



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU V ČR

WASTE-TO-ENERGY IN THE CZECH REPUBLIC

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jaroslav Rajkovič

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Lachman

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Jaroslav Rajkovič**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Lachman**
Akademický rok: 2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití komunálního odpadu v ČR

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Energetické využití odpadů je s ohledem na plán odpadového hospodářství ČR stále aktuálnější téma. Spalováním odpadu se šetří primární paliva, výrazně se snižuje množství skládkovaného odpadu a tím i ekologická zátěž. Při spalování však vzniká celá řada škodlivých látek a vedlejších produktů, s kterými je třeba dále bezpečně nakládat.

Cíle bakalářské práce:

- Zhodnotit současný stav energetického využití odpadu v ČR.
- Vypracovat přehled plánovaných projektů ZEVO.
- Porovnat technologii nových zařízení se stávajícími.
- Zhodnotit plnění Plánu odpadového hospodářství ČR.

Seznam doporučené literatury:

KREITH, Frank a George TCHOBANOGLOUS. Handbook of solid waste management. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2002. ISBN 00-713-5623-1.

FIEDOR, Jiří. Odpadové hospodářství I: učební text. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2573-1.

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na energetické využití komunálního v České republice. Popisuje produkci komunálního odpadu v ČR, vliv složení odpadu na spalovací proces a princip technologie spalování. Největší pozornost je věnována současným zařízením na energetické využití odpadů v ČR a novým plánovaným projektům. V poslední části práce je zhodnoceno plnění cílů Plánu odpadového hospodářství ČR.

Klíčová slova

Komunální odpad, energetické využití odpadu, ZEVO, Plán odpadového hospodářství

ABSTRACT

This bachelor's thesis is focused on Waste-to-Energy process of municipal waste in the Czech republic. It describes production of municipal waste in the Czech republic, influence of waste composition on burning process and principle of incineration technology. The largest attention is paid to current Waste-to-Energy plants in the Czech republic and new planned projects. Last part of the thesis evaluates fulfilment of Waste management plan of the Czech republic goals.

Key words

Municipal waste, Waste-to-Energy, WtE plant, Waste management plan

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

RAJKOVIČ, Jaroslav. *Energetické využití komunálního odpadu v ČR*. Brno, 2020. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124642>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jakub Lachman.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem *bakalářskou* práci na téma **Energetické využití komunálního odpadu v ČR** vypracoval(a) samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Jméno a příjmení

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Jakobovi Lachmanovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování závěrečné práce.

OBSAH

ÚVOD	11
1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V ČR	12
1.1 Definice základních pojmů a zákon o odpadech	12
1.2 Produkce komunálního odpadu v České republice	12
1.3 Skladba komunálního odpadu	13
2 SPALOVÁNÍ ODPADU	17
2.1 Princip spalování	17
2.2 Spalovací zařízení	18
2.2.1 Roštové kotle	18
2.3 Produkty vznikající při spalování odpadu	21
2.3.1 Produkty pevného skupenství	21
2.3.2 Produkty plynného skupenství	22
2.3.3 Produkty kapalného skupenství	24
3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ	25
3.1 Princip ZEVO	26
3.2 Přehled současných ZEVO v České republice	30
3.2.1 ZEVO Praha Malešice	30
3.2.2 SAKO Brno	30
3.2.3 TERMIZO Liberec	31
3.2.4 ZEVO Chotíkov u Plzně	31
3.3 Srovnání ZEVO v ČR	32
3.4 Plánované projekty ZEVO v ČR	33
3.4.1 ZEVO Komořany	34
3.4.2 ZEVO Mělník	34
3.4.3 ZEVO Opatovice nad Labem	35
3.4.4 ZEVO Planá nad Lužnicí	36
3.5 Porovnání technologie, problémy při výstavbě a možnosti jejich řešení	36
4 PLÁN ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR	38
4.1 Cíle POH ČR	38
4.2 Zhodnocení plnění cílů POH ČR	38
ZÁVĚR	41
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	42
SEZNAM GRAFŮ	47
SEZNAM OBRÁZKŮ	48
SEZNAM TABULEK	49

ÚVOD

Vzhledem ke každoročnímu růstu produkce komunálního odpadu v ČR je energetické využití odpadů stále aktuálnější téma. Plán odpadového hospodářství ČR počítá se zásadním omezením skládkování a od roku 2024 úplně zakazuje skládkování využitelných komunálních odpadů. Zároveň podporuje budování infrastruktury, která je potřebná k zajištění a zvýšení energetického využití odpadů. [3, 8]

Výstavba nových zařízení na energetické využití odpadů (ZEVO) však velmi často naráží na odpor ze strany veřejnosti či ekologických organizací. Energetické využití odpadů je ovšem díky moderním technologiím velmi ekologickou metodou zpracování odpadu. Spalováním odpadu lze získat energii, na jejíž výrobu by jinak musela být použita fosilní paliva. Po spalování je také výrazně snížen objem odpadu a celý proces je pod nepřetržitým dohledem. Spaliny procházejí několikastupňovým čištěním, než jsou vypuštěny od ovzduší, čímž dochází k minimalizaci obsahu škodlivin. [9]

V první kapitole se práce zabývá produkcí komunálního odpadu v ČR, skladbou komunálního odpadu a rozdíly ve skladbě v rozdílných typech zástavby. Dále je posouzen vliv skladby odpadu na spalovací proces. Okrajově je také zmíněna příslušná legislativa zabývající se odpady.

Druhá kapitola slouží jako úvod do technologie spalování, kterou všechna ZEVO v ČR používají. Po vysvětlení základních principů jsou popsány nejpoužívanější typy roštů a vedlejší produkty, které při spalování vznikají. Vysvětleny jsou i základní metody čištění spalin.

Na první dvě kapitoly přímo navazuje nejobsáhlejší třetí kapitola, která se již zabývá samotným energetickým využitím komunálního odpadu (EVO). Po zařazení EVO do hierarchie nakládání s odpady jsou uvedeny výhody a nevýhody této metody. Následuje detailní popis fungování celého zařízení, který je ilustrován na brněnském ZEVO. Poté je provedeno srovnání všech v současnosti fungujících zařízení. Dále se kapitola věnuje plánovaným projektům nových zařízení, porovnává technologii těchto zařízení se současnými a analyzuje problémy při výstavbě.

Poslední kapitola se zabývá Plánem odpadového hospodářství ČR. Z oficiálních dokumentů Ministerstva životního prostředí jsou vybrány cíle, které úzce souvisí s energetickým využitím odpadů. Poté je provedeno zhodnocení plnění těchto cílů a posouzení, zdali je reálné některé cíle do uvedeného data splnit.

1 NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V ČR

1.1 Definice základních pojmů a zákon o odpadech

Odpady se v České republice zabývá zákon č. 185/2001 Sb., celým názvem Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů. Předmětem tohoto zákona je zpracování příslušných předpisů Evropské unie (směrnice Evropské rady a parlamentu týkající se životního prostředí a nakládání s odpady) a úprava:

- a) pravidel pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi,
- b) práv a povinností osob působících v odpadovém hospodářství a
- c) působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství.

Zákon se vztahuje na nakládání se všemi odpady, až na několik výjimek, mezi které patří například odpadní vody, radioaktivní odpad nebo vyřazené výbušniny a střelivo. [2]

Podle §3 toho zákona je odpad definován následujícím způsobem:

„Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“

Důležité je zmínit, že pokud movitá věc, která vznikla při výrobě, jejímž původním cílem nebyla výroba nebo získání této věci, se nepovažuje za odpad, ale za tzv. vedlejší produkt, pokud splňuje určité podmínky. Vedlejší produkt musí vznikat jako nedílná součást výroby a jeho další využití je zajištěno v souladu s příslušnými právními předpisy (například zákon č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky) a nepovede k nepříznivým účinkům na lidské zdraví či životní prostředí. [2]

Pokud byl odpad předmětem některého ze způsobů využití, z legislativního hlediska přestává být odpadem, pokud se věc běžně využívá ke konkrétním účelům a existuje pro ni nabídka a poptávka. Tato věc však musí splňovat technické požadavky (stanovené právními předpisy či normami), její využití je v souladu se zákonem a nebude mít nepříznivé vlivy na lidské zdraví nebo životní prostředí. Jestliže jsou pro danou věc předpisy Evropské unie stanoveny i zvláštní kritéria, musí je splňovat. [2]

Komunální odpad je definován takto:

„Komunální odpad je veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.“

Odpadem podobným komunálnímu odpadu rozumíme veškerý odpad, který vzniká na území obce činností právnických nebo fyzických osob oprávněných k podnikání. V Katalogu odpadů je uveden jako komunální. [2]

1.2 Produkce komunálního odpadu v České republice

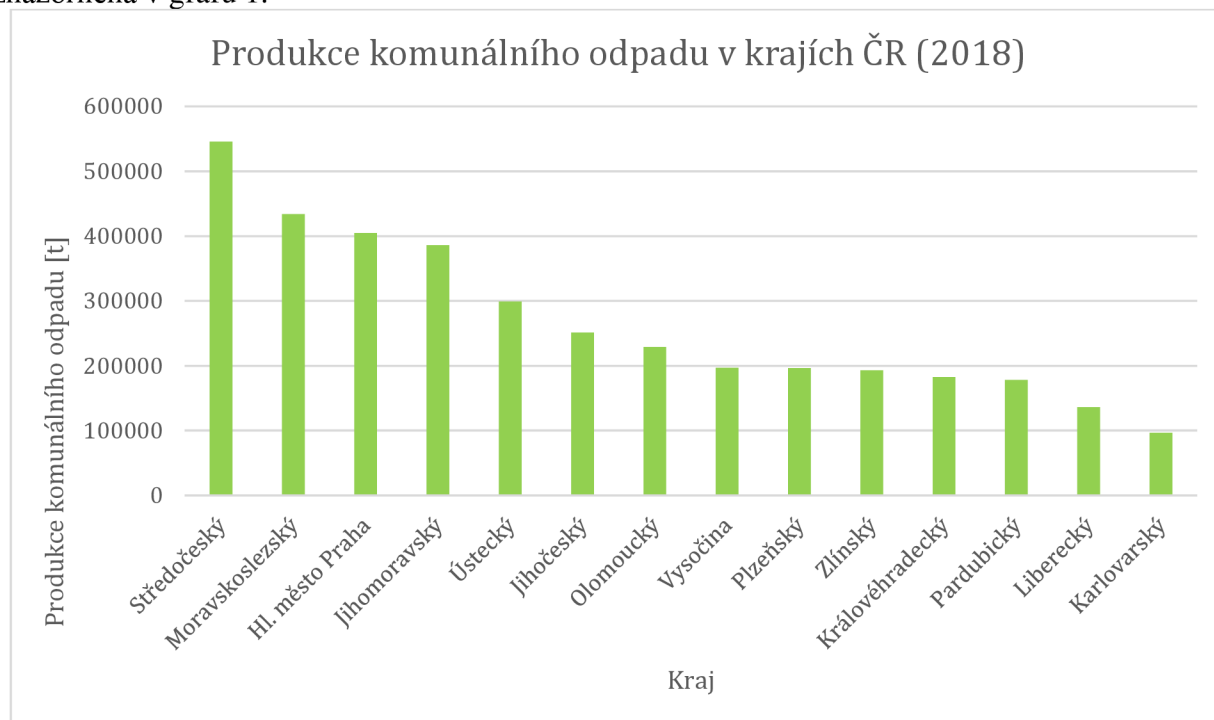
Komunální odpad vzniká při provozu domácností, škol, úřadů a dalších zařízení v obcích a samotná produkce komunálního odpadu každoročně roste. V tabulce 1 je zobrazen vývoj celkové produkce komunálního odpadu v České republice mezi roky 2015 a 2018, včetně meziročního růstu produkce v tunách a procentech. Data z roku 2019 zatím nejsou k dispozici. [1, 3]

Tab. 1: Vývoj produkce komunálního odpadu v ČR. [3]

VÝVOJ PRODUKCE KOMUNÁLNÍHO ODPADU V ČR			
Rok	Produkce komunálních odpadů [t]	Meziroční růst produkce	
		[t]	[%]
2015	3 337 336		
2016	3 579 614	242 278	7,26
2017	3 642 958	63 344	1,77
2018	3 732 219	89 261	2,45

V roce 2018 bylo nejvíce komunálního odpadu vyprodukováno ve Středočeském kraji, který byl následován krajem Moravskoslezským a Hlavním městem Praha. Produkce komunálního odpadu přesně nekopíruje počet obyvatel v jednotlivých krajích. Například v Praze žilo v daném roce o 89 227 obyvatel více než v kraji Moravskoslezském.[4] Navzdory tomu bylo v Moravskoslezském kraji vyprodukováno přibližně o 29 tisíc tun více komunálního odpadu. [3] Podobná situace nastává při porovnání Plzeňského kraje a kraje Vysočina, kdy v Plzeňském kraji žilo o 71 900 obyvatel více než na Vysočině. [4] Přesto obyvatelé kraje Vysočina vyprodukovali o 613 tun více odpadu. [3] Vyšší počet obyvatel v daném regionu tedy nutně neznamená vyšší produkci komunálního odpadu.

Produkce komunálního odpadu jednotlivých krajů České republiky v roce 2018 je znázorněna v grafu 1.



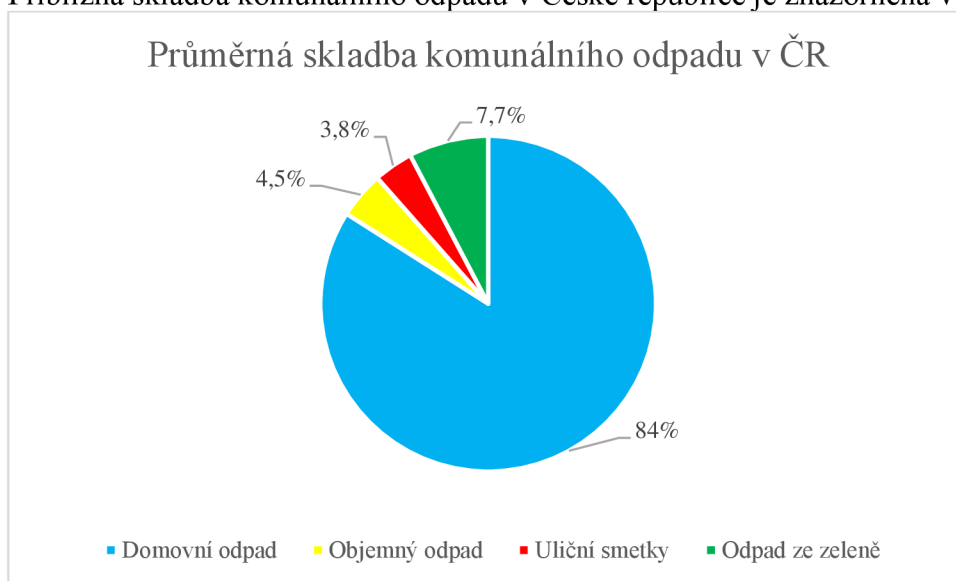
Graf 1: Produkce komunálního odpadu v krajích ČR. [3]

1.3 Skladba komunálního odpadu

Komunální odpad je z největší části tvořen tzv. domovním odpadem (papír, sklo, plasty, ...), podstatně menší část skladby zabírá objemný odpad, uliční smetky a odpad z místní zeleně. [1]

Objemným odpadem se rozumí takový odpad, který je podobný odpadu domovnímu, avšak kvůli svým rozměrům či hmotnosti ho není možné shromážďovat ve sběrných nádobách o objemu do 1,1 m³. Vzniká např. při stěhování obyvatel, velkých úklidech nebo rekonstrukci či výstavbě nových domů. Z těchto důvodů je převážně složen z elektrospotřebičů, dílů automobilů a stavebního odpadu (koberce, podlahové krytiny). Při údržbě parků, sadů nebo uliční zeleně ve vlastnictví obce vzniká odpad organického původu, označovaný jako odpad ze zeleně, do jehož tvorby přispívají i fyzické osoby, zejména údržbou zahrad. Do kategorie uličních smetků spadají odpadky shromážděné v uličních odpadkových koších a nečistoty z čištění veřejných prostranství. [1]

Přibližná skladba komunálního odpadu v České republice je znázorněna v grafu 2.



