

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV ŘÍZENÍ A EKONOMIKY PODNIKU



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Ekonomické aspekty ekologizace výroby tepla

AUTOR: Michael Soukup

STUDIJNÍ PROGRAM: Výroba a ekonomika ve strojírenství

VEDOUCÍ PRÁCE: Ing. Ladislav Vaniš

PRAHA 2019

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Soukup** Jméno: **Michael** Osobní číslo: **419115**
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**
Zadávající katedra/ústav: **Ústav řízení a ekonomiky podniku**
Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**
Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Ekonomické aspekty ekologizace výroby tepla

Název bakalářské práce anglicky:

Economic Aspects of Heat Production Greening

Pokyny pro vypracování:

1. Úvod: zdůvodnění zadání a cíle práce
2. Teoretická část: ekonomické dopady znehodnocení životního prostředí vlivem spalování, charakteristika rizik.
3. Analytická část: popis stávající technologie ve spalovně z ekonomického hlediska, environmentální náklady. Měření emisí.
4. Návrhová část: návrhy a opatření na základě zjištěných poznatků a měření. Ekonomické vyhodnocení návrhů.
5. Závěr: zhodnocení dosažených výsledků.

Seznam doporučené literatury:

- [1] KARAFIÁT, Josef. Studie současného stavu a návrh opatření vedoucích ke stabilizaci a dalšímu rozvoji teplárenství v ČR: Manažerský souhrn. 2010.
- [2] MOLDAN, Bedřich. Ekonomické aspekty ochrany životního prostředí: situace v České republice. Praha: Karolinum, 1997. ISBN 80-7184-434-9.
- [3] VEBER, Jaromír, Marie HŮLOVÁ a Alena PLÁŠKOVÁ. Management kvality, environmentu a bezpečnosti práce: legislativa, systémy, metody, praxe. 2., aktualiz. vyd. Praha: Management Press, 2010. ISBN 978-80-7261-210-9.

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

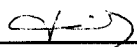
Ing. Ladislav Vaniš, ústav řízení a ekonomiky podniku FS

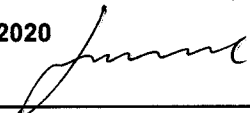
Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:

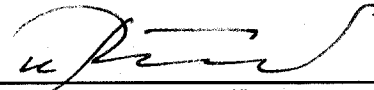
Datum zadání bakalářské práce: **17.04.2019**

Termín odevzdání bakalářské práce: **26.07.2019**

Platnost zadání bakalářské práce: **28.02.2020**


Ing. Ladislav Vaniš
podpis vedoucí(ho) práce


prof. Ing. František Freiberg, CSc.
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry


prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.
podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

30.4.2019
Datum převzetí zadání


Podpis studenta

Prohlašuji, že jsem tuto práci vypracoval samostatně, a to výhradně s použitím pramenů a literatury, uvedených v seznamu citovaných zdrojů.

V Praze dne:

.....

Michael Soukup

Anotace:

Bakalářská práce se zabývá ZEVO a zejména ekonomickou stránkou provozu sekundárních metod čištění spalin. Práce se věnuje zákonům týkajících se ZEVO, složením komunálního odpadu, emisemi a základními prvky termické části a části čištění spalin ZEVO. Práce rozebírá vliv úřednických rozhodnutí na ekonomiku provozu a ekologické dopady.

Klíčová slova:

ZEVO, komunální odpad, energetické využití odpadu, legislativa, emise spalin

Annotation:

This bachelor thesis focuses on the Waste to energy plant, especially analyses economics of NO_x and PCDD/F reduction. Thesis also evaluates WTE legislation, composition and characterization of municipal waste, emissions, incineration and flue gas cleaning systems.

The next part describes how decisions of administration affects economics and ecological impacts of WTE plant.

Keywords:

WTE plant, municipal waste, waste to energy, legislation, emissions from incineration

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat mému vedoucímu práce panu Ing. Ladislavu Vanišovi za cenné rady a hlavně za trpělivost.

Dále bych rád poděkoval ekologovi ZEVO Ing. Tomášovi Balochovi za poskytnutí podkladů a za předání spousty důležitých informací.

Obsah

1	Úvod	10
1.1	ZEVO Malešice.....	10
1.2	Cíle práce	10
2	Teoretická část.....	11
2.1	Zákon o odpadech 185/2001 Sb.....	12
2.1.1	Komunální odpad	13
2.1.2	Odpad podobný komunálnímu odpadu	13
2.1.3	Skládkování a recyklace odpadů	13
2.1.4	Vlivy spalování odpadů na životní prostředí.....	13
2.1.4.1	Principy spalování	14
2.1.5	Evropská hierarchie nakládání s odpady	16
2.2	Zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.	17
2.3	Vyhláška 415/2012 Sb. - O přípustné úrovni znečišťování	17
2.4	Složení odpadu.....	20
2.4.1	Množství odpadu vyprodukovaného občany.....	20
2.4.1.1	Výzkum Přírodovědecké fakulty UK	20
2.4.1.2	Statistický úřad – za rok 2017	20
2.4.2	Skladba odpadu v České republice.....	23
2.5	Svoz odpadu.....	23
2.6	Základní emise spalin.....	25
2.6.1	TZL.....	25
2.6.2	NO _x	25
2.6.3	PCDD/PCDF	26
2.6.4	CO.....	26
2.6.5	HCl	27
2.6.6	HF.....	27

2.6.7	Těžké kovy (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)	28
2.7	Tuhé zbytky po spalování	28
2.8	Charakteristika rizik	29
3	Analytická část	29
3.1	ZEVO	29
3.2	Technologie ZEVO Malešice	29
3.2.1	Roční bilance odpadů	29
3.2.2	Původní instalovaná technologie (1997-1998)	30
3.2.3	Modernizace technologie (2000-2010)	30
3.2.4	Úprava technologie 2017-2022	31
3.3	Druhy spalovacích pecí a topenišť	31
3.3.1	Roštové pece	31
3.3.2	Rotační pece	37
3.3.3	Muflové pece	38
3.3.4	Etážové pece	38
3.3.5	Fluidní pec	38
3.4	Čištění spalin	39
3.4.1	První stupeň	39
3.4.1.1	Tkaninový filtr (rukávový)	39
3.4.1.2	Elektrostatický odlučovač	40
3.4.2	Druhý stupeň	41
3.4.2.1	Suché procesy	41
3.4.2.2	Polosuché procesy	42
3.4.2.3	Mokré procesy	44
3.5	Denitrifikace spalin	44
3.5.1	SNCR (selective non catalic reduction)	45
3.5.2	SCR (Selective Catalytic Reduction)	45

3.6	Třetí stupeň.....	46
3.7	Ekonomie provozu sekundárních metod snižování emisí před rekonstrukcí 47	
3.7.1	Denitrifikace	47
3.7.2	Systémy rozkládající dioxiny	50
3.7.3	Financování akce GOLEM – Generální obnova a ekologizace ZEVO Malešice 51	
3.7.4	GOLEM.....	51
3.8	Emise ZEVO Malešice.....	52
4	Návrhová část	53
4.1	Systematictější zavádění snižování emisí v provozech na energetické využití odpadů 53	
4.2	Třídění bioodpadu	55
5	Závěr.....	56
6	Seznam zdrojů:	57
7	Seznam obrázků.....	59
8	Seznam rovnic	60
9	Seznam tabulek.....	61

1 Úvod

Jako člověk s celoživotním zájmem o ekologii vím, jaký je pohled veřejnosti na ZEVO. Chtěl jsem zařízení lépe pochopit a vytvořit si názor na termické zpracování odpadu.

