praha: SUNFIN, c2021 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: <https://www.sunfin.cz/file/schema-bioplynovy-stanice.png?1535863982900>

[50] Data and statistics. IEA [online]. Paris: IEA, c2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.iea.org/data-and-statistics/data-sets/?filter=emissions>

[51] Platná právní norma [online]. [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/main_topic.xsp?documentId=ae682a6b5e42e986c1257ba60025d8b5

[52] Economics of the health implications of waste management in the context of a circular economy. World Health Organization [online]. Switzerland: World Health Organization, c2023 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://apps.who.int/iris/rest/bitstreams/1487596/retrieve>

[53] Uhlíková neutralita. Dosáhneme jí do roku 2050?. Zpravodajství - Evropský parlament [online]. Praha: Evropský parlament, 2022 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20190926STO62270/uhlikova-neutralita-dosahneme-ji-do-roku-2050>

[54] Miliardy z EU nepomohly, odpad končí v Česku stále na skládkách. Česká televize [online]. Praha: Česká televize, 2022 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/3499723-nakladani-s-odpady-se-v-cesku-nemeni-dal-prevlada-nevhodne-skladkovani-uvvedl-nku>

[55] SHARUDDIN, Dayana. In: Energy Conversion and Management [online]. 2016, s. 308-326 [cit. 2023-04-12]. ISBN ISSN 0196-8904. Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2016.02.037>.

[56] Bioplyn – Energie ze zemědělství. BIOM [online]. Praha: České sdružení pro biomasu, 2005 [cit. 2023-04-12]. Dostupné z: https://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/bioplyn_energie_ze_zemedelstvi.pdf