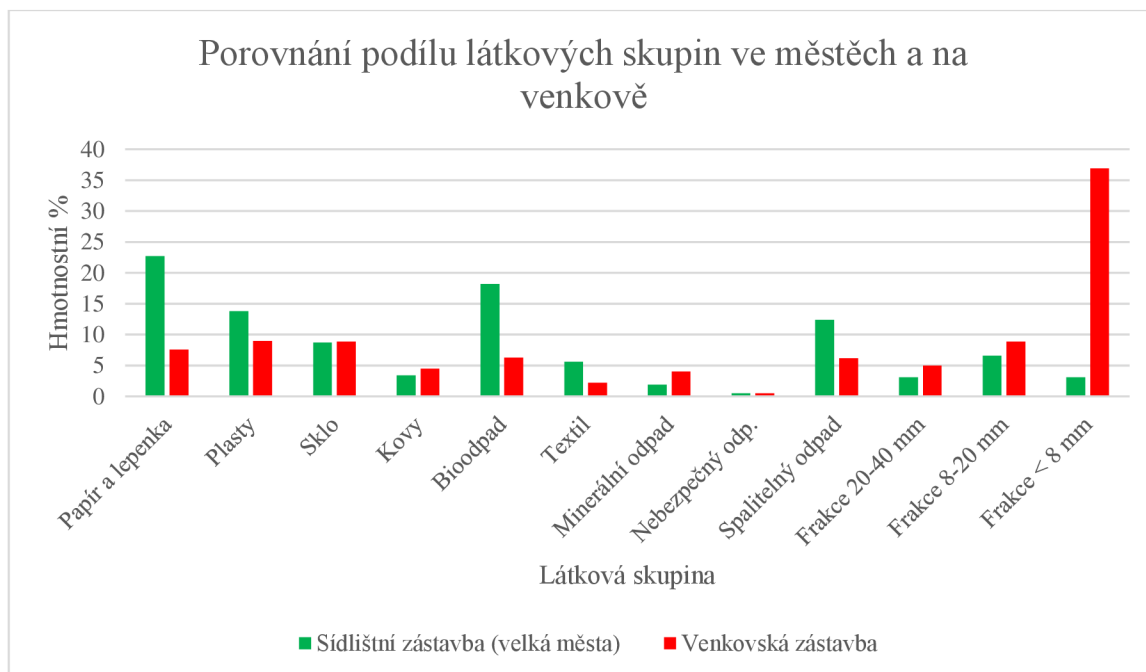
Graf. 2: Průměrná skladba komunálního odpadu v ČR. [1]

Vzhledem k většinovému zastoupení domovního odpadu je třeba mu věnovat zvýšenou pozornost. Skladba domovního odpadu totiž může být velmi různorodá. Obsah jednotlivých látkových skupin se mění podle toho, v jaké lokalitě a v jakém ročním období je jeho sběr prováděn. Například v sídlištních zástavbách velkých i menších měst se v domovním odpadu vyskytuje větší množství biologicky rozložitelného odpadu, textilu a plastů. V městských zástavbách se odpad i více třídí, což je dáno zejména lepší dostupností sběrných nádob a kontejnerů. Na venkově složení odpadu dominují jemnější frakce, tj. částice s velmi malou velikostí zrn, například popele nebo suti, které není možné spalovat. Nízký podíl tvoří spalitelné složky, jako například papír, a biologicky rozložitelný odpad. Toto rozložení je zcela logické, neboť na venkově je spalitelný odpad často používán k vytápění rodinných domů a usedlostí a biologický odpad bývá využíván k vlastnímu kompostování. Složení domovního odpadu také závisí na ročním období, protože každá část roku je spojená s vyšší nebo nižší produkcí určitých druhů odpadů. [5, 6]

Tab. 2 znázorňuje průměrný podíl látkových skupin v domovním odpadu, rozdělený podle typu zástavby. Odlišnost skladby odpadu jednotlivých typů zástaveb je patrná z grafu 3, který porovnává složení odpadu sídlištních zástav velkých měst a zástaveb venkovských.

Tab. 2: Průměrný podíl látkových skupin v domovním odpadu. [7]

Látková skupina	Průměrný podíl látkových skupin v domovním odpadu [hm. %]			
	Sídlištní zástavba (velká města)	Sídlištní zástavba (menší města)	Smíšená městská zástavba	Venkovská zástavba
Papír a lepenka	22,7	22,2	25,6	7,6
Plasty	13,8	16,8	18	9
Sklo	8,7	6,7	7,6	8,9
Kovy	3,4	3	3,1	4,5
Bioodpad	18,2	19,6	17,3	6,3
Textil	5,6	6,6	5,1	2,2
Minerální odpad	1,9	0,8	2,3	4
Nebezpečný odp.	0,5	1,1	0,4	0,5
Spalitelný odpad	12,4	6,7	7	6,2
Frakce 20-40 mm	3,1	8,4	5,4	5
Frakce 8-20 mm	6,6	5,1	3,8	8,9
Frakce < 8 mm	3,1	3	4,4	36,9



Graf 3: Porovnání podílu látkových skupin ve městech a na venkově. [7]

Při energetickém využití komunálního odpadu má skladba odpadu velký význam. Různé látkové skupiny se totiž vyznačují odlišnou vlhkostí, výhřevností a prvkovým složením. Vysoký obsah vlhkosti negativně ovlivňuje celý spalovací proces, protože snižuje teplotu plamene, roste

podíl tepla potřebného k odpaření vázané vody a tím i množství paliva potřebného pro dosažení požadovaného tepelného výkonu. [5, 20] Aby bylo spalování efektivní a smysluplnou technologií zpracování odpadu, je potřeba, aby měl odpad dostatečnou výhřevnost. Výhřevnost je definována jako teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi. [20] Právě výhřevnost odpadu je nejvíce ovlivněna výše zmíněnými výkyvy v jeho skladbě. [5] Hodnoty vlhkosti a výhřevnosti některých složek odpadu jsou zobrazeny v tab. 3.

Odpad mimo hořlavých složek může obsahovat také prvky nebezpečné, jako například síru, chlór, těžko rozložitelné biologické látky nebo těžké kovy. Kromě síry se tyto látky v konvenčních palivech nevyskytují, až na velmi malé stopové množství, čímž se navyšují nároky na proces čištění spalin, stabilizaci a neutralizaci dalších produktů. [5]

Tab. 3: Vlhkost a výhřevnost vybraných složek odpadu. [11]

SLOŽKA	VLHKOST [%]		VÝHŘEVNOST [MJ/kg]	
	Rozsah	Typicky	Rozsah	Typicky
Jídlo	50 ÷ 80	70	3,49 ÷ 6,98	4,65
Papír	4 ÷ 10	6	11,63 ÷ 18,61	16,75
Lepenka	4 ÷ 8	5	13,96 ÷ 17,45	16,29
Plasty	1 ÷ 4	2	27,91 ÷ 37,22	32,56
Textil	6 ÷ 15	10	15,12 ÷ 18,61	17,45
Guma	1 ÷ 4	2	20,94 ÷ 27,91	23,26
Kůže	8 ÷ 12	10	15,12 ÷ 19,77	17,45
Zahradní odpad	30 ÷ 80	60	2,33 ÷ 18,61	6,51
Dřevo	15 ÷ 40	20	17,45 ÷ 19,77	18,61
Sklo	1 ÷ 4	2	0,13 ÷ 0,23	0,14
Neželezné kovy	2 ÷ 4	2	x	x
Železné kovy	2 ÷ 6	3	0,23 ÷ 1,17	0,70

Výhřevnost komunálního odpadu se pohybuje mezi 7,5 MJ/kg až 10,5 MJ/kg, vlhkost pak mezi 15 až 40 %. [5] Příklad prvkového složení komunálního odpadu (v sušině) je uveden v tab. 4.

Tab. 4: Příklad prvkového složení komunálního odpadu v sušině. [5]

PRVKOVÉ SLOŽENÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU					
Prvek	Obsah [hm. %]	Prvek	Obsah [mg/kg]	Prvek	Obsah [mg/kg]
Uhlík	18 - 40	Olovo	100 - 2000	Kobalt	3 - 10
Vodík	1 - 5	Zinek	400 - 1400	Kadmium	1 - 15
Dusík	0.2 - 1.5	Měď	200 - 700	Rtuť	1 - 15
Kyslík	15 - 22	Mangan	250	Arsen	2 - 5
Síra	0.1 - 0.5	Nikl	30 - 50	Selen	0.2 - 15
Fluor	0.01 - 0.035	Chrom	40 - 200	Thalium	< 0.1
Chlor	0.1 - 1	Vanad	4 - 11	PCB ¹	0.2 - 0.4

¹ Polychlorované bifelyny: syntetické, organické sloučeniny masivně vyráběné mezi 30. a 70. lety minulého století. [19]

2 SPALOVÁNÍ ODPADU

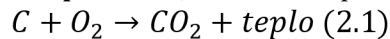
Spalování je fyzikálně chemický děj, který spočívá v oksylování paliva až na konečné produkty reakce. [20] Řadí se mezi tzv. termické metody zpracování odpadu, mezi které patří například i pyrolýza či zplyňování. Při použití těchto technologií dochází k významné redukci hmotnosti a objemu odpadu, vznikají však i další vedlejší produkty reakce, jmenovitě plynné spaliny a tuhý či kapalný zbytek po spalování. Nejedná se tedy o konečný způsob odstranění/využití odpadu. Většina škodlivých látek obsažených v odpadu se při spalování uvolňuje a dostává se do proudu spalin. Obsah těchto látek ve spalinách musí být následně snížen tak, aby při uvolnění spalin do ovzduší splňoval zákonem stanovené emisní limity. [1, 20, 27]

2.1 Princip spalování

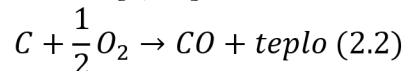
Spalováním odpadů se rozumí řízené hoření za vysokých teplot (slučování hořlavých složek odpadů s kyslíkem), kde obsah kyslíku je stechiometrický nebo vyšší. Celý proces je doprovázen vznikem energie (tepla), jedná se tedy o tzv. exotermický děj a probíhá v zařízení určeném pro dokonalé a účinné spalování. Při dokonalém spalování se veškerý uhlík (C) mění na oxid uhličitý (CO₂), vodík (H) na vodní páru (H₂O) a síra na oxid siřičitý (SO₂). [1]

Spalování odpadů je složitý proces, pro jehož efektivní průběh je nutná dostatečně vysoká spalovací teplota, dostatečně dlouhá doba setrvání odpadů ve spalovací komoře a neustálý pohyb odpadového lože. Po vysušení odpadu za nižších teplot (50 až 150 °C) a dalším ohřevu dochází ke vzniku těkavých látek, jejichž vznícením se vytvoří plamen. Ke spontánnímu hoření odpadu dochází po dosažení zápalné teploty, která se však vzhledem k proměnlivému složení odpadu může měnit. Nejvíce je ovlivněna poměrem mezi obsahem uhlíku, vodíku a kyslíku. [1, 12]

Přívod spalovacího vzduchu do spalovací komory a jeho množství hraje velmi důležitou roli. Množství přivedeného vzduchu totiž přímo ovlivňuje to, jaký vedlejší produkt reakcí vznikne. Při dostatečném množství spalovacího vzduchu dochází k oxidaci uhlíku na neškodný oxid uhličitý (CO₂) a hovoříme o tzv. **dokonalém spalování**, které lze zapsat následovně [1]:



Naopak při nedostatečném oksylování hořlavých prvků odpadu (C, H, S) nastává **nedokonalé spalování**, jehož důsledkem je tvorba jedovatého oxidu uhelnatého. Ve spalinách se případně mohou vyskytovat zbytky hořlavých složek prchavé hořlaviny nebo plyny vzniklé zplyněním paliva (H₂, C_xH_x) viz. následující reakce [1, 20]:



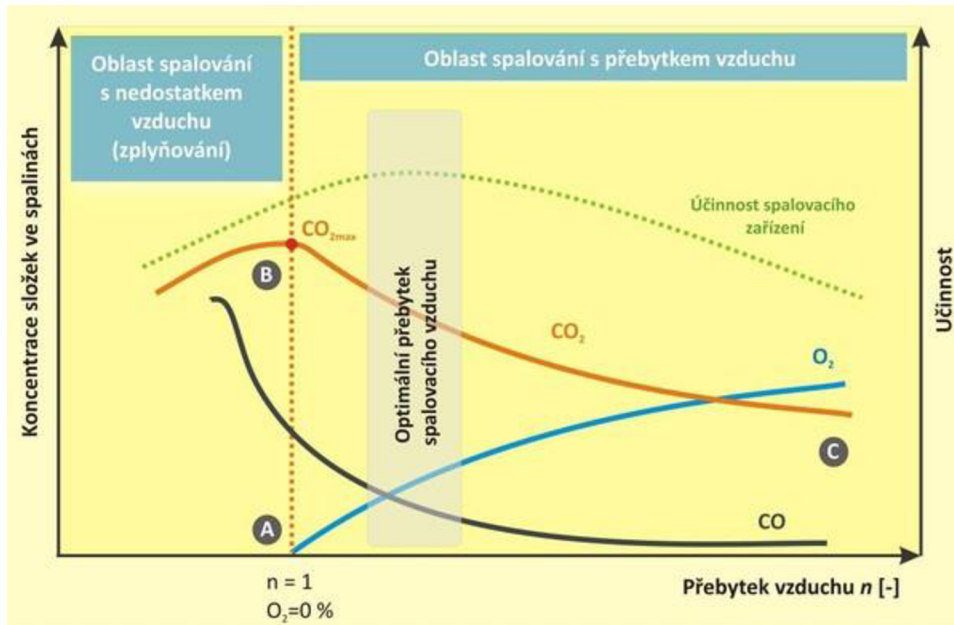
Při nedokonalém spalování se spotřebuje pouze poloviční objem kyslíku, avšak zároveň reakce dodá jen třetinu možné energie. V průmyslové praxi je proto nedokonalé spalování nežádoucí. [20]

Pro stanovení potřebného množství spalovacího vzduchu pro dokonalé spalování se zavádí tzv. přebytek spalovacího vzduchu α^2 , který vyjadřuje poměr mezi skutečným a teoretickým množstvím vzduchu. Teoretické (stechiometrické) množství se stanoví z rovnic spalování a představuje minimální množství vzduchu potřebné pro dokonalé spalování. Předpokládá se, že veškerý kyslík se spotřebuje na vznik produktů hoření. [12, 13]

Ve skutečném spalovacím procesu však toto množství není dostatečné, proto je potřeba do výpočtu zahrnout již dříve zmíněný přebytek spalovacího vzduchu α . Pro roštové kotle se tento součinitel volí v rozmezí 1,25 až 1,5, tedy reálné množství vzduchu je 1,25x až 1,5x větší. Toto optimální rozmezí je třeba dodržovat, neboť s vysokým přebytkem vzduchu postupně klesá teplota v ohništi, čímž se zhoršuje i kvalita spalování, roste množství spalin a snižuje se účinnost

² V grafu 4 je přebytek vzduchu označen jako n . Označení α je však v energetice používanější.

spalovacího zařízení. Vztah mezi přebytkem spalovacího vzduchu, koncentrací složek ve spalinách a účinností zařízení je ilustrován v grafu 4. [12, 13, 20]



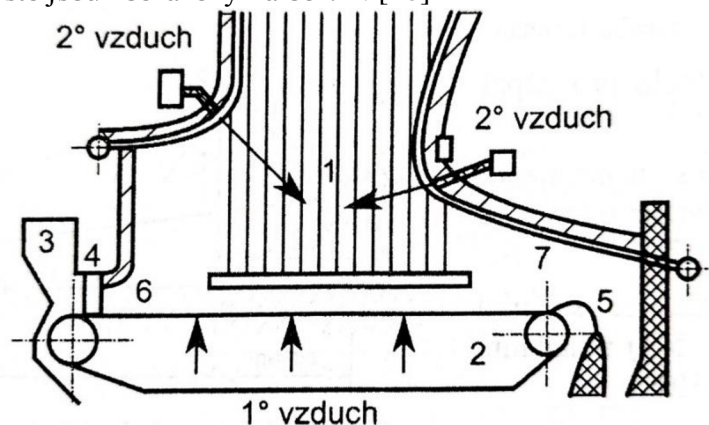
Graf 4: Vztah mezi přebytkem vzduchu, koncentrací složek ve spalinách a účinností. [12]