S blížícím se koncem skládkování v České republice nabude význam ZEVO na významu. Aktuálně probíhající rekonstrukce v pražských Malešicích je ideální příležitostí pro přiblížení si této problematiky.

1.1 ZEVO Malešice

Provozovatelem jsou Pražské služby a.s. (dále jen Pražské služby), jehož majitelem je Magistrát hlavního města Prahy. Ten vlastní akcie společnosti, jejichž souhrnná jmenovitá hodnota je 100 % základního kapitálu společnosti a se kterými je rovněž spojen 100 % podíl na hlasovacích právech. Pražské služby se věnují svozu odpadů, letní a zimní údržbě komunikací, provozování sběrných dvorů, provozování třídíren odpadů a též provozují Zařízení pro energetické využití odpadu v pražských Malešicích.¹

ZEVO v Malešicích je kapacitně největším zařízením pro energetické využití odpadů v České republice. Ročně se tu využije přes 300 000 tun odpadu. Kapacitně jsou Malešice schopné zpracovat všechny směsný komunální odpad v Praze a jsou schopny pojmout i část odpadu z přilehlých měst a vesnic Středočeského kraje.

V ZEVO se zbaví 3 problémů na jednom místě. Odstraní odpad, vyrobí z něho jak tepelnou, tak elektrickou energii a vytvoří desítky pracovních míst.

V dnešní době probíhá plánovaná výměna kotlů. Kotle slouží již přes 20 let a jsou na hranici své životnosti. Náklady na obnovu jsou odhadovány na 2,8 miliardy korun. Původní kotle byly uvedeny do provozu v letech 1997 až 1998. ²Výroba kotlů probíhala na začátku 90 let minulého století a tím pádem jsou prakticky 25 let zastaralé, což se samozřejmě projevuje na efektivitě a ekologičnosti provozu.

1.2 Cíle práce

Cílem práce bude shrnout ekonomické aspekty provozu zařízení pro energetické využití odpadu, zjistit aspekty tvorby českých zákonů pro zacházení s odpady, které se častokrát nesmyslně zpříšňují pro dosažení snížení určité emise, která je ale bohužel

¹ Výroční zpráva, ww.Psas.cz, 2019

² Výroční zpráva 2019

vykoupena zvýšením emise jiné. Dále je cílem práce popsat technologické změny v ZEVO Malešice. V neposlední řadě též popsat ekonomické aspekty výměny kotle.

Práce je převážně zaměřená na systémy SCR a SNCR pro sekundární snižování emisí, které byly nainstalovány v letech 2001 a 2010. Po výměně kotlů bude vyhřívání katalyzátoru SCR zajištěno z kotle, jelikož samotný kotol tak bude již konstruován. Kapacita kotlů by se též měla zvýšit, vzhledem k tomu, že by se mohl vozit komunální odpad i ze Středočeského kraje, neboť v roce 2024 bude zcela zakázáno skládkování komunálního odpadu.

Výměna kotle (akce GOLEM) bude probíhat rychlostí 1 kotol/rok, proto se počítá s dokončením výměny v roce 2022.

2 Teoretická část

Hromadění odpadů je v dnešní době čím dál častější téma veřejných diskuzí a je těžké tento problém ignorovat. S blížícím se zákazem skládkování komunálního odpadu stoupá významnost zařízení pro energetické využití odpadu. Práce se týká Zařízení pro energetické využití odpadu v Malešicích, které je největším zařízením svého druhu v České republice.

Dle zákona 185/2001 Sb. O odpadech je spalovnou komunálních odpadů zařízení, které využívá odpad jako palivo nebo jiným způsobem k výrobě energie. Zařízení musí být velice účinné. Nejnižší možný limit je 65% energetické účinnosti pro zařízení, které byly zprovozněny po roce 2009. Pro zařízení uvedené do provozu před rokem 2009 platí účinnost 60 %.

Díky této efektivnosti má zařízení nárok na investiční úspory. Pokud má účinnost nižší, je zařízení určeno pouze k odstraňování odpadu, čímž ztrácí nároky na investiční úspory.

Efektivnost představuje koeficient R1. Pro výpočet jsou zahrnuta veškerá dostupná data o palivech a využitém odpadu. Vypočítaný koeficient je výpočtem z produkci tepla a spotřeb a vychází 0,67. Provoz ZEVO v Malešicích je neustále zlepšován a optimalizován. V současnosti probíhá výměna kotlů, což je nejpodstatnější částí zařízení pro energetické využití odpadu.

Výpočet koeficientu je dán zákonem číslo 185/2001 Sb., o odpadech.

Rovnice 1 – Výpočet koeficientu R1

$$R1 = \frac{E_p - (E_f - E_i)}{0,97 * (E_w - E_f)}$$

Kde: E_p - vyrobená energie ve formě tepla a elektřiny

E_f – energie obsažená v přídavném palivu

E_w – energie obsažená ve zpracovávaném odpadu

E_i – energie přivedená z jiných zdrojů

0,97 – koeficient ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování

Tabulka 1 výpočet koeficientu R_1 ³

Teoretický výpočet koeficientu R_1			
E_p	Teplo a elektřina pro komerční účely	Gj/rok	2 099 200
	Vyrobené teplo	Gj/rok	1 100 000
	vyrobená elektřina	mWh/rok	95 000
E_f	importované teplo	Gj/rok	36 000
	spotřeba ZP	MWh/rok	10 000
E_i	importovaná energie	Gj/rok	340 000
	spotřebované teplo	Gj/rok	250 000
	spotřebovaná elektřina	MWh/rok	25 000
E_w	energie v odpadu	Gj/rok	294 000
	množství odpadu	t/rok	300 000
	průměrná výhřevnost	Gj/t	10
$R_1 = (E_p - ((E_f + E_i) / 0,97(E_w + E_f))) = 0,67$ (67%)			

2.1 Zákon o odpadech 185/2001 Sb.

Zákon se snaží motivovat firmy a obyvatele k dodržování hierarchie nakládání s odpady. Dbá se důraz na zmenšení množství skládkování a podporuje se recyklace. Zákon tedy stanovuje poplatky za jednotlivé odstraňování odpadů. Jsou vytvořeny proto, aby se skládkování odpadů již tolik nevyplácelo.

Z poplatku mají příjem obce a z rizikového odpadu má příjem Státní fond životního prostředí. Pokud obec ukládá své odpady na skládku na jejím území, poplatek platit nemusí.

Obec může motivovat obyvatele, aby více třídili odpad vybíráním poplatku za komunální odpad na jejím území. Ve většině obcí je poplatek vyměřován všem obyvatelům stejně. Poplatek má fixní složku a poté variabilní, která se vyměří na konci roku podle

³ MAREŠ, (2014)

celkových nákladů obce na manipulaci s odpady. To ale nemotivuje k lepšímu a účinnějšímu třídění odpadu. Obec má nyní možnost variabilní složku poplatníkovi vyměřit tak, aby zaplatil svůj vyprodukovaný odpad. Obyvatel obce zaplatí za množství odvozu odpadu jím vyprodukovaným.

2.1.1 Komunální odpad

Ve vyhlášce č. 381/2001 Sb. Se KO rozumí: „*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.*“⁴

2.1.2 Odpad podobný komunálnímu odpadu

Odpadem podobným komunálnímu odpadu je: „*veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů.*“⁵

2.1.3 Skládování a recyklace odpadů

Dle evropské legislativy by se v roce 2025 úroveň recyklace měla navýšit a měli bychom být schopni recyklovat 55 % odpadů. V roce 2030 by to mělo být 60 % a v roce 2035 65 %⁶ odpadů. Skládování v roce 2035 se sníží na 10 %⁷ z objemu vytvořených odpadů toho roku.

Česká legislativa je ale o poznání tvrdší a stanovuje v Zákonu o odpadech 186/2001, paragraf 21, bod sedmý: „na skládky je od roku 2024 zakázáno ukládat směsný komunální odpad a recyklovatelné a využitelné odpady stanovené prováděcím právním předpisem.“

2.1.4 Vlivy spalování odpadů na životní prostředí

Vzhledem k velkému problému České republiky se skládováním odpadu, je energetické využívání odpadu nejbezpečnějším způsobem odstranění odpadu. Na odpad se dá pohlížet i jako na možný zdroj energie, což v době energetických krizí nabývá na významu. Vliv skládování odpadů byl zpracován v mnoha studiích. Skládování sice ukázalo větší výskyt onemocnění u dětí, ale vzhledem k různým výsledkům studií, se to nedá

⁴ Vyhláška č. 381/2001 Sb. § 4, 1b

⁵ Vyhláška č. 381/2001 Sb. § 4, 1c

⁶ Ministerstvo životního prostředí, 2019

⁷ Česká asociace odpadového hospodářství, 2019

s jistotou tvrdit. Příkladem mohou být studie v „trojúhelníku smrti“ v italském regionu Kampánie, kde studie neprokázaly jasnou spojitost a je potřeba sledovat spojitosti i nadále.⁸

V České republice existují 4 zařízení na energetické využití komunálního odpadu. Odpad se spálí a následně se teplo využívá pro technologické potřeby nebo pro výrobu elektrické energie.⁹ Po celé Evropské unii je v provozu 518 ZEVO¹⁰.

Odpad má nehomogenní složení. Liší se místem, kde byl odebrán, roční dobou a též se nedá spolehnout na všechny obyvatele z hlediska třídění odpadu. Jeho spalování je složitý proces.

2.1.4.1 Principy spalování

Spalovat je možné různé druhy odpadů. Komunální odpad je heterogenním materiálem, což působí mnoho problémů při jeho termické likvidaci.

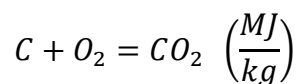
Dle Kuraše (2014) kvalita paliva je určena třemi hlavními parametry: obsahem hořlaviny, popeloviny a vody. Palivo, které bude hořet musí mít dostatečný obsah hořlaviny. Výhřevnost komunálních odpadů se pohybuje mezi 4000 kJ.kg⁻¹ až 10 000 kJ.kg⁻¹. Výhřevnost průmyslových odpadů se značně liší podle původu odpadů a pohybuje se většinou mezi 15 000 kJ.kg⁻¹ až 40 000 kJ.kg⁻¹ (polyethylen).

Spalovací proces není dokonalý a jako u každého spalovacího procesu unikají jeho meziprodukty, vstupující suroviny a spaliny do ovzduší.

Spalování probíhá chemickou řetězovou reakcí v několika stupních za sebou, kdy dochází ke slučování chemických látek za intenzivního vývinu tepla, které způsobuje rychlé zvýšení teploty reagujících příměsí v odpadu. K uvolnění energie z odpadu (odpad bereme pro spalovnu jako palivo) se užívá chemické reakce uhlíku, vodíku a síry s kyslíkem dle těchto základních rovnic.

Spalování uhlíku na oxid uhličitý:¹¹

Rovnice 2 Spalování uhlíku



Spalování vodíku na vodní páru¹²

⁸ TRIASSI Maria ,ALFANO Rossella ,ILLARIO Maddalena ,NARDONE Antonio, CAPORALE Oreste, MONTUORI Paolo (2015)

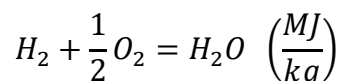
⁹ Skupina ČEZ, Co je ZEVO

¹⁰ Skupina ČEZ, ZEVO v zahraničí

¹¹ Malat'ák, Vaculík, 2008

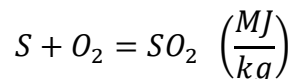
¹² Malat'ák, Vaculík, 2008

Rovnice 3 Spalování vodíku



Spalování síry na oxid siřičitý¹³

Rovnice 4 Spalování síry



Prvky, které jsou zdrojem hoření jsou organické prvky, které obsahuje odpad. Kyslík je brán ze vzduchu. Odpad tvoří hořlavé, ale i nehořlavé látky.

Pokud je odpad plný vody, popelu nebo je v něm nevytříděný odpad, dochází k nedokonalému spalování, palivo se nám nerozloží na základní sloučeniny z rovnic, které jsou v předešlém textu vyznačeny, ale v plynných spalinách najdeme CO, NO, NO₂ či C_xH_x (Kurfürst, 2008).

Každé zařízení, co něco spaluje nedosahuje úplně 100 % spálení svého paliva, proto se musí dbát na aplikaci funkčních a moderních technologií. Naše legislativa stanovuje zákony sloužící k ochraně životního prostředí, které jsou rozebrány dále v textu.

Pochody spalování v kotli ¹⁴

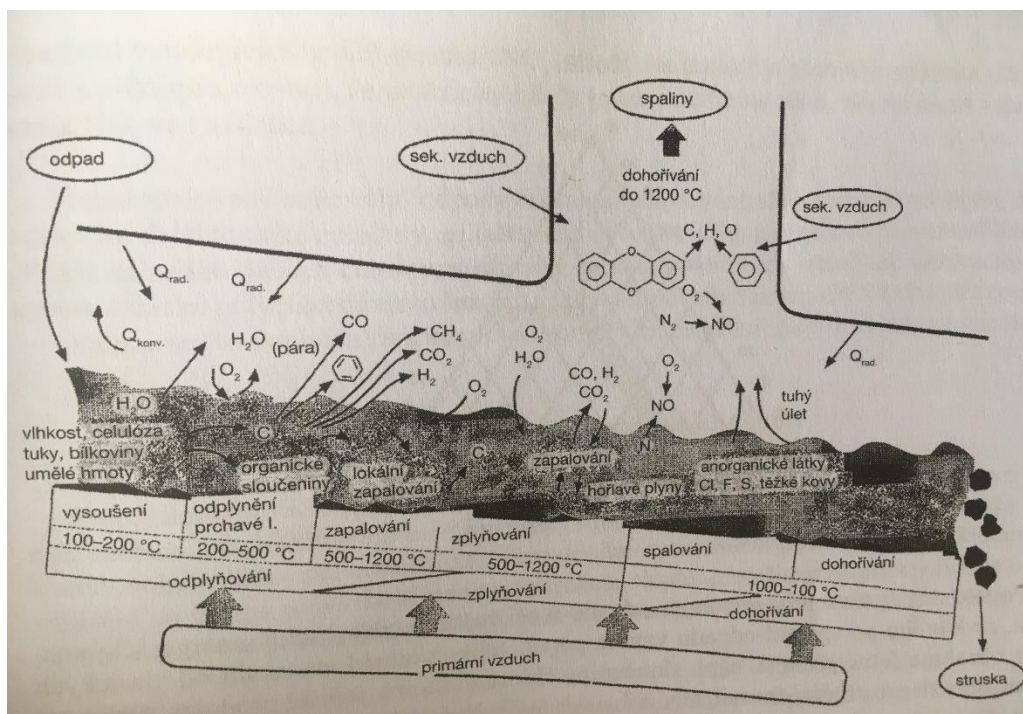
Předsoušení odpadu – odpady se předsoušejí sáláním plamene z dalších pásem spalování a vzduchem, který přivádí rošt (s teplotou okolo 100°C)