2.2 Spalovací zařízení

Ke spalování komunálního odpadu dochází v tzv. spalovenských kotlích, které jsou vybaveny ohništěm s vodorovným nebo šikmým roštem. Jedná se o nejčastější konstrukční uspořádání, které používají i všechny současné spalovny komunálního odpadu v České republice. Pokud byl však odpad zpracován drcením, může se spalovat i ve fluidních ohništích. Tuto technologii používá například spalovna komunálního odpadu v hornorakouském městě Linec. [20, 21, 22, 23, 24, 25]

2.2.1 Roštové kotle

Rošt, na němž je spalováno palivo, je základní částí spalovacího zařízení. Slouží k podpírání kusového paliva, vytvoření vrstvy paliva o požadované tloušťce a prodyšnosti, postupnému vysušení paliva, jeho ohřevu na zápalnou teplotu a následnému hoření. Další funkcí roštu je zajištění přívodu okysličovadla (vzduchu) a odvodu tuhých zbytků spalování z ohniště. Základní části roštového ohniště jsou zobrazeny na obr. 1. [20]



Obr.1: Základní části roštového ohniště. [20]

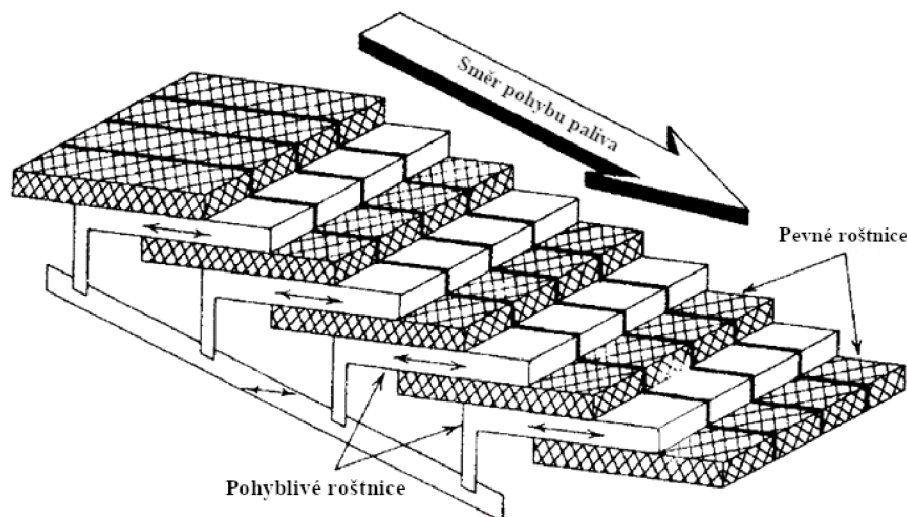
Princip: Palivo se na rošt (2) dostává ze zásobníku (3) přes hradítko výšky paliva (4). Ohniště (1) vytíná prostor mezi přední a zadní klenbou (6,7) a roštem. Tuhý zbytek po spalování je odváděn přes škvárový jízek (5) do výsypky. [20]

V první fázi spalování dochází k ohřevu paliva na přibližně 120 °C, čímž se palivo v důsledku vypařování vlhkosti vysušuje. Při dalším ohřevu je palivo odplyňováno uvolňováním prchavé hořlaviny, k čemuž dochází přibližně při 250 °C. Následuje hoření prchavé hořlaviny a zapálení vrstvy hořlaviny tuhých. V poslední fázi dohořívá i tuhá hořlavina, zbytky po spalování chladnou a jsou odvedeny do výsypky. [20]

Spalovenské kotle na komunální odpad využívají tzv. rošty s občasným přemísťováním paliva, jejichž roštnicemi je možné pohybovat. Pohybem roštnic dochází k mísení paliva, rozrušování spečené škváry a odvodu popela z ohniště. [20]

Přesuvný rošt

Přesuvný rošt je tvořen schodovitě uspořádanými roštnicemi, přičemž některé jsou nehybné a některé vykonávají horizontální posuvný pohyb. Horizontální posuv roštnic je zajištěn pomocí hydraulických válců, kde délka a počet zdvihů může být regulována skrze centrální řídicí jednotku. [11, 20, 26]

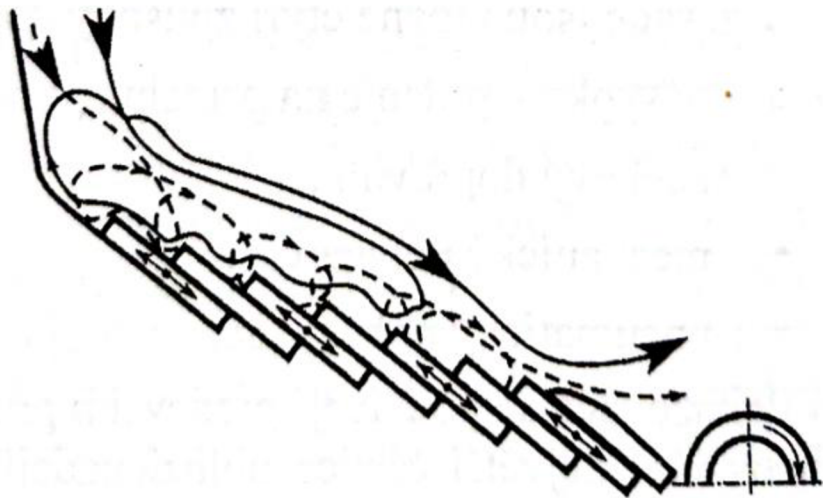


Obr.2: Přesuvný rošt. Upraveno a převzato z [11]

Vratisuvné rošty

Vratisuvné rošty pracují na podobném principu jako rošty přesuvné, avšak roštnice jsou zde orientovány proti směru pohybu paliva. Tato úprava umožňuje mnohem efektivnější prolamování vrstvy a promíchávání paliva ve vrstvě. Existují dva základní typy vratisuvných roštů, a to rošt kaskádovitý s vodorovným povrchem a šikmý rošt typu Martin, přičemž druhý zmíněný má pro spalování odpadů a jejich energetické využití větší význam. Vratisuvný rošt typu Martin používá i brněnská spalovna odpadů. [20, 22]

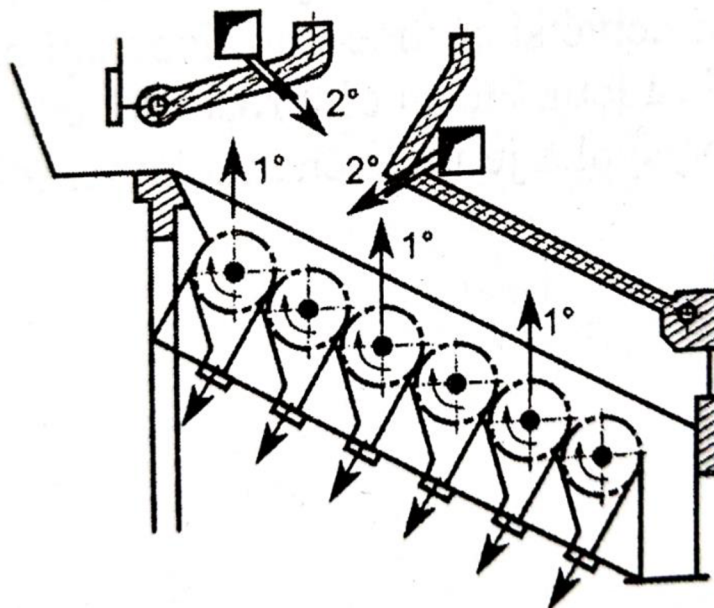
Rošt typu Martin je charakterizován silným sklonem ve směru vstupu paliva k výsypce. Pohyb roštnic proti toku paliva způsobuje postup spodní žhavé vrstvy zpět od konce roštu ke vstupu paliva. Čerstvé palivo z výsypky přepadá přes tuto žhavou vrstvu, čímž se dosáhne velmi dlouhé doby setrvání paliva na roštu, dobrého promísení a prohoření celé vrstvy. Princip funkce roštu typu Martin je zobrazen na obr. 3. [20]



Obr.3: Vratisuvný rošt typu Martin. [20]

Válcový rošt

Válcový rošt se skládá ze šesti dutých válců, které jsou obloženy roštnicemi z tepelně odolného materiálu. Například válce pražské spalovny jsou obloženy téměř 4000 roštnicemi z nikelchromové oceli. Spalovací vzduch (primární) je do spalovací komory přiváděn vnitřkem válců a štěrbinami mezi roštnicemi. Rychlost pohybu paliva po roštu je dána rychlostí otáčení válců, přičemž rychlost každého válce je regulovatelná. [20, 23]



Obr.4: Válcový rošt. [20]

Vzhledem k vysokému obsahu prchavé hořlaviny v odpadech vznikají v ohništi dvě ohniska hoření. Ke spalování odpadu dochází jak na roštu, tak i v prostoru nad ohništěm a vrstva paliva hoří dlouhým plamenem. Aby došlo k dobrému promísení prchavé hořlaviny se vzduchem, ohniště se seškrucují a nad rošt se přivádí sekundární vzduch, jehož obsah se se zvyšujícím obsahem prchavé hořlaviny v odpadu zvyšuje. [20]

2.3 Produkty vznikající při spalování odpadu

Spalování odpadu se považuje za velmi efektivní metodu zpracování odpadu, při jejím použití však vznikají nežádoucí vedlejší produkty, se kterými jsou provozovatelé spaloven povinni nakládat v souladu s legislativou, v tomto případě zejména v souladu se zákonem č. 201/2012 Sb. o ochraně ovzduší. [1, 14]

2.3.1 Produkty pevného skupenství

Za hlavní produkty pevného skupenství, které při spalování odpadu vznikají, se považuje popel a popílek.

Před spálením se v tuhém palivu vyskytují minerální látky (křemičitany, uhličitany, siřičitany), které označujeme jako popeloviny. Jedná se o nespalitelné složky paliva, při spalování dochází pouze k jejich natavení či částečnému odpaření. [20, 28]

Spálením paliva vzniká z popeloviny tuhý zbytek (popel), který je ze spalovací komory odváděn několika formami³. Spalováním při teplotách, při kterých část minerálních zbytků měkne nebo dosáhne teploty tavení, dochází ke spojení jednotlivých zrn ve větší či menší celky, které se souhrnně označují jako škvára. Druhou formou je již výše zmíněný popílek. [15, 20]

Popílek jsou drobné minerální částice, které jsou unášeny proudem spalin. Velikost částic popela a popílku je srovnána na obr. 5. Jedná se o jeden z celosvětově nejrozšířenějších vedlejších produktů spalování paliva (zejména kvůli stále rozšířenému spalování uhlí). V částicích popílku se vyskytuje značné množství toxických látek, jmenovitě např. polychlorované dioxiny⁴ a těžké kovy, zejména rtuť, kadmium a arsen. [1, 16, 17] Z důvodu přítomnosti těchto škodlivých látek v popílku jsou na systém čištění spalin spalovacího zařízení kladeny vysoké nároky.



Obr.5: Porovnání velikosti částic popílku (vlevo) a popela (vpravo) [16]

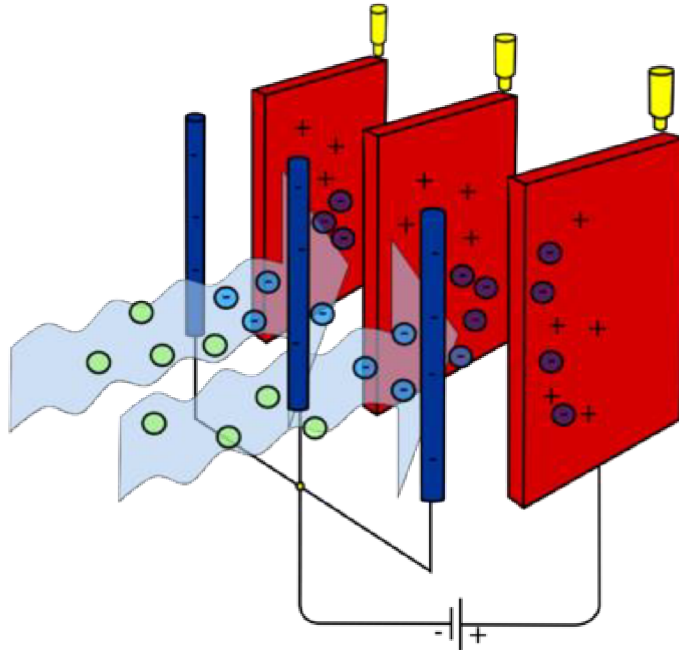
Pro zamezení úniku popílku do ovzduší se používají elektrostatické odlučovače, které pracují na principu dvou opačně nabitých elektrod; nabíjecí a sběrné. Elektrody mohou být konstruovány různými způsoby, nejčastěji jsou to kovové dráty, tyče či desky. Na nabíjecí elektrodě se soustřeďuje vysoké záporné napětí a z tohoto důvodu získají procházející spaliny záporný náboj.

³ Může být odveden i ve formě strusky, avšak pouze u výtavných kotlů, které se při spalování odpadu nepoužívají. Vzniká po spálení paliva při teplotách nad teplotou tečení popela. [20]

⁴ Dibenzodioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCPF). Jedná se o organické sloučeniny s podobnou chemickou strukturou obsahující chlór. [17]

Za touto elektrodou se nachází sběrná elektroda, která je nabitá podobně vysokým, avšak kladným napětím. Vzhledem k přitažlivosti opačných nábojů se pevné, záporně nabitě částice hromadí na kladně nabitě (sběrné) elektrodě, z níž jsou oklepávány do zásobníku a dále zpracovány. [18] Jako sběrná elektroda se nejčastěji používá deska, protože má velký povrch a tím pádem se na ní může nahromadit vyšší množství prachových částic. [1, 18]

Princip elektrostatického odlučovače s drátovými a deskovými elektrodami zobrazuje obr. 6.



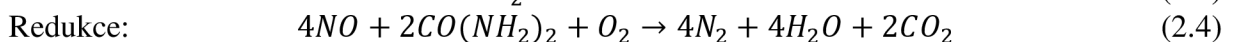
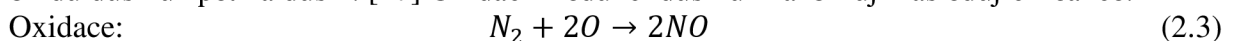
Obr.6: Princip elektrostatického odlučovače. [18]

Ačkoliv je elektrostatické odlučování velmi účinnou metodou, používají se ještě dodatečně textilní filtry z vhodné tkaniny, které musí být dostatečně mechanicky i tepelně odolné. [1, 18]

2.3.2 Produkty plynného skupenství

Oxidy dusíku

Přítomnost termických oxidů dusíku ve spalínách je způsobena oxidací dusíku obsaženého v primárním a sekundárním vzduchu, který ve spalovacím procesu slouží jako oxidační činidlo. Palivové oxidy dusíku vznikají chemickou reakcí vázaného dusíku v palivu. Spalovenské kotle jsou proto vybaveny zařízením pro snižování jejich koncentrace ve spalínách, které pracuje na principu selektivní nekatalytické⁵ redukce. Je zde využito redukčních vlastností vodného roztoku 40% močoviny, který je do spalovací komory vstřikován v místě, kde spaliny mají teplotu od 950 do 1100 °C. Již z názvu vyplývá, že metoda nevyžaduje použití katalyzátoru, který by danou chemickou reakci urychloval. Po vstřiku močoviny dochází k redukci termických a palivových oxidů dusíku zpět na dusík. [27] Oxidaci i redukci dusíku znázorňují následující reakce:



⁵ Záleží na konkrétním technickém provedení spalovny. Některé využívají selektivní katalytickou redukci.

Kyselé plynné produkty

Spalování komunálních odpadů je spojeno s tvorbou kyselých plynných produktů, nejčastěji oxidu siřičitého (SO₂), oxidu sírového (SO₃), kyseliny chlorovodíkové (HCl) a kyseliny fluorovodíkové (HF). [1, 11] Při neutralizaci kyselých plynných produktů se využívá jejich schopnosti sorpce na sorpčních činidlech, kdy se kyselé produkty absorbují ve vhodném alkalickém činidle. Podle fyzikálního stavu lze tyto metody čištění spalin rozdělit na polosuché, suché a mokré. [1] Konkrétní příklad neutralizace kyselých plynných produktů v brněnské spalovně SAKO je popsán v následujících dvou odstavcích.