- **Odplynění odpadů** - sáláním plamene nebo klenby spalovacího prostoru se odpady zahřívají na teplotu 200 – 600 °C, přičemž již dochází k reakcím mezi kyslíkem a uhlíkatými látkami v odpadech, které začínají odplyňovat a oxidovat; přitom se vyvíjejí hořlavé plyny
- **Zapálení odpadu** – v této fázi, jež se prolíná s druhou fází, vznikají na povrchu odpadového lože místní ložiska hoření
- **Spalování odpadů** – lože odpadů se povrchově prohořívá a dalším přiváděním spalovacího vzduchu vznikají nová ložiska hoření; plyny se vyvíjejí ve větší hloubce, procházejí vyšší vrstvou odpadů a nad nimi vyhořívají - v samotném loži je teplota 500 – 800 °C, vzduch se přivádí v této fázi s přebytkem 10 – 30 %;

¹³ MALAŤÁK, VACULÍK, 2008

¹⁴ KURAŠ, Mečislav, 2014

- **Hoření** - hoří plyny i vzniklý polokoks, teplota se zvyšuje až na cca 1000 °C, teplo vyvinuté v loži se odvádí spalínami, v loži vzniká popel a škvára, přebytek vzduchu bývá až 40 %
- **Vyhořívání a odvádění tepla** – plyny i polokoks dále vyhořívají a vzniká velké množství tepla, které je nutno odvádět; spalovací vzduch se přivádí v přebytku 20 až 40 %, teplota může dosahovat až 1200 °C, musí se udržovat pod bodem tání popela vysokým přebytkem vzduchu; z roštu odchází škvára, popel a nespálené zbytky odpadů



Obrázek 1 Následnost pochodů při spalování odpadů a složení plyných produktů¹⁵

2.1.5 Evropská hierarchie nakládání s odpady

Je součástí zákona o odpadech a zní takto:

- Předcházení vzniku odpadů
- Opětovné využití odpadů
- Recyklace
- Jiné využití (energetické)
- Skládkování
- Spalování odpadů

¹⁵ KURAŠ, Mečislav, 2014

Skládkování odpadů bude vždycky levnější než jejich recyklace či energetické využití. Proto se v poslední době navýšil poplatek za skládkování a je plánováno skládkování kompletně zakázat. Dle MZVP by každý milion tun odpadu mohl přinést 8-10 tisíc pracovních míst (Horsák, 2016).

2.2 Zákon o ochraně ovzduší 201/2012 Sb.

„Zákon se stará o to, aby nedocházelo ke zhoršení stavu ovzduší okolo průmyslových zařízení. V samotném zákoně se zařízení definuje jako významný zdroj znečištění. Pro tuto práci jsem se zaměřil pouze na informace důležité pro ZEVO. Právní norma, která se vztahuje na ZEVO pojednává o procesu jeho funkce takto: „Rozumí se tepelným zpracováním oxidací odpadu nebo jeho zpracování jiným termickým procesem, včetně spalování vzniklých látek, pokud by tím mohlo dojít k vyšší úrovni znečišťování oproti spálení odpovídajícího množství zemního plynu o stejném energetickém obsahu specifické požadavky na spalovnu odpadu. Jako spalovnu odpadu označuje stacionární zdroj určený k tepelnému zpracování odpadu, jehož hlavním účelem není výroba energie ani jiných produktů a jakýkoliv stacionární zdroj, ve kterém více než 40% tepla vzniká tepelným zpracováním nebezpečného odpadu nebo ve kterém se tepelně zpracovává neupravený směsný komunální odpad.“¹⁶

2.3 Vyhláška 415/2012 Sb. - O přípustné úrovni znečišťování

Kapitola 2.3 je napsána na základě platné vyhlášky č. 415/2012 Sb. *o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší.*¹⁷

Emisní limity pro spalovny komunálního odpadu jsou vztaženy k celkové jmenovité kapacitě, na normální stavové podmínky (T=273,15 K; p=101,325 kPa; obsah kyslíku 11%). Dle přílohy 4, část 1, bod 1 – tab. č. 7:

¹⁶ Zákon 201/2012 Sb.

¹⁷ Vyhláška 415/2012 Sb.

Tabulka 2 Emisní limity dle vyhlášky 415/2012

Znečišťující látka	Emisní limit (mg*m-3)			
	denní průměr	Půlhodinové průměry		10 minutový průměr
		97%	100%	95%
TZL	10	10	30	-
NOx	400 200	200	400	-
SO2	50	50	200	-
TOC	10	10	20	-
HCl	10	10	60	-
HF	1	2	4	-
CO	50	-	100	150

Emisní limit při kontinuálním měření emisí na stacionárních zdrojích tepelně zpracovávajících odpad je brán za splněný, jsou-li následující podmínky vyhlášky splněny.

Žádná z platných denních hodnot nepřekročí hodnoty specifických emisních limitů

Žádná z platných půlhodinových průměrných hodnot nebo v případech relevantních, 97 % ze všech půlhodinových průměrných hodnot v kalendářním roce nepřekročí žádnou hodnotu specifických emisních limitů

97 % všech denních průměrných hodnot koncentrací oxidu uhelnatého v kalendářním roce nepřekročí hodnotu specifického emisního limitu

95 % desetiminutových průměrných hodnot nebo všechny půlhodinové průměrné hodnoty koncentrací oxidu uhelnatého za období 24 hodin nepřekročí specifické emisní limity, u zdrojů u nichž je teplota spalin minimálně 1100 °C po dobu alespoň 2 sekund, může být použito pro vyhodnocení desetiminutových průměrů sedmidenní hodnotící období.

Za kalendářní rok není z důvodů poruchy nebo údržby systému kontinuálního měření vypuštěno více než 10 platných denních průměrných hodnot.

Dále v příloze č. 4, část II o technických podmínkách provozu stanovuje:

V zásobníku odpadu stacionárních zdrojů tepelně zpracovávajících komunální odpad je trvale udržován podtlak a odsávaný vzduch přiváděn do ohniště. Pokud neprobíhá spalování, vzduch odsávaný ze zásobníku odpadu se odvádí do výduchu schváleného v rámci povolení provozu.

Stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad se konstruuji a provozují způsobem, který zaručuje, že

- a) u spalovny odpadu je zajištěna dostatečná doba setrvání tepelně zpracovávaného odpadu v prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování, za účelem dokonalého vyhoření nebo tepelného rozkladu tak, aby struska a popel obsahovaly méně než 3 % celkového organického uhlíku, nebo aby ztráta žíháním byla menší než 5 % hmotnosti suchého materiálu,
- b) odpadní plyn je za posledním přívodem spalovacího vzduchu řízeným způsobem ohřát ve všech místech profilu toku odpadního plynu, a to i za nejméně příznivých podmínek, na teplotu nejméně 850°C po dobu nejméně dvou sekund, měřeno v blízkosti vnitřní stěny nebo v jiném reprezentativním místě spalovací komory schváleném v rámci povolení provozu; pokud se spaluje nebezpečný odpad s obsahem organických sloučenin chloru vyjádřených jako chlor vyšším než 1 %, musí tato teplota dosáhnout nejméně 1100°C po dobu nejméně dvou sekund,
- c) ve spalovně odpadu se automaticky zapne nejméně jeden pomocný hořák v každé spalovací komoře, který nesmí spalovat palivo, jehož spálením by vznikly vyšší emise než ze spalování plynového oleje, zkapalněného plynu nebo zemního plynu, v těchto případech:
 1. během uvádění stacionárního zdroje tepelně zpracovávajícího odpad do provozu a jeho odstavování s cílem zajistit, že stanovená teplota bude v prostoru, v němž dochází k tepelnému zpracování odpadu, udržena po celou tuto dobu, dokud je v prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování odpadu, nějaký nespálený odpad,
 2. pokud teplota odpadního plynu po posledním vstřiku spalovacího vzduchu poklesne pod stanovenou teplotu 850°C nebo 1100°C podle tepelně zpracovávaného odpadu nebo
 3. pokud kontinuální měření emisí prokáže překročení některého ze specifických emisních limitů podle bodu 1.1 části I této přílohy, (viz tabulka 1)
- d) při uvádění stacionárního zdroje do provozu a při jeho odstavování, v případě poklesu teploty pod stanovenou minimální mez podle písm. b) nebo v případě překročení některého ze specifických emisních limitů bude automaticky zabráněno přívodu odpadu do prostoru, kde dochází k tepelnému zpracování odpadu přímou oxidací.

2.4 Složení odpadu

Analýza komunálního odpadu není žádnou institucí v ČR pravidelně prováděna. Pouze některá města, svozové firmy nebo univerzity provádí analýzy náhodně.

V zemích EU není metodika zjišťování skladby odpadů jednotně upravena.

2.4.1 Množství odpadu vyprodukovaného občany

2.4.1.1 Výzkum Přírodovědecké fakulty UK

Na Přírodovědecké fakultě univerzity Karlovy byl vytvořen výzkum složení komunálního odpadu. Byly odebírány a váženy vzorky z jednotlivých druhů zástaveb a následně bylo stanoveno aritmetickým průměrem kolik odpadu vyprodukuje průměrně domácnost za rok. Výzkum byl prováděn v letech 2002/2003 a poté v letech 2008/2009.

Tabulka 3 Množství odpadu (Benešová, 2016).

zástavba	obyvatel	
	za rok	jednotka
sídliště	174,2	t
smíšená zástavba	307,84	t
venkov	301,6	t

Srovnání obou výzkumů ukazuje, že se produkce odpadů zvýšila v sídlištní zástavbě o 12 %, ve smíšené zástavbě o 87 % a na venkově o 53 %. Bohužel byly čísla zkresleny vytápěním tuhými palivy ve smíšené zástavbě i na venkově. Smíšenou zástavbu též limitují malí podnikatelé, kteří provozují svoji živnost ve svých domech a produkují mnohem více odpadů (Benešová, 2016).

Na stránkách ekokom.cz, se můžeme dočíst, že jeden český občan průměrně spotřebuje 300 kg ročně. Výsledek studie tedy i dnes vcelku odpovídá situaci.

2.4.1.2 Statistický úřad – za rok 2017

Dle Českého statistického úřadu (2018) bylo celkově za rok 2017 vytvořeno skoro 25 milionů tun odpadu. Oproti roku 2016 nastalo snížení o 3,2 %. Níže uvedené informace vycházejí z oficiálního dokumentu Českého statistického úřadu, Produkce, využití a odstranění odpadu a produkce druhotných surovin v roce 2017. ¹⁸

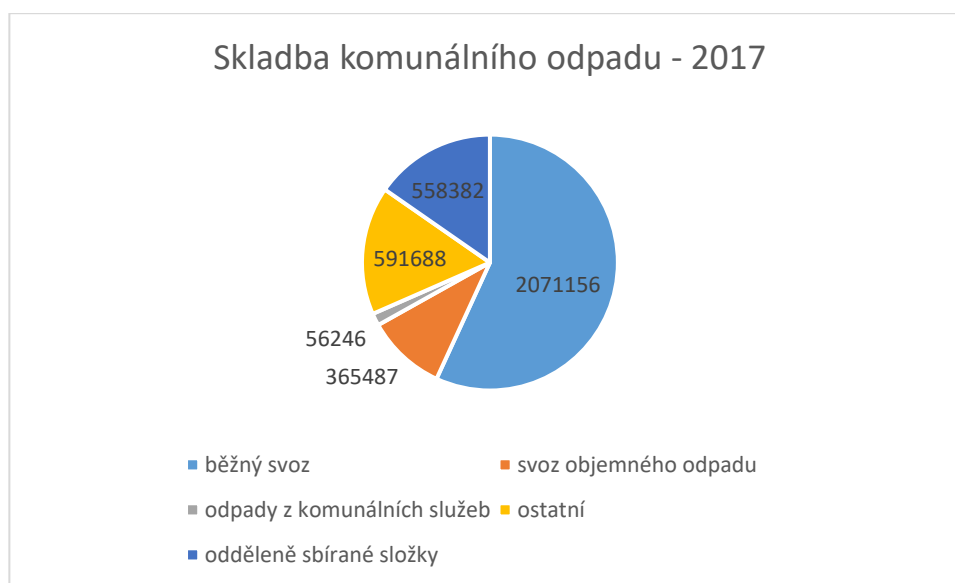
¹⁸ Český statistický úřad, 2018

1. Komunální odpad

Informace jsou za rok 2017, kde bylo vyprodukováno 3,6 milionu tun komunálního odpadu. Oproti roku 2016 se produkce odpadů významně nezměnila a odpad vyprodukovaný jedním obyvatelem činil 344 kg. Produkce biologicky rozložitelných odpadů byla v roce 2017 1,9 milionu tun, což činí 176 kg na jednoho obyvatele. Produkce BRKO stoupla meziročně o 2,8 %. Nebezpečný odpad zůstal na prakticky stejné hodnotě jako v roce 2016.