Spaliny jsou pomocí kouřovodu odvedeny do absorbéru, kde se kyselé složky neutralizují pomocí polosuché vápenné metody. Jako sorpční činidlo je zde použita vodní vápenná suspenze, která je jemně rozprášena do proudu spalin. Následuje řada chemických reakcí, jejichž výsledkem je velmi jemný prášek, který se ze spalin odloučí na tkaninových filtrech. [27]

Při zvýšené koncentraci kyselých složek ve spalinách je možné dodatečně spustit i suchou vápennou metodu, která spočívá v dávkování suchého vápenného hydrátu před tkaninový filtr, čímž se dosáhne zvýšení účinnosti neutralizační reakce. Tato metoda se používá také v případě výpadku polosuché vápenné metody. [27]

Mokrý metoda se v brněnské spalovně nepoužívá. Vyznačuje se nejvyšší účinností, avšak při jejím použití dochází k tvorbě dalšího neutrálního produktu, který je třeba dále zpracovat. Do spalin je vstříkována oběhová voda, ve které jsou HCl a HF rozpustné, čímž dojde k jejich neutralizaci. Oxidy síry se ve vodě nerozpouští, avšak přidávkem vápenného mléka do oběhové vody získají schopnost sorpce. Odvodněný produkt je solidifikován a uložen na vhodné skládce. Dalším neutrálním produktem však zůstává zbylá odpadní voda. Tato metoda je využívána například v pražské spalovně komunálního odpadu. [1, 23, 27]

Organické sloučeniny

Dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) jsou dvě nejčastější organické sloučeniny, vyskytující se jak v samotném odpadu, tak i ve spalinách jako nechtěný produkt spalování. Do prostředí se uvolňují také během průmyslové výroby, která pracuje s chlorem, např. chemický či textilní průmysl. Množství PCDD/PCCF ve spalinách je ovlivněno několika faktory, avšak nejvýznamnější z nich zohledňuje tzv. princip 3T. Název vychází z anglických výrazů pro teplotu, čas a turbulentní proudění. Obecně se uvažuje, že pro termickou likvidaci je zapotřebí spalovací teplota 850 °C a setrvání spalin ve spalovací komoře po dobu 2 s, případně spalovací teplota 1000 °C a setrvání po dobu 1 s. Vytvoření turbulencí ve spalovací komoře je žádoucí z důvodu dalšího promísení paliva se vzduchem, přičemž doporučená hodnota Reynoldsova čísla přesahuje 10000. [1, 17, 30]

Vzhledem k tomu, že se dobře váží na tukovou tkáň, k jejich akumulaci dochází zejména v tělech živočichů, především ryb ze Severního a Baltského moře. [17]

Dioxiny se označují jako látky perzistentní, což znamená, že jsou schopny velmi dlouho setrávat v životním prostředí. Zároveň velmi negativně působí na lidské zdraví (poškození imunitního a nervového, problémy s reprodukcí) a proto je nutné jejich obsah ve spalinách minimalizovat. Snížení obsahu ve spalinách je možné realizovat pomocí aktivního uhlí, které je tlakově vhnáno do kouřovodu ještě před vstupem spalin do absorbéru. Na povrch uhlí se navážou nejen dioxiny, ale i těžké kovy, které nebyly předchozími reakcemi odstraněny. Spaliny jsou po průchodu absorbérem vedeny na tkaninové filtry. [1, 17, 27]

Způsoby měření a vyhodnocování emisí PCCD i PCDF se v České republice zabývá vyhláška č. 415/2012 Sb., která zároveň stanovuje i jejich emisní limity. Spalovnám (ve vyhlášce vedeny jako stacionární zdroje tepla zpracovávající odpad) udává povinnost měření emisí dvakrát za kalendářní rok. V případě výstavby nového zařízení je však nutné v prvním roce provozu provést

čtyři měření. Před stanovením koncentrace PCCD i PCDF ve spalinách je nutné vynásobit jejich hmotnostní podíly tzv. koeficienty ekvivalentu toxicity. Koeficient ekvivalentu toxicity se pro PCCD/PCDF pohybuje v rozmezí od 0,001 až 1. [29]

Oxid uhelnatý (CO)

Oxid uhelnatý vzniká v důsledku neúplné oxidace uhlíku na oxid uhličitý (CO₂). Vysoké emise oxidu uhelnatého indikují příliš nízkou spalovací teplotu, nedostatek spalovacího vzduchu a času, potřebného na přeměnu CO na CO₂. Obsah CO ve spalinách je tedy možné výrazně snižovat dodržováním optimálních spalovacích podmínek. Emise oxidu uhelnatého se dají považovat za přímý ukazatel efektivity a účinnosti spalování. [11]

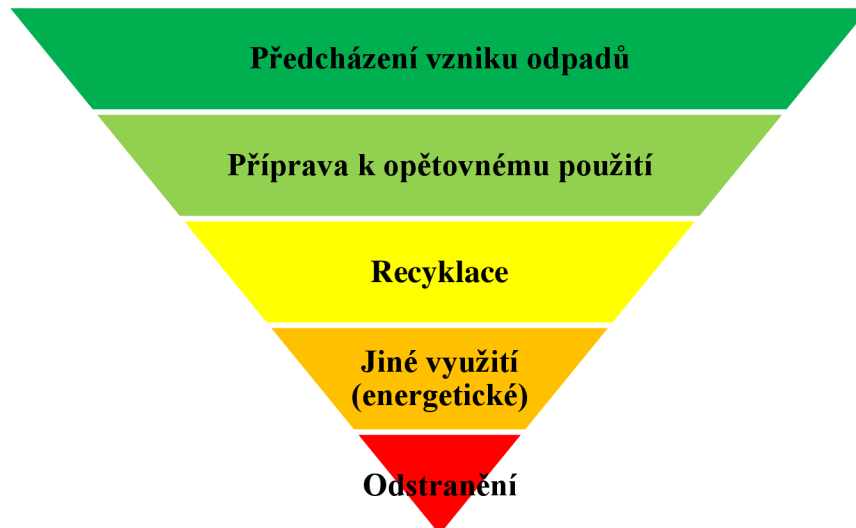
2.3.3 Produkty kapalného skupenství

Kapalným produktem spalovacího procesu rozumíme především odpadní vodu, která byla použita jak při chlazení hlavního tuhého zbytku, tak i v případě, že spalovna používá již výše zmíněnou mokrou metodu pro neutralizaci kyselých složek ve spalinách. V odpadní vodě pro čištění spalin se vyskytuje značné množství solí těžkých kovů a stopové množství dalších prvků, jmenovitě např. kobalt, rtuť či nikl. Z těchto důvodů je nutné odpadní vodu náležitě zpracovat v čistírně odpadních vod, kterou vybraná spalovna využívá. [1]

V následující kapitole bude provedeno zhodnocení dodržování emisních limitů jednotlivými spalovnami.

3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ

Jak již bylo zmíněno v první kapitole, jedním z předmětů zákona o odpadech je zpracování příslušných směrnic Evropské unie. Jedním z těchto dokumentů je směrnice Evropského parlamentu a rady č. 98/2008, která se zabývá problematikou vzniku odpadů a nakládání s nimi. Směrnice zavádí hierarchii způsobů nakládání s odpady, která určuje preferovaná řešení a v rámci odpadového hospodářství státu musí být dodržována. Schématické znázornění hierarchie nakládání s odpady je zobrazeno na obr. 7. [2, 31]



Obr. 7: Hierarchie nakládání s odpady. [31]

Z obrázku je zřejmé, že ideální způsob nakládání s odpady je chovat se tak, aby odpad vůbec nevznikal. Samotné spalování odpadu bez energetického využití pak spadá do kategorie „Odstranění“ a je tedy nejméně žádoucí možností. V České republice se vyskytuje několik zařízení, které odpad, ať už nebezpečný či zdravotnický, pouze spalují. Všechny spalovny komunálního odpadu ho však zároveň i energeticky využívají, proto se souhrnně označují jako zařízení pro energetické využití odpadů (dále jen ZEVO). Zde je opět nutné zohlednit evropskou legislativu, neboť aby bylo spalovací zařízení zpracovávající odpad hodnoceno jako ZEVO, jeho energetická účinnost⁶ se musí rovnat nebo být vyšší než 60 % pro zařízení v provozu před lednem 2009 a 65 % pro zařízení v provozu po prosinci 2008. [31, 32, 33, 34, 38]

Energetické využití odpadů je proces, při kterém se odpady řízeně spalují za vysokých teplot a uvolněná energie se dále využívá k výrobě páry. Parou o vysokém tlaku jsou následně roztáčeny lopatky turbíny, čímž dochází ke generaci elektrické energie. Část páry může být odvedena do soustavy centrálního zásobování teplem nebo do výměňkové stanice k ohřevu vody, kde slouží jako teplotněné médium pro horkovody. [27] Energetické využívání odpadů přirozeně doplňuje třídění a recyklaci, protože zpracovává tzv. zbytkový odpad, tj. takový odpad, který zbyde po oddělení využitelných a nebezpečných složek z komunálního odpadu. Přes veškerou snahu o maximální recyklaci totiž vždy ve směsném komunálním odpadu zůstává určitý objem, který opětovně nelze využít. [10]

⁶ $\eta = \frac{E_P - (E_F + E_i)}{0,97 \cdot (E_W + E_F)}$, kde E_P je roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny, E_F je roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry, E_W je roční množství energie ve zpracovávaných odpadech, E_i je roční dodaná energie bez E_W a E_F a 0,97 je činitel energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování. Všechny veličiny uvedeny v GJ/rok. [38]

Hlavní výhody energetického využití odpadů:

- Využití uvolněné tepelné energie ze spalování odpadu na výrobu páry, horké vody a elektrické energie.
- Úspora neobnovitelných zdrojů energie. (palivem je odpad)
- Snížení hmotnosti odpadu na 25% původní hodnoty.
- Snížení objemu odpadu na 10% původní hodnoty.
- Dokonalé vyhoření odpadu až na inertní anorganický materiál (škváru), která se dále využívá např. na technické zabezpečení skládek.
- Oddělení železného šrotu a neželezných kovů ze škváry a jejich následné využití jako druhotných surovin. (např. v metalurgickém průmyslu)
- Účinný systém čištění spalin od škodlivin, zajišťující dodržování přísných emisních limitů.
- Odpad před spálením nevyžaduje žádnou předchozí úpravu. [27]

Hlavní nevýhody energetického využití odpadů:

- Vysoké investiční náklady na výstavbu a provoz ZEVO, do kterých se promítá zejména požadavek na stabilní výkon a dodržování výše zmíněných přísných emisních limitů.
- Svoz a skládkování odpadů na jednom místě před samotným spálením, což má zejména v letních měsících za následek zápach v ovzduší. (částečně vyřešeno uzavřením bunkru s odpady a udržováním trvalého podtlaku)
- Zvýšená dopravní zátěž v okolí ZEVO a s ní související nároky na přizpůsobení infrastruktury.
- Produkce plynných emisí⁷. [5]

3.1 Princip ZEVO

Jak již bylo zmíněno v kapitole o spalování, všechny ZEVO v České republice používají velmi podobnou technologii samotného spalování, a to roštová ohniště se šikmým rostem. Mírně se od sebe odlišují systémem čištění spalin. Princip fungování celého zařízení bude vysvětlen na brněnském ZEVO, neboť právě na tomto zařízení již byly přiblíženy způsoby neutralizace kyselých produktů ve spalinách, proto je vhodné na něj navázat.

Váhovna

Všechny dovezené odpady musí být před uložením do zásobníku odpadů zváženy. K tomu slouží váhovna, která je zároveň vybavena detekčním systémem pro měření gama záření. Úkolem detektorů je nalezení zdrojů radioaktivního záření a omezení následků možných nehod při úniku těchto zdrojů do životního prostředí. V případě, že odpad obsahuje materiálově využitelné složky, je veden na dotříd'ovací linku. Pokud materiálově využitelné složky neobsahuje, následuje uložení v zásobníku odpadů určených k energetickému využití. Při příjmu nadrozměrných kusů odpadů dochází k jejich vyložení v hale s rotačním drtičem, kde je odpad prvně rozdrcen na požadované rozměry a poté uložen přímo do zásobníku odpadů. [27]

Zásobník odpadů

Zásobník odpadů o kapacitě 5000 tun směsného komunálního odpadu je železobetonová stavba, která je v případě plného naplnění schopna zásobovat kotle při maximální výkonu 7 dní. V zásobníku je trvale udržován mírný podtlak, což má hned několik důvodů. V první řadě je z něj

⁷ Nejméně žádoucí jsou těžké kovy, PCDD a PCDF, jejichž zdravotní dopady na člověka již byly zmíněny. Navzdory přísné regulaci a nákladnému systému čištění spalin se v malém množství do ovzduší dostávají. [5, 27]

odsávána vzdušina, která se ve spalovacím procesu používá jako primární vzduch. Druhým důvodem je zamezení uvolňování zápachu a prašnosti do okolí spalovny. Pomocí drapáku jsou odpady odebrány od vstupních skluzů, homogenizovány a následně jsou jimi plněny násypky jednotlivých kotlů. Vzhledem k riziku možného požáru je zásobník vybaven dvěma vodními děly. [27]

Kotel

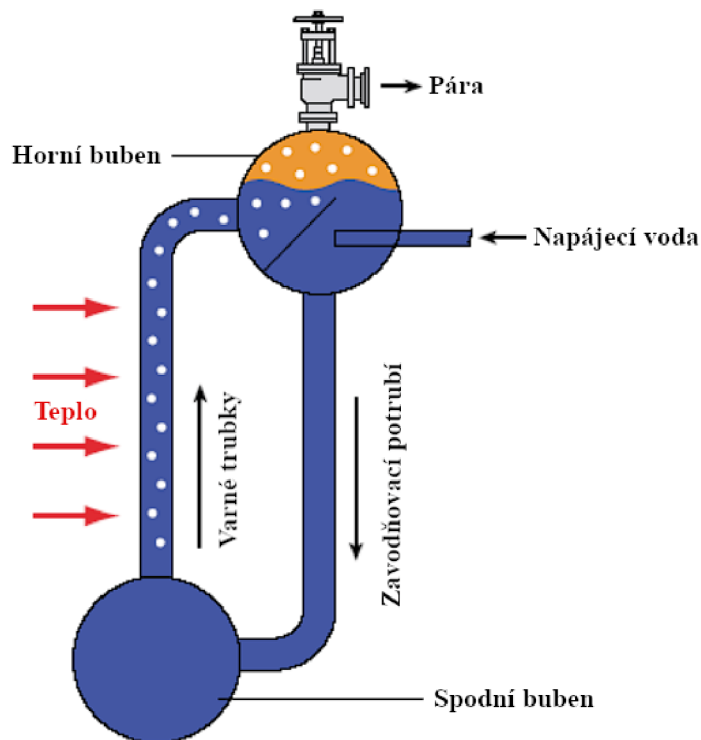
Dále je odpad ze vstupní násypky kotle veden spádovou šachtou a na spalovací rošt kotle je dopravován pomocí podávacího zařízení s hydraulickým pohonem. Základní parametry kotle jsou uvedeny v tab. 5. Pohyb a obracení odpadu po roštu je realizováno pomocí vratisuvného pohybu roštnic, čímž je zajištěno dokonalé vyhoření jeho spalitelných složek. [27]

Z hlediska optimálního spalovacího režimu na roštu jsou nejdůležitějšími parametry zejména dávkování odpadu, jeho pohyb po roštu a množství dodávaného vzduchu. Ve spalovací komoře je zajištěno rovnoměrné rozložení teplotního pole s dosažením minimální teploty spalin 850 °C po dobu 2 s, čímž dojde k dokonalé oxidaci biogenních prvků (N, C, H, S) a zároveň dokonalému vyhoření organických látek tak, aby se následně nemohly rekombinovat. (viz metoda 3T) Rekombinací by totiž vznikly termostabilní látky, které by byly škodlivější než původní látky v odpadu obsažené. [27]

Tab. 5: Technické parametry kotle v SAKO Brno. [27]

TECHNICKÉ PARAMETRY KOTLE SAKO BRNO	
Typ roštu	Vratisuvný
Plocha roštu	45,5 m ²
Doba setrvání odpadu na roštu (průměrná)	20 min
Maximální spalovací výkon	16 t/hod
Minimální spalovací výkon	8 t/hod
Maximální parní výkon	55 t/hod
Jmenovitý parní výkon	45 t/hod
Jmenovitý tlak přehřáté páry	4 MPa
Jmenovitá teplota přehřáté páry	400 °C
Jmenovitá teplota napájecí vody	160 °C

Samotný kotel je konstruován jako vodotrubný s přirozenou cirkulací třítahové koncepce. Je obstarán dvěma bubny, svazkem výparníku ve třetím tahu a dvoustupňovým ekonomizérem, přičemž první stupeň je umístěn vně kotelny. Úkolem varného systému kotle je přeměnit vodu na páru pomocí tepelné energie uvolněné ze spalování. Vodotrubné kotle jsou obecně citlivější na kvalitu napájecí vody. Jejich výhodou je možnost kombinace s ohništi všech typů a rychlé najetí kotle. [20, 27, 35] Nejsložitějším tepelným výměníkem je výparník, který je zjednodušeně zobrazen na obr. 8.