Většina odpadů pocházela z běžného svozu (odpad z popelnic, kontejnerů nebo svozových pytlů), bylo to tedy 57 %. 10 % z komunálního odpadu byl objemný odpad (koberce, nábytek, vybavení domácností), 16 % tvořil ostatní komunální odpad (odpadní zemina a kameny, odpad z údržby zeleně). Odpady na čištění ulic a z odpadkových košů po městě tvořily pouze 2 % celkového objemu.

Oddělené sbírané složky, čímž se myslí papír (30 %), plast (25 %), sklo (24 %) a kovy (6 %), tvořily 15 % celkového objemu. Množství vytríděného odpadu se zvýšilo oproti roku 2016 o 7,6 %. Každý jeden obyvatele tedy v průměru vytrídil 53 kg.



Graf 1¹⁹

Třídění odpadu už začíná být přirozenější pro stále více a více obyvatel. Bohužel je stále nejčastějším druhem nakládání s odpadem uložení na skládku. V roce 2017 to činilo celých 49 %. V zařízeních jako je ZEVO Malešice skončilo 17 % komunálního odpadu, do této hodnoty patří i 4,6 tisíc tun spálených bez energetického využití.

¹⁹ Český statistický úřad, 2018

Byl zaznamenán nárůst recyklace odpadů o 2,5 % oproti roku 2016. Kompostování též zaznamenalo nárůst o 6,8 %, jeho poměr oproti ostatním odpadům činil 7 %.



Graf 2²⁰

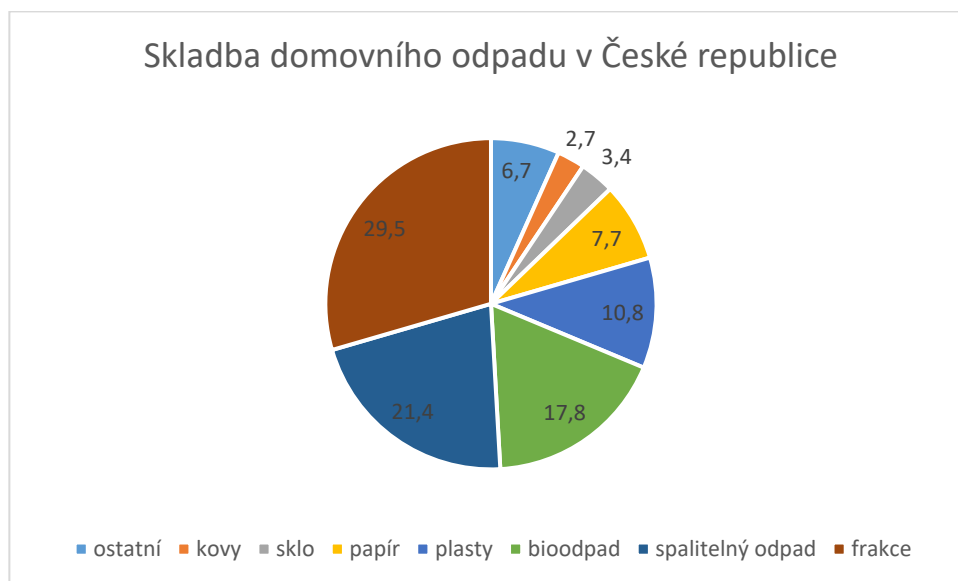
2. Podnikový odpad

V roce 2017 činila produkce podnikového odpadu 20,9 milionu tun, což bylo snížení produkce odpadu oproti roku 2016, přesněji o 918 tisíc tun. Na snížení měla velký vliv změna v hodnocení odpadů. V energetickém sektoru, který se zabývá výrobou a rozvodem elektřiny a plynu se přestaly různé druhy popílků hodnotit jako odpad. Pokles tvorby odpadů zaznamenaly také stavební a těžební společnosti.

Odpad podobný odpadu z domácností byl zastoupen skoro 17 % v podnikovém odpadu.

²⁰ Český statistický úřad, 2018

2.4.2 Skladba odpadu v České republice



Graf 3²¹

Odpady, které se dají energeticky využít končí často v koši zabalené v plastových pytlících. Nedají se proto vytrdit a končí nevyužité. Často v odpadcích směsného odpadu jsou k nalezení špinavé skleněné láhve, kterým znečištění naopak nevadí.²²

Materiál, který je znehodnocený tekutinou nebo organickými zbytky nemůže být recyklován. Jediná cesta jak ho využít je jeho energetické využití. Pokud v zemi není třídění odpadu zavedeno a podporováno politiky, nedá se dosáhnout 70 – 60 % recyklování odpadů jako například v Dánsku.²³

2.5 Svoz odpadu

Podle Voštové (2009) a její práce *Logistika odpadového hospodářství* jde sběr odpadu rozdělit na několik kategorií.

1. Podle technického vybavení.

Nádobový sběr je sběr, kde se využívá sběrných nádob. Může se použít nádoby, které se poté vyprazdňují nebo nádoby, které se vyměňují. Pro nádobový sběr se užívají nádoby

²¹ Český statistický úřad, 2018

²² EKO KOM – Zpravodaj 18/2017

²³ CHALIKI Paraskevi, PSOMOPOULOS S. Constantinos, THEMELIS J. Nickolas, (2016)

s objemem 40 – 3200 l. Nádoby se barevně rozlišují a občané jsou již s tímto odlišením seznámeni. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena nádob.

Pytlový sběr se užívá například v zástavbách rodinných domů, kde občané sbírají odpad doma a ve smluvený den odnáší opady na smluvené místo, kde si je vyzvedne vůz firmy zajišťující odvoz odpadů. Výhodou je nízká pořizovací cena pytlů oproti nádobám, ale nevýhodou jsou pytle v domácnostech, jelikož v domech obyvatel často velice překáží, pytle ležící na ulicích překáží chodcům a obtížné použití pro vícepodlažní domy.

Pro sběr jiného odpadu než směsného nebo klasicky tříděného v nádobách nám dobře známých, se užívá tzv. beznádobový sběr, kde se ukládá odpad (třeba železný šrot) na jedno místo a firma zajišťující odvoz si ho poté vyzvedne. Zde hrozí velké znečištění okolí, ale investiční náklady jsou prakticky nulové.

2. Metody shromažďování podle organizace sběru

Pro sběr odpadu se využívá tzv. stacionární sběr, kde se využívají sběrná místa vybavená nádobami či kontejnery, kam lidé nosí své odpadky převážně v pytlích.

Mobilní sběr znamená přistavení dopravního prostředku určeného ke sběru a svozu separovaných složek komunálního odpadu do bezprostřední blízkosti občanů. Je tím převážně myšlen každý odvoz odpadu na vyžádání. Využívá se například při rekonstrukcích bytů nebo domů.

3. Pokud bychom sběr odpadu dělili podle dostupnosti sběrného místa, mluvíme o donáškovém sběru a odvozovém sběru. Donáškový i odvozový sběr se dá považovat za sběr stacionární.