Obr. 8: Zjednodušené schéma výparníku. Upraveno a převzato z [36]

Napájecí voda před vstupem do horního bubnu prvně prochází ekonomizérem, ve kterém se ohřívá na 160 °C. Samotný ekonomizér je konstrukčně mnohem jednodušší než výparník, neboť se jedná o pouze o trubkový protiproudý výměník hadovitého tvaru, zavěšený na nechlazených stromečkových závěsech. Buben je tlustostěnná tlaková nádoba, jejíž základní funkcí je oddělení páry od vody, odluhování a udržování zásoby vody ve výparníku na konstantní hladině. Napájecí voda se z horního bubnu do spodního dopravuje pomocí zavodňovacího potrubí. Nejdůležitější částí jsou varné trubky, které ve skutečném kotli tvoří stěnu spalovací komory. Při sdílení tepla zde dominuje přestup tepla radiací. Ve varných trubkách vlivem tepla vzniká parovodní směs, která je zpět do bubnu zavedena pomocí vestaveb, které zajistí oddělení vody od páry. Přirozená cirkulace pracovního média je způsobena rozdílem měrných hmotností vody v zavodňovacích trubkách a parovodní směsí ve varných trubkách. Varný systém vyrábí páru o tlaku 4 MPa a teplotě 400 °C [20, 27]

Konstrukční řešení kotlů zajišťuje maximální snížení průtočných rychlostí spalin výhřevnými plochami. Žádoucí je dosažení maximálního parního výkonu kotlů při minimálním zanášení a oteru vnitřních prostorů. Pro najetí kotle ze studeného stavu je nutné vyhřát spalovací komoru na 850 °C pomocí hořáku na zemní plyn. Při takto vysoké teplotě vložený odpad okamžitě vzplane a pro další hoření již není nutné žádné přidavné palivo. [27]

Turbína a nakládání s párou

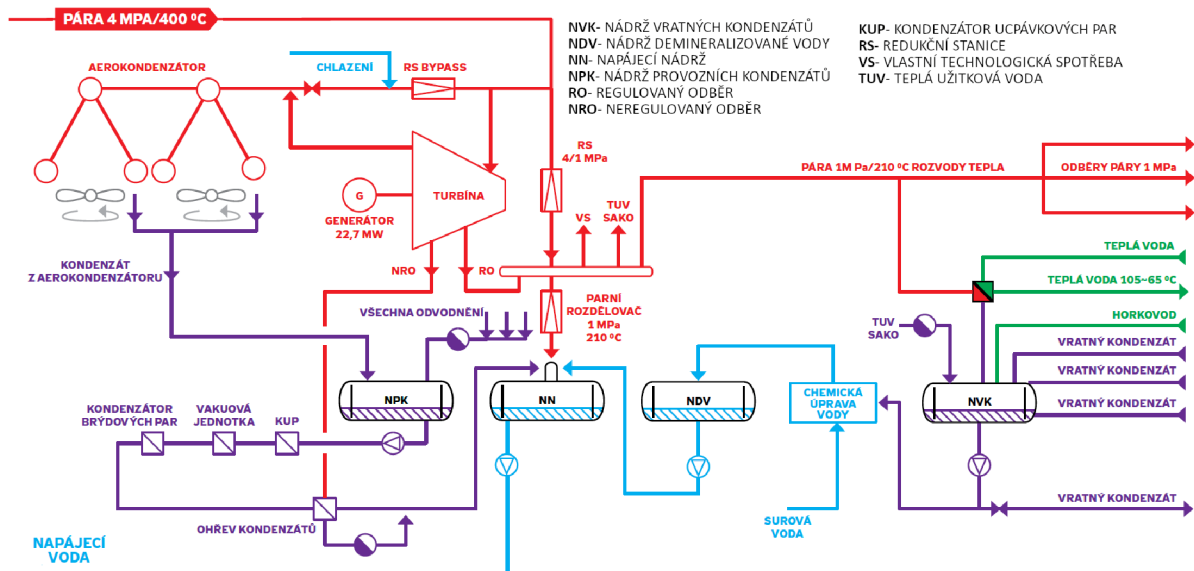
Vyrobená pára je odvedena na parní odběrovou turbínu, kde expanduje a přes lopatky turbíny roztáčí rotor. Rotor je přes převodovku spojený s generátorem, který vzniklou mechanickou práci přeměňuje na elektrickou energii. Při průchodu turbínou dochází ke snížení teploty i tlaku páry. Po průchodu je pára odváděna tzv. regulovaným odběrem a neregulovaným odběrem. Pára z regulovaného odběru je vedena do středotlakého rozdělovače a následně do soustavy centrálního zásobování teplem. Také je používána k vytápění prostor celého zařízení, k udržování vakua v kondenzátoru, k ohřevu teplé užitkové vody a k předehřívání primárního spalovacího vzduchu.

Pára z neregulovaného odběru slouží k ohřevu procesních médií (kondenzátu). Nevyužitá pára se ve vzduchem chlazeném kondenzátoru mění zpět na vodu a opětovně se využívá při výrobě páry. [27]

Chemická úprava vody

Napájecí voda kotle je tvořena zejména vratným kondenzátem ze sítě centrálního zásobování teplem, čistého kondenzátu ze vzduchem chlazeného kondenzátoru a vodou z chemické úpravy vody. V chemické úpravě vody se používá pitná voda z veřejné vodovodní sítě a také voda z hydrogeologických vrtů nacházejících se v areálu spalovny. V úpravě dochází k demineralizaci vody v demineralizační stanici se dvěma linkami o celkovém výkonu 40 t/hod. Demineralizovaná voda je pak shromažďována ve dvou nádržích, odpadní voda se akumuluje v tzv. retenční nádrži a dále se využívá v procesu chlazení škváry. [27]

Princip cirkulace vody v zařízení a zpracování páry je schematicky zobrazeno na obr. 9.



Obr. 9: Technologické schéma části procesu společnosti SAKO. [27]

Škvárová linka

Doprava škváry z mokrého vynašeče do betonového zásobníku je zajištěna pomocí pásových dopravníků. Ze zásobníku se mostovým jeřábem překládá do násypky třídící linky. Odsud je škvára dopravována (opět pomocí pásových dopravníků) prvně do bubnového tříděče a následně do elektromagnetického separátoru, který ze škváry oddělí feromagnetické prvky. Část škváry ještě prochází přes další bubnový tříděč a separátor železa i neželezných kovů. Společnost SAKO uvádí, že každoročně dokáže ze škváry získat 4000 tun železných a 280 tun neželezných kovů. Škvára s obsahem vody přibližně 20 % se uskládá do přistavených kontejnerů nebo se nakládá přímo na korby nákladních automobilů. Dále se poté využívá pro technické zabezpečení skládek nebo se ukládá na skládky pro ni určené. [27, 37]

Pětistupňový systém čištění spalin se skládá ze selektivní nekatalytické redukce (SNCR), rozdělovačů aktivního uhlí, polosuché a suché vápenné metody a konečného odloučení tuhých znečišťujících částic na textilních filtrech. Princip všech metod již byl vysvětlen v předchozí kapitole. [27]

3.2 Přehled současných ZEVO v České republice

V současnosti (duben 2020) jsou v České republice v provozu čtyři zařízení, která energeticky využívají komunální odpad.

3.2.1 ZEVO Praha Malešice

Výstavba pražského ZEVO byla zahájena v roce 1988, přičemž důvodem výstavby původně nebyla pouze hygienická likvidace komunálních odpadů, ale i spalování tuhých průmyslových odpadů s následným využitím vyrobené energie. Zkušební provoz byl zahájen až v roce 1997. Nedlouho poté muselo zařízení modernizovat systém čištění spalin. Pražské ZEVO původně vyrábělo pouze tepelnou energii, výrobu elektrické energie zahájilo až v roce 2011. [39]

Kapacita

Zařízení je schopné zpracovat až 310 000 tun odpadu ročně, avšak v současné době prochází rekonstrukcí spalovacích linek. Rekonstrukce druhé linky byla úspěšně dokončena v dubnu tohoto roku. Po dokončení celé rekonstrukce se kapacita zvýší na 330 000 tun odpadu ročně. Dokončení rekonstrukce se plánuje na rok 2022. [10, 40]

Technologie spalování a čištění spalin

Odpad se spaluje ve čtyřech vertikálních, vodotrubných roštových kotlích se třemi tahy. Samotné spalování probíhá na válcových roštích, kde každý kotel je osazen šesti válci, které jsou obloženy tepelně odolnými roštnicemi. Kotel vyrábí páru o teplotě 237 °C a tlaku 1,1 MPa. Přehřívák páry, ekonomizér a ohřívák vzduchu je umístěn v posledním tahu kotle. Kotle vyrobí v průměru 35 až 40 tun páry za hodinu. [23]

Spaliny jsou z kotle vedeny do rozprašovací sušárny, kde dochází k zachycení tuhých nečistot unášených proudem spalin. Poté následuje průchod elektrostatickým odlučovačem, kde se zachytí téměř veškeré prachové částice. Odstranění oxidů dusíku, dioxinů a furanů je realizováno v katalyzátoru pomocí katalytické složky oxidu vanadu a wolframu. Posledním stupněm čištění spalin je předpračka a absorbér, které fungují na podobném principu. Rozdíl je v tom, že v předpračce se redukuje emise chloru, fluoru a těžkých kovů pomocí mokré vápenné metody v kyselém prostředí (pH 1). V absorbérovi také probíhá mokrá vápenná metoda, avšak v neutrálním prostředí (pH 6) a redukuje se oxidy síry. Před výstupem spalin z komína probíhá kontinuální měření emisí. [23]

3.2.2 SAKO Brno

Brněnské ZEVO bylo uvedeno do provozu v roce 1989, což z něj činí nejstarší zařízení v České republice. Novému provozu předcházela spalovna odpadů v ulici Radlas, která již v roce 1905 využívala získané teplo k výrobě elektrické energie pomocí Parsonovy turbíny s turbogenerátorem. Původní spalovna však byla zničena spojeneckým bombardováním v roce 1945. Současné ZEVO prošlo několika rekonstrukcemi zejména z důvodu požadavků na účinnější čištění spalin, o nejrozsáhlejší bylo rozhodnuto v roce 2002; přestavba a modernizace celého zařízení. [27, 41]

Kapacita

Zařízením může projít až 248 000 tun odpadu ročně, podobně jako v Praze však aktuálně probíhá rekonstrukce. Rada města Brna dne 22.4.2020 schválila pokračování projektu Odpadové hospodářství Brno II, jehož cílem je výstavba třetí spalovací linky. Instalací třetího kotle dojde k navýšení kapacity zařízení o 132 000 tun odpadu ročně. [41, 48]

Detailní princip fungování celého zařízení již byl popsán v předchozích kapitolách.

3.2.3 TERMIZO Liberec

Výstavba třetího ZEVO v Liberci byla zahájena v roce 1996 a uvedena do provozu v roce 1999. Výstavbu financovala společnost Termizo a.s., která je od roku 2011 součástí skupiny MVV Energie CZ, dceřiné společnosti německého energetického koncernu MVV Energie AG. [42, 43]

Kapacita

Zařízení v průměru energeticky využije 96 000 tun odpadu za rok, z čehož vyrobí teplo pro přibližně 17 000 domácností a elektrickou energii pro cca 3 000 domácností. Rozšiřování kapacit v současné době neprobíhá. [44]

Technologie spalování a čištění spalin

Spalování odpadu probíhá v kotli s přesuvným roštem a vzniklá tepelná energie se předává vodě, která se mění na páru o teplotě 400 °C a tlaku 4,3 MPa. Ta je dále dodávána přes protitlakou turbínu do teplárenské soustavy, z čehož plyne, že dochází k současné výrobě tepelné a elektrické energie. Kotel je schopen vyrobit až 43 tun přehřáté páry za hodinu. [25]

Systém čištění spalin lze rozdělit do čtyř technologických celků: redukce oxidů dusíku, zachycení popílku, katalytický rozklad PCDD/PCDF a čištění anorganických složek spalin. [25]

- Redukce oxidů dusíku: selektivní nekatalytická redukce
- Zachycení popílku: odloučení po celé trase spalin (kotel, elektrostatický odlučovač) a doprava k další úpravě
- Katalytický rozklad PCDD/PCDF: speciální katalytický textilní filtr Remedia, zachytí se na něm i zbytkový popílek
- Čištění organických složek: třístupňový mokrý proces v pračce spalin (absorpce anorganických kyselin, těžkých kovů a oxidů síry) [25]

3.2.4 ZEVO Chotíkov u Plzně

Nejmladší ZEVO v České republice, které bylo uvedeno do provozu až v roce 2016, se nachází v Chotíkově u Plzně. Zařízení provozuje společnost Plzeňská teplárenská a.s., jejímž majoritním vlastníkem je statutární město Plzeň. [41, 45]

Kapacita

ZEVO v Chotíkově dokáže ročně zpracovat 95 000 tun odpadu za rok. Z tohoto množství odpadu je schopno ročně dodat do sítě 36 000 MWh elektrické energie 400 TJ tepelné energie. [46, 47]

Technologie spalování a čištění spalin

Zařízení disponuje jedním kotlem s vratisuvným roštem typu Martin, který za hodinu produkuje 43,9 tun páry o teplotě 425 °C a tlaku 5,1 MPa. Část vyrobené páry se používá pro čištění spalin, z čehož plyne, že do turbíny vstupuje přibližně 42,4 tun páry za hodinu. [24]

Prvním stupněm čištění spalin je rozprašovací sušárna, která slouží k odpaření solné suspenze vzniklé při procesu mokrého čištění spalin. Rozprašením do proudu spalin jsou solné roztoky vysoušeny. Za rozprašovací sušárnou se nachází první tkaninový filtr, jehož účelem je snížení obsahu prachu ve spalinách pomocí hlubokovrstvé filtrace. Po průchodu tkaninovým filtrem následuje dvoustupňový systém mokrého čištění spalin. V prvním stupni se ze spalin vyperou zejména HCl, HF a těžké kovy. Produkt reakce se ve formě kyselého roztoku solí odvádí do neutralizační nádrže, odkud je veden do rozprašovací sušárny. Úkolem druhého stupně je především snížit obsah oxidů síry ve spalinách, produktem reakce toho stupně je zejména sádra. Před průchodem druhým tkaninovým filtrem je do proudu spalin vstříkováno hašené vápno

s aktivním uhlím. Na druhém tkaninovém filtru se oddělí těžké kovy, dioxiny, furany a chloridy. Pro destrukci NO_x se používá selektivní katalytická redukce (SCR). [49, 71]

3.3 Srovnání ZEVO v ČR

Srovnání základních parametrů, nakládání s odpadem a dodávek energie

Základní srovnání sledovaných parametrů, hospodaření s odpady a dodávky energie jednotlivých zařízení v roce 2018 zobrazuje tab. 6. Data z roku 2019 ještě nejsou k dispozici, neboť žádná ze společností ještě nevydala výroční zprávu za toto období. V tabulce je zároveň zobrazena energie dodaná do sítě, nikoliv celková vyrobená energie, která je vyšší, avšak zařízení část energie využívá pro vlastní spotřebu.