Donáškový sběr odpadu se využívá především v hustě zalidněných oblastech a funguje tak, že občané nosí vytríděné složky komunálního odpadu na určené místo, které je vybaveno nádobami barevně odlišenými o objemu 660 – 3200 l. Občané tento způsob znají a většina se ho už naučila používat. Výhodou jsou nižší investiční náklady, ale nevýhodou je menší dostupnost pro občany, což má za následek menší úspěšnost třídění komunálního odpadu. V centrech měst se nově začínají využívat kontejnery umístěné pod zemí. Odpad propadne do sběrné nádoby pod zem, která se pak vytáhne nad zem a vyprázdní se do nákladního auta k tomuto účelu určeném.

Odvozový sběr je sběr z místa, které by nemělo být vzdálenější než 50m od místa bydliště občanů. Umístění nádob je většinou před vchodem do bytových domů, majitelé rodinných domů mají popelnice na svém pozemku a v den odvozu dají popelnice před pozemek nebo v centrech měst jsou popelnice schovány ve vchodech domů (nebo ve

vnitroblocích), kde jsou též následně dávány na ulici v den odvozu odpadu, aby se nekazila estetická stránka centra města. Občané bývají zpravidla spokojenější s tímto způsobem sběru odpadu a odráží se to i na kvalitě třízení. Nevýhodou jsou vyšší investiční náklady způsobené vyšším počtem nádob.

4. Potřebný počet nádob nebo objem kontejneru se stanovuje podle typu zástavby a podle počtu obyvatel.
5. Směsný komunální odpad je do ZEVO Malešice přivážen pomocí nákladních automobilů, které mají obvykle dvě základní konstrukce, tedy rotační nebo lineární stlačování odpadků na korbě automobilu. Automobily přijíždějí vstupní bránou, kde jsou váženy a odpad je vizuálně kontrolován.

2.6 Základní emise spalin

2.6.1 TZL

Polévatý prach (anglicky particulate matter čili PM), jehož rozměry a zdroj, z kterého jsou vypouštěny, ovlivňují nebezpečí pro organismus. Zachytávány jsou většinou na odlučovači.

2.6.2 NO_x

„Mezi nejběžnější oxidy dusíku patří oxid dusnatý (NO) a oxid dusičitý (NO₂). Oxidy dusíku jsou přirozenou součástí životního prostředí, vznikají především při spalování fosilních paliv za vysokých teplot, během bouřek, mezi producenty se řadí i mikroorganismy. Oxidy dusíku se podílejí na vzniku kyselých dešťů a přízemního ozónu. NO je významným skleníkovým plynem. Dusík patří mezi biogenní prvky. Toxicita je ale relativní pojem a vždy závisí na velikosti přijaté dávky. Člověk je oxidům dusíku vystaven zejména vdechováním. Při zasažení očí a kůže dochází ke vzniku vážných popálenin. Při vdechování nízkých koncentrací se objevuje podráždění očí a sliznic horních cest dýchacích. Při vyšších dávkách dochází k popálení dýchací soustavy, nevolnostem, křečím, snížení okysličení organismu, může nastat i smrt.

Na emisích oxidů dusíků se kromě přírodních procesů podílí zejména člověk. Mezi hlavní zdroje patří doprava, chemický průmysl a v podstatě jakékoliv spalovací procesy. V atmosféře oxidy dusíku rychle reagují. Následně klesají zpět na zemský povrch. Z půdy je

možný částečný odpar, většina oxidů je ale přeměněna na kyselinu dusičnou a další látky. Stejný osud čeká oxidy dusíku i ve vodním prostředí.“²⁴

2.6.3 PCDD/PCDF

„Pod zažitým zkráceným termínem dioxiny se skrývají dvě rozsáhlé skupiny chemických látek: polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF). Dioxiny nemají žádný užitek a nebyly nikdy cíleně vyráběny. Jako nechtěný produkt vznikají při spalování fosilních paliv a odpadu, do prostředí se také uvolňují během průmyslové výroby, která má co dočinění s chlórem (chemický, textilní, papírenský průmysl), svým dílem přispívá i metalurgie. Dobře se váží na tukovou tkáň, k jejich bioakumulaci tak dochází především u živočichů. Pro člověka je riziková především konzumace kontaminované potravy. Dlouhodobé působení dioxinů vede k poškození imunitního a nervového systému, dále ke změnám endokrinního systému (zejména štítné žlázy) a reprodukčních funkcí. Otrava vysokými dávkami se projevuje jako tzv. chlorakné.“

Obecně se jedná o organické sloučeniny s podobnou chemickou strukturou obsahující chlór. Přirozeně mohou dioxiny vznikat při lesních požárech nebo sopečných erupcích. Dioxiny patří mezi perzistentní organické polutanty (POPs) a v životním prostředí jsou takřka všudypřítomné. Ve vodě jsou málo rozpustné, málo těkavé, dobře se váží na pevné částice a jen zvolna podléhají rozkladu. Mezi nejvíce dioxiny zatížené komodity patří rybí produkty ze Severního a Baltského moře. Některé dioxiny jsou silně karcinogenní, teratogenní a reprotoxické.)“²⁵

2.6.4 CO

„Oxid uhelnatý (CO) je bezbarvý, hořlavý plyn bez chuti a bez zápachu. CO vzniká nedokonalým spalováním všech uhlikatých materiálů. Když pomineme přírodní zdroje, na emisích CO se podílí především doprava a veškeré průmyslové procesy, kde probíhá spalování. Člověk je CO běžně vystaven vdechováním. Toxicita CO závisí na množství a době expozice a je spojena především se vznikem karboxyhemoglobinu, který není schopen vázat kyslík jako hemoglobin. Otrava CO se projevuje ztmavnutím kůžemi, křečemi, kómatem a nakonec smrtí. Vznik karboxyhemoglobinu je vratná reakce, poločas této změny je ale odhadován na 2 až 6,5 hodin, což může mít v závislosti na množství přijatého CO až

²⁴ Havel, Vebr, Válek, NOx

²⁵ Petrlík, Válek, Dioxiny

fatální následky. Riziková je zvýšená hladina CO především pro osoby s chronickými záněty dýchacích cest a osoby s nemocemi oběhové soustavy.

V atmosféře ochotně reaguje s hydroxylovými radikály za vzniku methanu a přízemního ozónu. Konečným produktem rozkladu CO je oxid uhličitý. CO je možné považovat za nepřímo působící skleníkový plyn. Nemalé množství CO vzniká v atmosféře oxidací methanu. Nezanedbatelným zdrojem CO je i cigaretový kouř. ‘‘²⁶

2.6.5 HCl

„Chlorovodík (HCl) je za normálních podmínek bezbarvý, štiplavý, velmi agresivní a korozivní plyn. HCl je dobře rozpustný ve vodě, se vzdušnou vlhkostí reaguje za vzniku kyseliny chlorovodíkové. HCl je důležitou surovinou pro průmyslovou výrobu kyseliny chlorovodíkové, uplatnění nalézá také v gumárenském průmyslu, při výrobě vinyl a alkylchloridů, oddělování bavlny od vlny i při jejím čištění. HCl se užívá také pro leptání polovodičových krystalů a je meziproduktem v mnoha dalších průmyslových výrobních procesech. Přirozeně se do prostředí dostává např. vulkanickou činností, člověk se na emisích HCl podílí především úniky z průmyslových provozů a spalováním uhlí, plastů a odpadů. HCl v atmosféře rychle reaguje s molekulami vody za vzniku chloridů a hydroxidových aniontů, čímž přispívá k tvorbě kyselých dešťů. Ve vlhkých půdách probíhá stejná reakce, za sucha pak dochází k odparu HCl do ovzduší. U HCl nedochází k bioakumulaci v potravních řetězcích. Akutně je HCl toxický pro vodní organizmy včetně rostlin. U člověka dochází při vdechování HCl, nebo Cl k podráždění sliznic očí a horních cest dýchacích, při vyšších koncentracích dochází k poleptání, které může být při extrémním množství Cl ve vdechovaném vzduchu (0,5–1 %) až smrtelné. ‘‘²⁷