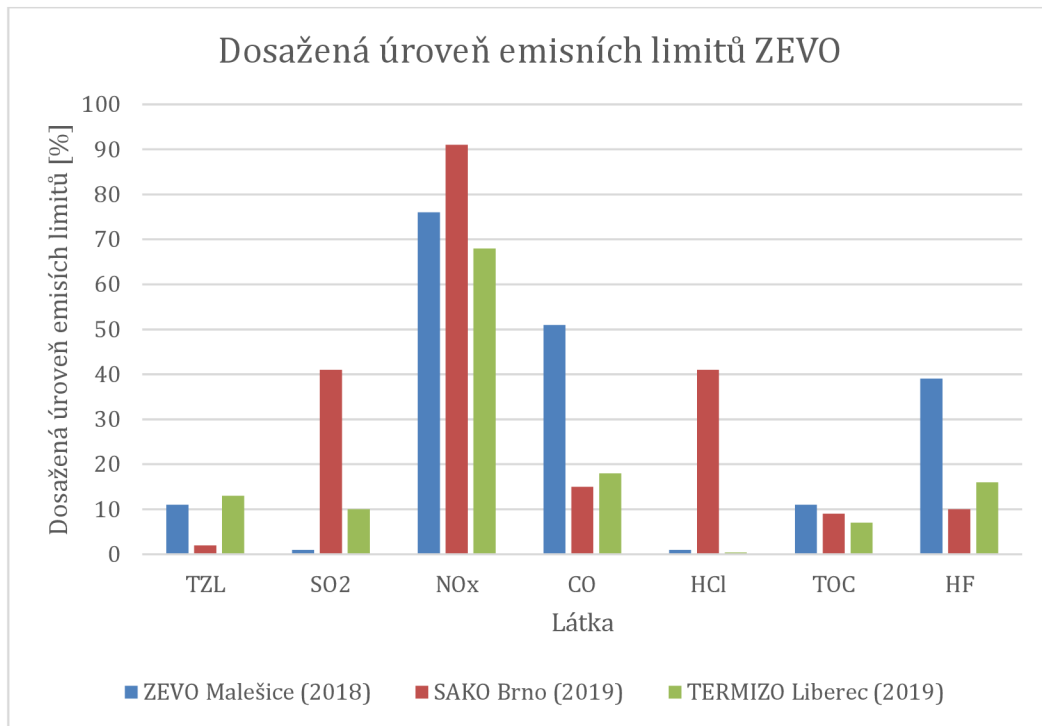
Zvýšenou pozornost je třeba věnovat ZEVO v Liberci, neboť dodané množství elektrické energie je v porovnání s ostatními zařízeními mnohem nižší. Důvodem nízkého množství dodané energie byla havárie protitlaké turbíny a délka její opravy. Vzhledem k této mimořádné situaci je vhodné uvést i data z roku 2017, kdy společnost TERMIZO Liberec dodala do sítě 14,9 GWh elektrické energie. [52]

Tab. 6: Srovnání ZEVO v ČR za rok 2018. [50, 51, 52, 53]

SROVNÁNÍ ZEVO V ČESKÉ REPUBLICE ZA ROK 2018					
		ZEVO Malešice	SAKO Brno	TERMIZO Liberec	ZEVO Chotíkov
Rok zprovoznění		1997	1989	1999	2016
Kapacita [t/rok]		310 000	248 000	96 000	95 000
Počet kotlů		4	2	1	1
Typ roštu		Válcový	Martin	Přesuvný	Martin
Produkce páry [t/hod]		35 - 40	45	43	42
Parametry páry	Teplota [°C]	237	400	400	425
	Tlak [MPa]	1,1	4	4,3	4,1
Dodaná energie do sítě	Teplo [TJ]	803	1029	587	244
	Elektrina [GWh]	22,3	47,6	0,85	34
Množství spáleného odpadu [t/rok]		272 211	223 046	80 147	90 933
Procentuální využití kapacity [%]		87,8	89,9	83,5	95,7

Srovnání produkce emisí

Jak již bylo zmíněno, emisní limity stanovuje vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 415/2012. Na základě integrovaného povolení však mohou být emisní limity pro ZEVO ještě zpřísněny, jako to je např. v případě brněnského a plzeňského zařízení. V následujícím grafu č. 4 je znázorněno procentuální dodržování emisních limitů stanovených vyhláškou č. 415/2012. Emisní limit se stanovuje jako koncentrace dané látky v 1 m³ spalin. V grafu není zobrazeno ZEVO v Chotíkově u Plzně, protože společnost uvádí emise jednotlivých látek pouze v tunách za rok. [50, 51, 52, 53]

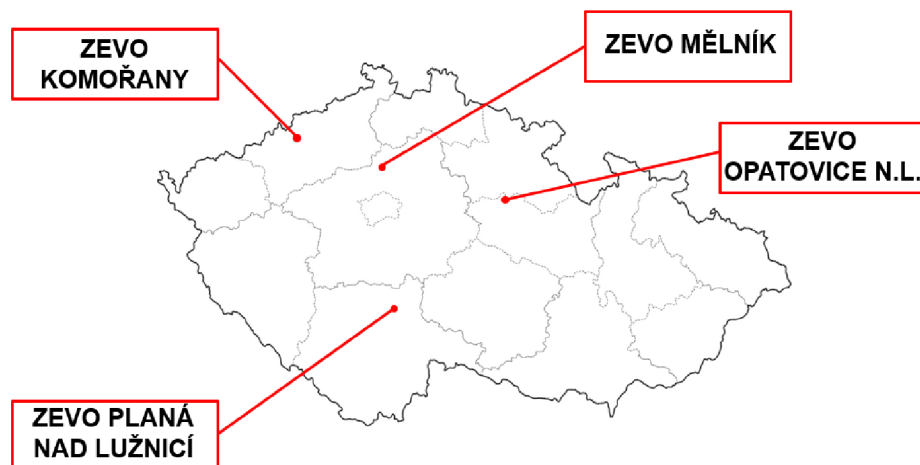


Graf 5: Dosažená úroveň emisních limitů ZEVO. [22, 50, 52]

Z grafu 5 je zřejmé, že z hlediska dodržování emisí jsou nejproblematictější oxidy dusíku. Pozornost je třeba věnovat i zvýšené produkci HCl v případě SAKO Brno, jejímž důvodem je použití jiné technologie čištění spalin než v případě ZEVO Malešice a TERMIZO Liberec. Jak již bylo zmíněno, nejefektivnějším způsobem redukce HCl je tzv. mokrá metoda, kterou SAKO Brno na rozdíl od ostatních zařízení nepoužívá.

3.4 Plánované projekty ZEVO v ČR

Plán odpadového hospodářství ČR od roku 2024 zakazuje skládkovat komunální odpad, který lze jinak (energeticky) využít. Jak bylo ukázáno, kapacity současných ZEVO jsou téměř naplněny. Z těchto důvodů je nutné, aby v ČR vznikla další zařízení, která jsou schopna odpad energeticky využívat. [8] Některé plánované projekty jsou již v pokročilejší fázi, některé pouze ve fázi ideové. Na obr. 10 jsou zobrazeny lokality jednotlivých plánovaných ZEVO.



Obr. 10: Mapa plánovaných projektů ZEVO. Upraveno a převzato z [54]

3.4.1 ZEVO Komořany

ZEVO v Komořanech u Mostu je ze všech plánovaných projektů nejbližší k samotné realizaci. Společnost United Energy, a.s., která o zařízení usiluje, má dokončený projekt a všechna potřebná stavební povolení. Výstavba však neprobíhá z důvodu špatně nastavené legislativy, která ekonomicky zvýhodňuje skládkování odpadu. Společnost nemá sjednané dodávky odpadu od obcí a potýká se s nevlí starostů a zastupitelů učinit rozhodnutí, které by tento fakt změnilo. Některé obce v Ústeckém kraji sice projekt podporují, ale podle vyjádření společnosti se jedná pouze o podporu deklaratorní. Bez zajištěných dodávek odpadu společnost nemůže zahájit výstavbu. [55]

Kapacita

Plánovaná kapacita ZEVO Komořany je 150 000 tun odpadu ročně. Jak již bylo zobrazeno v kapitole 1, v Ústeckém kraji se v roce 2018 vyprodukovalo téměř 300 000 tun komunálního odpadu. Cílem projektu však není zpracovat veškerý produkovaný komunální odpad v kraji, ale navýšit podíl energetického využití, jak stanovuje Plán odpadového hospodářství. [3, 56]

Technologie spalování a čištění spalin

Projekt plánuje využití klasické technologie, tj. spalování na roštovém ohništi, přičemž typ roštu není bližší specifikován. Zařízení by mělo disponovat jednou technologickou linkou s plánovanou roční produkcí 832 TJ tepelné energie a 62,6 GWh elektrické energie. Jedná se o vyprodukovanou energii, nikoliv o energii dodanou do sítě. [56, 57]

K systému čištění spalin není příliš mnoho dostupných informací, avšak společnost uvádí, že pro čištění kyselých plynných produktů bude využívat mokrou metodu. [56]

Zhodnocení projektu

Velkou výhodou plánovaného projektu v Komořanech je právě jeho lokalita, protože nejbližší obytná zástavba je dostatečně vzdálena. Oblast je zároveň silně poznamenána činností člověka, takže nedojde ke změně kvality krajiny. Největší výhodou je však fakt, že společnost United Energy, a.s. v dané lokalitě již provozuje teplárnu. ZEVO Komořany může využít stávající technologickou infrastrukturu teplárny (snadné připojení na existující horkovody, snadné vyvedení elektriny) a logistickou infrastrukturu teplárny (silniční a železniční síť v areálu). Zároveň dojde ke zlepšení kvality ovzduší, neboť společnost plánuje snížení výkonu teplárny o odpovídající výkon ZEVO, které je k životnímu prostředí šetrnější. [58]

Nápad na stavbu ZEVO v dané lokalitě vznikl již v roce 2008, přičemž zařízení mělo být v provozu již v roce 2016. Podle aktuálních informací proběhne v tomto roce (2020) výběrové řízení na hlavního zhotovitele stavby. Předpokládá se, že v roce 2024 by zařízení mohlo být uvedeno do provozu. [59]

3.4.2 ZEVO Mělník

Výstavbu ZEVO v Mělníku plánuje Skupina ČEZ, která by měla zhruba v polovině letošního roku dokončit potřebnou dokumentaci a vypsát výběrové řízení na dodavatele technologického řešení. Samotné ZEVO disponuje kladným posudkem EIA⁸ už od roku 2018, problém je však s příjezdovými cestami a možnou dopravní zátěží. Posudek EIA pro ZEVO je podmíněn tím, že před zahájením výstavby projektu musí být hotové dopravní napojení. Posudek EIA pro stavbu silnic v okolí je vydáván samostatně a Středočeský kraj by se jím měl zabývat taktéž přibližně v polovině letošního roku. [61]

⁸ Hodnocení vlivů posuzovaného záměru (výstavba ZEVO) na životní prostředí a veřejné zdraví. [61]

Kapacita

ZEVO v Mělníku by mělo disponovat vůbec největší kapacitou ze všech plánovaných projektů. Plánovaná kapacita 320 000 tun odpadů za rok je srovnatelná se současně fungujícím zařízením v Malešicích. Zpracovávat by se měly odpady primárně ze Středočeského kraje, avšak vzhledem k lokalitě Mělníka není vyloučena ani možnost dovozu odpadů z oblastí Ústeckého a Libereckého kraje. [60, 61]

Technologie spalování a čištění spalin

Přesná technologie projektu ještě není známa, protože jak již bylo řečeno, o dodavateli samotného technologického řešení se teprve bude jednat. Je však jisté, že zařízení bude osazeno dvěma spalovacími linkami s roštovým parním kotlem. Plánovanou produkci energie ČEZ neuvádí. Turbína by měla být poháněna parou o tlaku 4 MPa a teplotě 400 °C, což jsou identické parametry jako v SAKO Brno. Dá se tedy předpokládat, že samotná technologie spalování bude velmi podobná. [61]

O plánovaném systému čištění spalin není rozhodnuto a ČEZ uvádí pouze metody, jakými je možné spaliny čistit. Všechna uvedená řešení však korespondují s metodami, které používají současná ZEVO v provozu. [61]

Zhodnocení projektu

Podobně jako v případě ZEVO Komořany je velkou výhodou fakt, že ZEVO Mělník se má nacházet v areálu fungující elektrárny s již existující infrastrukturou. Nabízí se proto možnost začlenění ZEVO do sítě CZT. V areálu elektrárny se zároveň budou odstavovat již zastaralá zařízení a celá oblast má projít velkými změnami. Společnost ČEZ již neplánuje v dané oblasti výrobu elektrické energie z uhlí, ale přechází na jiné zdroje. Náhrada zastaralých bloků elektrárny moderním ZEVO se jeví jako výhodná, neboť dojde k efektivnímu využití uvolněné plochy. [61]

Na druhou stranu je třeba zmínit, že již dnes se okolní obce potýkají se silným dopravním zatížením a překročenými limity hluku. Zvýšená koncentrace těžkých vozidel by v těchto obcích danou situaci ještě zhoršila. Podmínkou je tedy vybudování obchvatu ještě před zprovozněním zařízení. Plánuje se, že zkušební provoz ZEVO Mělník by měl být zahájen v roce 2024. [60, 61]

3.4.3 ZEVO Opatovice nad Labem

Nápad na spalování odpadu v areálu Elektráren Opatovice existuje již velmi dlouho, avšak již v roce 2006 ho občané Opatovic v referendu odmítli. Tehdy se však jednalo o klasickou spalovnu se zastaralou technologií. Na konci minulého roku Elektrárny Opatovice začaly zvažovat výstavbu ZEVO, avšak celý projekt je pouze ve fázi úvah, neboť Elektrárny neposkytly jasnou vizi. Starostové okolních obcí se nebrání budoucímu jednání, avšak dokud nebudou znát parametry plánovaného zařízení, stanovisko referenda se nemění. [62]

Vzhledem k nedostatku informací není možné poskytnout přesný popis plánované technologie. Výstavbu ZEVO v okolí měst Hradec Králové a Pardubice však zvažuje i jejich Územní energetická koncepce (ÚEK), která vybrala právě Opatovice jako ideální lokalitu. Níže uvedené údaje tedy popisují, jak by plánované zařízení mělo vypadat. [63]

Kapacita

Množství vyprodukovaného odpadu v daném regionu by odpovídalo ZEVO s roční kapacitou 100 000 tun komunálního odpadu. [63]

Technologie spalování a čištění spalin

Základní technologické řešení počítá s jednou spalovací linkou, parním kotlem s roštovým ohništěm dle aktuálního stavu techniky. Čištění kyselých složek by mělo probíhat tzv. mokrou metodou, způsoby snižování emisí ostatních látek jsou shodné se současnými ZEVO. [63]

Zhodnocení projektu

ÚEK Hradce Králové a Pardubic uvažovala, že ZEVO by mělo být v provozu po roce 2024. Vzhledem k silnému odporu veřejnosti, nedostatku informací ze strany Elektráren Opatovice a fázi, ve které se projekt nachází, není reálné tento termín dodržet. [63]

3.4.4 ZEVO Planá nad Lužnicí

Na konci roku 2019 po konferenci Komunální odpad po roce 2024 firma C-Energy Planá uvedla, že chce v areálu Planá nad Lužnicí postavit ZEVO, které Jihočeský kraj postrádá. Zároveň firma požádala o povolení výstavby malého zařízení pro energetické využití jinak nevyužitelného plastového odpadu, na kterém by celý proces otestovala. [64]

Malá jednotka na zpracování plastového odpadu již byla po čtyřměsíční výstavbě uvedena do provozu. Roční kapacita zařízení je 2 400 tun plastového odpadu, přičemž jednotka slouží pouze k výrobě tepla. Předpokládaná roční produkce je 30 TJ tepelné energie. [65]

Kapacita velkého ZEVO

Plánovaná kapacita zařízení je 50 000 tun komunálního odpadu ročně. [64]

Technologie spalování a čištění spalin

Vzhledem k faktu, že záměr výstavby zařízení byl oznámen teprve nedávno, k plánované technologii nejsou dostupné žádné informace.

Zhodnocení projektu

Firma C-Energy Planá plánuje dokončit výstavbu zařízení do roku 2026. Právě časový horizont je hlavní důvod, proč je kapacita dimenzována pouze na 50 000 tun odpadu ročně. V regionu plánované výstavby existuje relativně funkční CZT, takže nové zařízení by mohlo využít již existující infrastruktury. Společnost již disponuje studií proveditelnosti a její projekt má podporu některých starostů v regionu. [64, 65]

3.5 Porovnání technologie, problémy při výstavbě a možnosti jejich řešení

Z dostupných informací o plánovaných projektech je vidět, že všechna zařízení zvolila již osvědčenou technologii, kterou používají všechny současné ZEVO v ČR, tj. spalování na roštovém ohništi. Jedná se o spolehlivou technologii, která splňuje všechny požadavky kladené na spalovací proces a se kterou jsou v České republice dlouholeté provozní zkušenosti. I systém čištění spalin je u plánovaných projektů identický se systémem čištění spalin současných ZEVO. Pomocí současných metod je možné držet emise sledovaných látek na velmi nízké úrovni, proto není potřeba investovat do novějších a nákladnějších technologií. [66]

Jedním z hlavních problémů při výstavbě nových zařízení je stav současné legislativy, díky kterému je skládkování odpadu stále nejjednodušším a nejlevnějším způsobem, jak se odpadu zbavit. Dlouhodobá ekonomická udržitelnost ZEVO se neobejde bez strategického rozhodnutí státu, který pro rozvoj těchto zařízení musí vytvořit dlouhodobě stabilní podmínky, zejména nastavení výše poplatků za skládkování ve prospěch ZEVO. [67]

Další velkou bariérou rozvoje ZEVO je odpor části veřejnosti a ekologických organizací. Příkladem mohou být projekty ZEVO v Chebu a ve Vsetíně, které byly kvůli tlaku veřejnosti zrušeny. S peticí proti výstavbě se potýká i ZEVO Mělník, avšak v tomto případě se odpor

veřejnosti týká spíše již zmiňované nevyřešené dopravní situace. Komplikovaná výstavba se týká i již fungujících zařízení, například nejnovější ZEVO Chotíkov přišlo 3x o stavební povolení. [68, 69, 70, 71]

Odpor veřejnosti je možné zmírnit především poskytnutím dostatečného množství informací o tom, jak celé zařízení funguje, jak je vyřešeno čištění spalin, jaké jsou emisní limity pro ZEVO v porovnání např. s uhelnými elektrárnami a jak je ZEVO plní. To je možné ukázat na již úspěšně realizovaných projektech v ostatních městech ČR, kde se technologie osvědčila a nadále se rozvíjí.

4 PLÁN ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ ČR

Plán odpadového hospodářství je klíčový dokument, který slouží k řízení a realizaci dlouhodobé strategie ČR v této oblasti. Vztahuje se na nakládání se všemi druhy odpadů kromě několika výjimek, uvedených v zákonu o odpadech, a je plně v souladu s příslušnou evropskou legislativou. Nejdůležitější částí dokumentu je tzv. závazná část, která stanovuje dlouhodobé cíle odpadového hospodářství ČR. Současný plán odpadového hospodářství má platnost na rok 2015-2024 a od roku 2024 zakazuje skládkování odpadu, který lze jinak (např. energeticky) využít. [8, 72]

4.1 Cíle POH ČR

Závazná část POH ČR rozlišuje cíle podle významnosti na strategické a dílčí pro jednotlivé druhy odpadů. Zároveň uvádí zásady pro nakládání s odpady, pomocí kterých má být cíl dosaženo. Z důvodu rozsáhlé kategorizace odpadů jsou po strategických cílech uvedeny pouze dílčí cíle pro komunální a směsný komunální odpad. [8]

Strategické cíle POH ČR

- Předcházet vzniku odpadů a snižovat měrnou produkci odpadů.
- Minimalizovat nepříznivé účinky vzniku odpadů a nakládání s nimi na zdraví člověka a životní prostředí.
- Udržitelný rozvoj společnosti a přiblížení se k evropské „recyklační společnosti.“
- Maximálně využívat odpady jako náhradu primárních zdrojů; přechod na oběhové hospodářství. [8]

Cíle v oblasti nakládání s komunálními odpady

- Zavedení tříděného sběru minimálně pro odpady z papíru, plastů, skla a kovů do roku 2015.
- Zvýšit celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci minimálně na 50 % hmotnosti do roku 2020. (alespoň u odpadů jako papír, sklo, plasty a kovy) [8]

Cíle v oblasti nakládání se směsným komunálním odpadem

- Po vyřízení využitelných složek směsný komunální odpad zejména energeticky využívat v zařízeních k tomu určených v souladu s platnou legislativou. [8]

Vzhledem k tomu, že se směsný komunální odpad používá jako palivo při energetickém využití odpadů, je vhodné zmínit i některé zásady a opatření, které POH zavádí. Dokument uvádí, že je nutné významné omezení skládkování směsného komunálního odpadu a snížení jeho produkce. Pro splnění vytyčeného cíle je nutné správné nastavení podmínek energetického využití odpadů zejména v návaznosti na rámcovou směrnici o odpadech, úprava poplatku za skládkování využitelných komunálních odpadů a podpora budování infrastruktury nutné ke zvýšení podílu energetického využívání odpadu. [8]

4.2 Zhodnocení plnění cílů POH ČR

Strategické cíle

Předcházet vzniku odpadů se v letech 2015-2016 dařilo, neboť celková produkce všech odpadů (i ostatních a nebezpečných) poklesla o 8,3 %. Problematická však zůstává produkce komunálních odpadů, která v těchto letech vzrostla o 7,26 %. V letech 2017-2018 se cíl plnit nedařilo, protože celková produkce odpadů meziročně vzrostla o 9,5 %. Významný byl též nárůst

produkce nebezpečných odpadů o 17,2 %. Růst produkce komunálního odpadu nebyl tak výrazný jako v předchozím hodnotícím období, avšak stále se nedaří produkci snižovat. [3, 73, 74]

Cíl minimalizovat nepříznivé účinky vzniků odpadů na lidské zdraví byl v letech 2015-2016 plněn, neboť produkce všech odpadů i nebezpečných odpadů poklesla. Zároveň byl připraven Systém elektronického sledování přepravy nebezpečných odpadů (tzv. SEPNO), který umožňuje v reálném čase sledovat přepravu nebezpečných odpadů po celé ČR. Tento systém již byl v následujícím hodnotícím období v provozu. Ačkoliv v letech 2017-2018 produkce nebezpečných odpadů výrazně vzrostla, je s nimi správným způsobem nakládáno dle platné legislativy a metodiky. [73, 74]

Z celkové produkce odpadů se významná část materiálů využívá. Podíl materiálového využití se stabilně pohybuje přibližně mezi 81-84 %. ČR se posouvá k vyšším stupňům hierarchie nakládání s odpady a cíl udržitelného rozvoje společnosti je průběžně plněn. [73, 74]

Cíl využívat odpady jako náhradu primárních zdrojů se daří plnit jen částečně. Ačkoliv je podíl materiálového využití na celkové produkci odpadů velmi vysoký, oblast nakládání s komunálním odpadem stále zaostává a využívá nejméně vhodnou variantu, tj. skládkování. [73, 74]

Cíle v oblasti v oblasti nakládání s komunálním a směsným komunálním odpadem

Zavedení povinného sběru papíru, plastů, skla a kovů v obcích bylo v roce 2015 realizováno, sběr těchto druhů odpadů je v současné době funkční; první cíl v oblasti nakládání s komunálním odpadem byl splněn. [73, 74]

Cíl zvýšit celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci u vybraných druhů odpadů alespoň na 50 % hmotnosti do roku 2020 byl plněn rychleji, než bylo v POH ČR plánováno. Tab. 7 ukazuje plánovanou úroveň přípravy v porovnání se skutečnou. Oba dílčí cíle v oblasti nakládání s komunálním odpadem jsou řádně plněny, ačkoliv se jeho produkci nedaří snižovat. [73, 74]

Tab. 7: Celková úroveň přípravy k opětovnému využití a recyklaci. [73, 74]

Celková úroveň přípravy k opětovnému využití a recyklaci			
	2016	2018	2020
Plánované hodnoty [%]	46	48	50
Skutečné hodnoty [%]	51,2	52,1	-

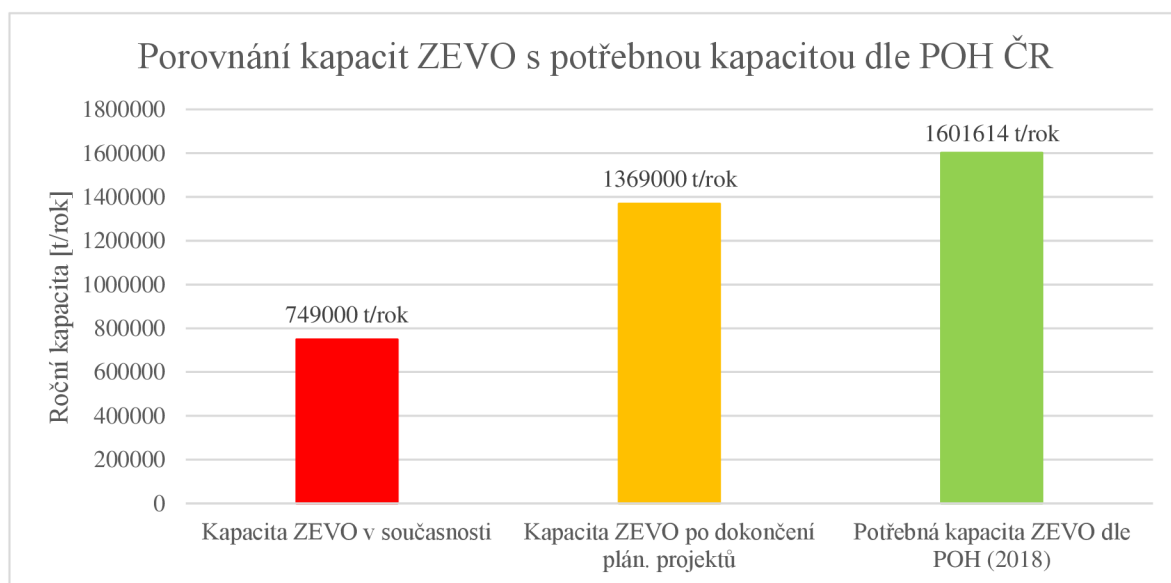
Komunální odpad se nedaří více energeticky využívat, neboť v nakládání s komunálními odpady stále dominuje skládkování. Podíl komunálních odpadů odstraněných skládkováním v letech 2015-2018 zobrazuje tab. 8.

Tab. 8: Podíl komunálních odpadů odstraněných skládkováním. [73, 74]

Podíl komunálních odpadů odstraněných skládkováním			
2015	2016	2017	2018
47,4 %	45,0 %	45,4 %	46,0 %

V ČR se podíl energetického využití komunálního odpadu dlouhodobě pohybuje kolem 12 %⁹. Situace v nakládání s komunálním odpadem je silně nevyhovující, protože podle POH ČR by se do roku 2024 mělo skládkovat pouze 12,3 % komunálního odpadu a 27,7 % energeticky využívat. S ohledem na současnou vysokou míru skládkování a stav, ve kterém se plánované projekty nových ZEVO nachází, je vysoce nepravděpodobné, že se tento cíl podaří splnit. O neplnění této části POH ČR vypovídá i fakt, že vláda ČR na konci roku 2019 schválila legislativu, která posouvá termín zákazu skládkování využitelného odpadu na rok 2030. [41, 73, 74, 76]

Nemožnost dosáhnout plánovaného podílu energetického využití odpadů je znázorněna i v grafu 6, který zobrazuje součet kapacit ZEVO v ČR, pokud by byly všechny plánované projekty dokončeny, v porovnání s potřebnou kapacitou dle POH ČR, potřebnou k dosažení 27,7 % podílu energetického využití.



Graf 6: Porovnání kapacit ZEVO s potřebnou kapacitou dle POH ČR. [50, 51, 52, 53, 56, 60, 61, 63, 64]

Z porovnání celkové kapacity všech ZEVO s roční produkcí odpadu dle MŽP plyne závěr, že ani při včasném dokončení projektů by kapacita všech zařízení nebyla dostatečná. Při plném naplnění kapacit by bylo možné energeticky využít pouze přibližně 23,7 % celkové roční produkce v roce 2018. A vzhledem k tendenci každoročního růstu produkce komunálního odpadu lze předpokládat, že v roce 2024 by daný podíl byl ještě menší. Cíle 27,7 % podílu energetického využití odpadů by nebylo dosaženo ani v případě zahrnutí plánovaného rozšiřování kapacit pražského a brněnského zařízení. [73, 74]

⁹ Z celkové produkce komunálního odpadu, kterou uvádí Ministerstvo životního prostředí. MŽP do bilance zahrnuje i živnostenské odpady (odpad podobný komunálnímu) a některé další odpadové toky. Z těchto důvodů je celková produkce dle MŽP mnohem vyšší než produkce komunálního odpadu uvedená v první kapitole, kde jsou uvedena data Českého statistického úřadu. (ta zahrnují pouze komunální odpad) [75]

ZÁVĚR

I přes snahy o minimalizaci vzniku odpadů ze strany EU a MŽP ČR produkce komunálního odpadu v ČR každoročně roste. Zvyšující se produkce odpadu vyžaduje nová technická řešení v oblasti nakládání s ním. Komunální odpad je svým složením velmi různorodý, avšak jeho průměrné složení poskytuje dostatečnou výhřevnost na to, aby mohl být použit jako palivo pro ZEVO k výrobě tepelné a elektrické energie. Složení odpadu se promítá i do ceny na výstavbu takového zařízení, neboť komunální odpad může obsahovat prvky, které se v klasických palivech téměř nevyskytují, proto je nutné zajistit efektivní, ale nákladný systém čištění spalin.

Energetické využití odpadů je oproti skládkování smysluplnou metodou nakládání s komunálním odpadem, neboť jako palivo se využívá odpad, který už nelze recyklovat či materiálově využít. Vzhledem k pozvolnému ústupu od spalování klasických paliv a připravovaném zákazu skládkování využitelných odpadů se EVO jeví jako vhodný zdroj tepelné a elektrické energie na lokální úrovni. Kromě využití uvolněného tepla k výrobě energie je významnou výhodou EVO i výrazná redukce objemu a hmotnosti odpadu po spálení, úspora fosilních paliv, možnost využití vyhořeného odpadu (např. na technické zabezpečení skládek) a důsledné dodržování přísných emisních limitů. Hlavní nevýhodou je především vysoká cena celého zařízení, zvýšená dopravní zátěž v okolí zařízení a produkce některých plynných emisí.

V České republice v současnosti fungují čtyři ZEVO, přičemž všechny používají podobnou technologii spalování i čištění spalin. Spalování na roštovém ohništi je osvědčená technologie, která splňuje všechny požadavky kladené na spalovací proces. Na rozdíl od některých nových technologií jsou s ní v ČR dlouholeté provozní zkušenosti (např. z provozu uhelných elektráren či starších tepláren). Zavedený systém čištění spalin bez problému dodržuje předepsané emisní limity. Žádné ZEVO v ČR plně nevyužívá svou kapacitu, ačkoliv se tomu některá zařízení přibližují. Z toho plyne, že výstavbou ZEVO se automaticky nezvýší podíl energeticky využívaného odpadu, neboť provozovatelé ZEVO musí neustále jednat o dodávkách odpadu s jeho producenty a zajistit tak naplnění kapacit a efektivní provoz.

Ačkoliv se v ČR plánuje několik nových projektů ZEVO, často se nachází v počáteční fázi stavby. Z dostupných informací je zřejmé, že i v plánovaných projektech bude použita již vyzkoušená technologie spalování na roštových ohništích z výše uvedených důvodů. Podobně je tomu i u systému čištění spalin. Výstavba nových zařízení se potýká s řadou problémů, mezi něž patří zejména odpor veřejnosti, ekologických organizací a nečinnost ze strany místních samospráv. Tento odpor není vždy opodstatněn, neboť všechny ZEVO se mají nacházet v oblastech, kde již funguje uhelná elektrárna či teplárna, které mají mnohem benevolentnější emisní limity a emise některých látek, které ZEVO sleduje, elektrárny a teplárny nesledují vůbec.

Cíle POH ČR se v oblasti nakládání se směsným komunálním odpadem nedaří plnit. Navýšení podílu energetického využití odpadů do roku 2024 prostřednictvím výstavby nových ZEVO není vzhledem ke stavu a počtu plánovaných projektů reálně dosažitelné. Výstavbu příliš neurčuje ani posun termínu zákazu skládkování využitelného odpadu, který pouze odsouvá řešení problematického nakládání s odpadem na později. Přiblížit se cíli navýšení EVO spíše pomůže rozšiřování kapacit a rekonstrukce stávajících zařízení, která v současnosti probíhá.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FIEDOR, Jiří. *Odpadové hospodářství I: učební text*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012. ISBN 978-80-248-2573-1.
- [2] Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů. In: *Sbírka zákonů České republiky*. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/%24file/Z%20185_2001.pdf
- [3] *Produkce, využití a odstranění odpadů v roce 2018* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2019 [cit. 2020-02-04]. Životní prostředí, zemědělství. ISBN 978-80-250-2957-2. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91605329/28002019.pdf/9ee05f2d-39d8-4215-b4ee-849b7761433f?version=1.2>
- [4] *Počet obyvatel podle regionů soudržnosti, krajů a okresů v 1. pololetí 2018* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2018 [cit. 2020-02-05]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61565994/13006218q214.pdf/240f0f8b-e0df-409f-8fa9-467405f54e5d?version=1.0>
- [5] BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ. Spalovny odpadu – odpad jako palivo. In: *Tzb-info.cz* [online]. 2014 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- [6] ŠVELLA, Vladimír. Na venkově je ovzduší čím dál horší. Plyn je drahý, brání se místní. In: *Idnes.cz* [online]. 2014 [cit. 2020-02-13]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/bydleni/stavba/zneclistene-ovzdusi.A140129_112101_stavba_web
- [7] Komunální odpad: skladba. *Informační stránky projektu SP/2f1/132/08* [online]. Praha: Univerzita Karlova [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: <http://www.komunalniodpad.eu/?str=skladba>
- [8] *Plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, 2014 [cit. 2020-02-16]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [9] Energetické využití odpadů ve spalovnách. *Marius Pedersen* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.mariuspedersen.cz/cs/o-marius-pedersen/sluzby/12.shtml>
- [10] Co je ZEVO? *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-02-18]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>
- [11] TCHOBANOGLIOUS, George a Frank KREITH. *Handbook of solid waste management*. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, c2002. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-713-5623-1.
- [12] HORÁK, Jiří a Petr KUBESA. O spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2). In: *Tzb-info.cz* [online]. 2012 [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-paliv-v-lokalnich-topenistich-2>
- [13] HORÁK, Jiří. Úvod do teorie spalování tuhých paliv. *Výzkumné energetické centrum* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská- technická univerzita [cit. 2020-03-02]. Dostupné z: <https://vec.vsb.cz/export/sites/vec/.content/galerie-souboru/194-spalovani-tuhych-paliv-1.pdf>
- [14] TOMÁŠKOVÁ, Veronika a Pavel GADAS. Jak ovlivní nový zákon o ovzduší spalování odpadů? In: *Envigroup.cz* [online]. 2013 [cit. 2020-03-03]. Dostupné z: <https://www.envigroup.cz/aktualita-460.html>
- [15] STENHOUSE, Kailyn, Jordan HANANIA, Ashley SHEARDOWN a Jason DONEV. Ash. In: *Energyeducation.ca* [online]. Calgary: University of Calgary [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <https://energyeducation.ca/encyclopedia/Ash>

- [16] STENHOUSE, Kailyn, Jordan HANANIA, Ashley SHEARDOWN a Jason DONEV. Fly ash. In: *Energyeducation.ca* [online]. Calgary: University of Calgary [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Fly_ash
- [17] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Dioxiny (PCDD/PCDF). In: *Arnika.org* [online]. [cit. 2020-03-12]. Dostupné z: <https://arnika.org/dioxiny-pcdd-pcdf>
- [18] STENHOUSE, Kailyn, Jordan HANANIA a Jason DONEV. Electrostatic precipitator. In: *Energyeducation.ca* [online]. Calgary: University of Calgary [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: https://energyeducation.ca/encyclopedia/Electrostatic_precipitator
- [19] PETRLÍK, Jindřich a Petr VÁLEK. Polychlorované bifenyly (PCB). In: *Arnika.org* [online]. [cit. 2020-03-14]. Dostupné z: <https://arnika.org/polychlorovane-bifenyly-pcb>
- [20] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN ISBN978-80-214-4770-7.
- [21] BÖSENHOFER, Markus, Amon PURGAR a Franz WINTER. The Role of Fluidized Bed Technology for Waste to Energy, Its Current Status and Potential-An Austrian Perspective. *ResearchGate* [online]. 2015 [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/326547977_The_Role_of_Fluidized_Bed_Technology_for_Waste_to_Energy_Its_Current_Status_and_Potential-An_Austrian_Perspective
- [22] Energetické využití odpadu. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [23] Princip technologie ZEVO. *Pražské služby* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/princip-technologie-zevo>
- [24] Princip. *ZEVO Plzeň* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/princip>
- [25] Popis technologie. *TERMIZO* [online]. [cit. 2020-03-16]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/technologie/technologie/>
- [26] Air-cooled grates. *Richard Kablitz* [online]. [cit. 2020-03-20]. Dostupné z: <https://www.kablitz.de/luftgekuehlte-roste/?lang=en>
- [27] Spalovna odpadu v Brně: informační brožura. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2020-03-22]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/materialy-ke-stazeni/cz/>
- [28] Popelovina. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-03-28]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/vykladovy-slovník-energetiky/hesla/popeloviny.html>
- [29] Vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečištění a jejím zjištění a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů České republiky*, 2012. Dostupné také z: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/AE682A6B5E42E986C1257BA60025D8B51/%24file/V%20415_2012.pdf
- [30] LIU, Hui, Sifang KONG, Yangsheng LIU a Hui ZENG. Pollution Control Technologies of Dioxins in Municipal Solid Waste Incinerator. *Procedia Environmental Sciences* [online]. 2012, **16**, 661-668 [cit. 2020-04-02]. DOI: 10.1016/j.proenv.2012.10.091. ISSN 18780296. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1878029612006299>
- [31] Směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 98/2008, o odpadech a o zrušení některých směrnic. In: *Úřední věstník Evropské unie*. 2008. Dostupné také z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/HTML/?uri=CELEX:32008L0098&from=CS#d1e938-3-1>

- [32] Jak fungují spalovny odpadu a kde je v ČR najdete? *SIEGL* [online]. 2016 [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.siegl.cz/blog/likvidace/jak-funguji-spalovny-odpadu-a-kde-je-v-cr-najdete>
- [33] Zdravotnický odpad- svoz, sběr. *Marius Pedersen* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://www.mariuspedersen.cz/cs/o-marius-pedersen/sluzby/9.shtml>
- [34] Spalovna nebezpečných odpadů Zlín - Malenovice. *Arnika* [online]. [cit. 2020-04-15]. Dostupné z: <https://arnika.org/spalovna-zlin-malenovice>
- [35] DLOUHÝ, Tomáš. *Výpočty kotlů a spalinových výměníků*. Vyd. 2. přeprac. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2002. ISBN 80-010-2591-8.
- [36] How water tube type boilers work? *Zhengzhou Boiler Group* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <http://www.zzboiler.org/how-water-tube-type-boilers-work.html>
- [37] ZEVO: informační leták. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/materialy-ke-stazeni/cz/>
- [38] HYŽÍK, Jaroslav. Energetická účinnost spaloven a rámcová směrnice o odpadech. *Odpadové fórum*. Praha, 2008, 9(10), 9-12. ISSN 1212-7779.
- [39] Historie pražské spalovny (ZEVO). *Pražské služby* [online]. [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/o-spalovne>
- [40] MANA, Radim. [Zařízení na energetické využití odpadu prošlo úspěšně druhou fází modernizace...]. In: *Pražské služby* [online]. 2020 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/zarizeni-na-energeticke-vyuziti-odpadu-proslo-uspesne-druhou-fazi-modernizace-a-v-techto-dnech-plni-zasadni-rolu-pro-mesto>
- [41] Infografika: Odpad jako zdroj energie. Jak je využíván v ČR a Evropě? In: *Oenergetice.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zivotni-prostredi/infografika-energeticke-vyuziti-odpadu-evrope-ceske-republice>
- [42] Historie. *TERMIZO* [online]. [cit. 2020-05-13]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/historie-a-soucasnost/>
- [43] MVV Energie CZ a.s. In: *Tzb-info.cz* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/firmy/mvv-energie-cz>
- [44] Základní informace. *TERMIZO* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/zakladni-informace/>
- [45] Historie. *Plzeňská teplárenská* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/historie/>
- [46] ZEVO – Spalovna Chotíkov. *CENTROPROJEKT* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://centroprojekt.cz/reference/zevo-spalovna-chotikov/>
- [47] O nás. *ZEVO Plzeň* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/o-nas>
- [48] „Zelená“ výroba tepla z odpadu má v Brně zelenou. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/novinka/cz/1263/zelena-vyroba-tepla-z-odpadu-ma-v-brne-zelenou/>
- [49] Schéma ZEVO. *ZEVO Plzeň* [online]. [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/schema>
- [50] Výroční zpráva 2018. *Pražské služby* [online]. 2019 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/upload/files/akcionari/2019/vyrocní-zprava-2018-final.pdf>
- [51] Výroční zpráva 2018. *SAKO Brno* [online]. 2019 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/dokumenty-ke-stazeni/cz/>

- [52] Výroční zpráva 2018-2019. *TERMIZO* [online]. 2019 [cit. 2020-05-06]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2020/04/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD-zpr%C3%A1va-2019.pdf>
- [53] Výroční zpráva 2018. *Plzeňská teplárenská* [online]. 2019 [cit. 2020-05-08]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zpravy/>
- [54] Základní slepá mapa České republiky s vyznačenými kraji. In: *Hotelove.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-05-12]. Dostupné z: <https://hotelove.cz/slepa-mapa-cr/>
- [55] Nestavíme. Nemáme odpad. In: *EVO Komořany* [online]. 2020 [cit. 2020-05-15]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/tiskove-zpravy/nestavime-nemame-odpad>
- [56] Technologie - základní údaje. *EVO Komořany* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/technologie-zakladni-udaje>
- [57] Výstupy spalovny. *EVO Komořany* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/vystupy-spalovny>
- [58] Umístění projektu. *EVO Komořany* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/umistení-projektu>
- [59] Harmonogram projektu. *EVO Komořany* [online]. [cit. 2020-05-16]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/harmonogram-projektu>
- [60] SOLDATOVA, Anna. Přípravy mělnického ZEVO se znovu rozjíždí. In: *Odpady-online.cz* [online]. 2020 [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/casopis-odpady-pripravy-melnickeho-zevo-se-znovu-rozjizdi/>
- [61] ZEVO Mělník. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2020-05-17]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/zevo-melnik.html>
- [62] VAŇOUS, Petr. Elektrárna boj o odpady nevzdává. In: *Hradecký deník* [online]. 2019 [cit. 2020-05-18]. Dostupné z: <https://hradecky.denik.cz/z-regionu/elektrarna-boj-o-odpady-nevzdava-20191126.html>
- [63] Územní energetická koncepce Hradec Králové a Pardubice- část C. *Město Hradec Králové* [online]. [cit. 2020-05-19]. Dostupné z: https://www.hradeckralove.org/assets/File.ashx?id_org=4687&id_dokumenty=63365
- [64] C-Energy chce v Plané postavit ZEVO za téměř miliardu Kč. In: *Oenergetice.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/c-energy-chce-v-plane-postavit-zevo-za-temer-miliardu-kc>
- [65] POSPÍŠILOVÁ, Lenka. Teplárna spouští jednotku na šetrné zpracování plastu. In: *Českokrumlovský deník* [online]. 2020 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://ceskokrumlovsky.denik.cz/z-regionu/teplarna-spousti-jednotku-na-setrne-zpracovani-plastu-20200108.html>
- [66] Proč byla vybrána zrovna technologie roštového ohniště? Není příliš zastaralá? *EVO Komořany* [online]. 2019 [cit. 2020-05-20]. Dostupné z: <https://www.evokomorany.cz/clanky/proc-byla-vybrana-zrovna-technologie-rostoveho-ohniste-neni-prilis-zastarala>
- [67] *Energetické využití odpadů: odpad je nevyčerpateľný zdroj energie : [tematická informační příručka]* [online]. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2010 [cit. 2020-05-20]. ISBN 978-80-85990-15-7. Dostupné z: <http://www.odpadjeenergie.cz/uzitecne/ke-stazeni/soubory-ke-stazeni>
- [68] Cheb: Projekt spalovny končí, město se soustředí na třídění. In: *Regionzapad.cz* [online]. 2019 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://www.regionzapad.cz/zpravodajstvi/cheb-projekt-spalovny-konci-mesto-se-soustredi-na-trideni-tv-zapad-147466/>

- [69] Spalovna se ve Vsetíně stavět nebude, alespoň zatím. In: *Arnika.org* [online]. 2019 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://arnika.org/spalovna-se-ve-vsetine-stavet-nebude-alespon-zatim>
- [70] Babiš na Mělnicku převzal petici proti plánované spalovně. In: *Oenergetice.cz* [online]. 2018 [cit. 2020-05-21]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/elektrina/babis-na-melnicku-prevzal-petici-proti-planovane-spalovne>
- [71] MORAVEC, Jan. ZEVO Chotíkov - trnitá cesta moderní spalovny odpadů. In: *Oenergetice.cz* [online]. 2016 [cit. 2020-05-22]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/zevo-chotikov-trnita-cesta-moderni-spalovny-odpadu>
- [72] Plán odpadového hospodářství ČR. *Ministerstvo životního prostředí ČR* [online]. [cit. 2020-06-03]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr
- [73] Zpráva o plnění cílů POH ČR v období 2015-2016. *Ministerstvo životního prostředí ČR* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/\\$FILE/OODP-Zprava_o_plneni_POH_CR_2015_2016_20170105.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Zprava_o_plneni_POH_CR_2015_2016_20170105.pdf)
- [74] Zpráva o plnění cílů POH ČR v období 2017-2018. *Ministerstvo životního prostředí ČR* [online]. Praha, 2019 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/\\$FILE/OODP-Zprava_plneni_POH_CR_2017_2018-20191217.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Zprava_plneni_POH_CR_2017_2018-20191217.pdf)
- [75] Odpady v číslech. In: *Arnika.org* [online]. 2017 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://arnika.org/odpady-v-cislech>
- [76] Česko čeká velká odpadková revoluce, vláda dnes schválila novou odpadovou legislativu. In: *Ministerstvo životního prostředí ČR* [online]. 2019 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_20191207_cesko_ceka_velka_odpadkova_revoluce_vlada_dnes_schvalila_novou_odpadovou_legislativu

SEZNAM GRAFŮ

- Graf 1: Produkce komunálního odpadu v krajích ČR.
- Graf 2: Průměrná skladba komunálního odpadu v ČR.
- Graf 3: Porovnání podílu látkových skupin ve městech a na venkově.
- Graf 4: Vztah mezi přebytkem vzduchu, koncentrací složek ve spalinách a účinností.
- Graf 5: Dosažená úroveň emisních limitů ZEVO.
- Graf 6: Porovnání kapacit ZEVO s potřebnou kapacitou dle POH ČR.

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Základní části roštového ohniště.
- Obr. 2: Přesuvný rošt.
- Obr. 3: Vratisuvný rošt typu Martin.
- Obr. 4: Válcový rošt.
- Obr. 5: Porovnání velikosti částic popela a popílku.
- Obr. 6: Princip elektrostatického odlučovače.
- Obr. 7: Hierarchie nakládání s odpady.
- Obr. 8: Zjednodušené schéma výparníku.
- Obr. 9: Technologické schéma části procesu společnosti SAKO.
- Obr. 10: Mapa plánovaných projektů ZEVO.

SEZNAM TABULEK

- Tab. 1: Vývoj produkce komunálního odpadu v ČR.
- Tab. 2: Průměrný podíl látkových skupin v domovním odpadu.
- Tab. 3: Vlhkost a výhřevnost vybraných složek odpadu.
- Tab. 4: Příklad prvkového složení komunálního odpadu v sušině.
- Tab. 5: Technické parametry kotle SAKO Brno.
- Tab. 6: Srovnání ZEVO v ČR za rok 2018.
- Tab. 7: Celková úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci.
- Tab. 8: Podíl komunálních odpadů odstraněných skládkováním.