2.6.6 HF

„Fluorovodík (HF) je vysoce reaktivní, za normálních podmínek plynná látka sloužící jako hlavní zdroj fluoru v mnoha průmyslových provozech. Často je používán v kapalné formě jako kyselina fluorovodíková. HF je primárně průmyslová surovina, má bohaté uplatnění v chemickém, farmaceutickém i rafinérském průmyslu. Slouží jako prekurzor řady polymerů (např. teflon), k výrobě tzv. super kyselin, je součástí čistících prostředků, uplatnění nalézá i při výrobě polovodičových čipů. Do prostředí uniká HF vesměs jen díky

²⁶ Havel, Válek, CO

²⁷ Petrlík, Válek, HCl

lidské činnosti; jeho potencionálním zdrojem může být jakýkoliv průmyslový provoz nakládající s touto látkou. Rizikové jsou vysokoteplotní provozy. Opomenout nesmíme ani výluhy a úniky z nezabezpečených skládek, popřípadě požáry. Z atmosféry je HF splachován srážkami a neutralizován za vzniku anorganických solí. HF je pro organizmy vysoce toxický. Principem toxicity HF je silná vazba na vápník a hořčík, čímž dochází k znemožnění vykonávání jejich biochemických funkcí. Plynný HF okamžitě reaguje s vlhkostí (i na sliznicích), čímž dochází k vzniku vysoce korozivní kys. fluorovodíkové a následnému podráždění, otokům a poleptání kůže, případně horních cest dýchacích. Fluorové ionty mají schopnost procházet tkáněmi a reagovat s ionty vápníku a hořčíku. To může vést k narušení systémové rovnováhy těchto iontů s fatálními následky (poškození kostí apod.). Závažnost toxických projevů závisí vždy na množství a délce expozice. Pozření i malého množství kys. fluorovodíkové může být smrtelné. ‘‘²⁸

2.6.7 Těžké kovy (Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V)

Jak uvádí KURAŠ (2014), nejlépe prostudovány jsou olovo, kadmium a rtuť, které nejméně ohrožují zdraví a jejich přítomnost ve spalinách je přísně kontrolována a regulována. Nejobtížnější je regulace rtuti, protože je snadno těkavá a uvolňuje se do spalin.

2.7 Tuhé zbytky po spalování

Jak uvádí Obroučka (1997) po spálení jedné tuny KO vznikne přibližně 6000 m³.t⁻¹ spalin, 0,25 až 0,4 t.t⁻¹ pevných zbytků a několik m³.t⁻¹ vody.

Zahrnují celou škálu sekundárních odpadů, jež je nutno finálně deponovat nebo zpracovat

- škvára, struska nebo polokoks – tuhý zbytek na roštu nebo nístěji, mohou představovat nebezpečí hlavně kvůli výluhům kovových iontů
- popílek – tuhé částice z odprášení spalin
- tuhý zbytek – kal z procesu chemického čištění spalin, vysoká koncentrace PCDD/F, těžkých kovů a rtuti. Je nutné s těmito odpady zacházet jako s nebezpečným odpadem

²⁸ Kleger, Válek, HF

2.8 Charakteristika rizik

Ochrana ovzduší zvedla několikanásobně svou úroveň po roce 1989 a už není většinou vnímána jako problém. Je potřeba dělat osvětu v obcích, kde není tak úspěšná recyklace odpadů, jelikož odpady bohužel končí jako pevné palivo v kamnech. ZEVO jistě je producentem škodlivin, ale přísně kontrolovaným, který se v posledních letech stal spíše strašákem na úkor ostatních průmyslových odvětvích a domácnostech.

Základní emise spalin jsem uvedl v části 2.6, kde je zřejmé, jak nebezpečné tyto látky pro náš organismus jsou.

3 Analytická část

3.1 ZEVO

Zařízení pro energetické využití odpadů, které jako palivo využívá komunální odpad, který spálí ve svém kotli. Z tepla, které se vytvoří spálením odpadů, vzniká pára, která potom turbínou zajišťuje vytápění domácností nebo kogenerační jednotkou vytváří teplo i elektřinu.

Spálením odpadů vznikne popel, představující asi 25 % původní hmotnosti odpadů. V České republice se popel nesmí využívat pro výstavbu např. liniových staveb.

V minulém roce byl započat výzkum inovativního nakládání s popílkem. ZEVO Malešice spolupracuje s ZEVO |Chotíkov, Ústav chemických procesů Akademie věd a firma Chemcomex. Cílem projektu je, aby výsledný popílek již nebyl klasifikován jako nebezpečný odpad.²⁹

3.2 Technologie ZEVO Malešice

ZEVO v Malešicích se začalo stavět již v roce 1988. Stavba trvala až do roku 1997, kdy byl zahájen zkušební provoz a na plný výkon najel celý systém v roce 1998.

Následující informace jsou získány z MAREŠ, Jan (2013)

3.2.1 Roční bilance odpadů

Kapacita zařízení: 310 000 t (4 kotle)

Objemová kapacita zásobníku: 11 000 m³

Počet obslužených obyvatel při maximálním zatížení: 1 187 739

Výhřevnost 1 kg odpadu: 9,8 MJ/kg

Produkce škváry: 75 000 t

Produkce popílku: 6000 t

Produkce kovů: 4000 t

²⁹ Výroční zpráva 2019

3.2.2 Původní instalovaná technologie (1997-1998)

Řídicí systém NS 905 Mozaika – aktivní od roku 1997

Čtyři spalovací linky – každý 15 t/h

Parní kotel: Q=40t/h; T=235°C, P=1.37 MPa

Výhřevnost 1 kg odpadu: 9,8 MJ/kg

Statický odlučovač EO – odlučovač pro tuhé znečišťující látky, který je schopen odloučit 99,99 % TZL

Dvoustupňová mokrá vypírka spalin – předpračka pro odloučení chlorovodíků, těžkých kovů a perzistentní organické polutantů, účinnost 90 %; absorbér pro odloučení oxidů síry, těžké kovy a perzistentní organické polutantů; okolo 12% vápenitého mléka, účinnost 99%

3.2.3 Modernizace technologie (2000-2010)

Technologie SNCR (selektivní nekatalytické redukce) s nástřikem 40 % roztoku vody a močoviny do spalin kotle při teplotě 850°C - 1000°C, pro redukci oxidů dusíku

Aplikace aktivního uhlí do vápenné suspenze (směs Sorbalit) – dosažení snížení emisí persistivních organických polutantů v hodnotě 80-90 % emisního limitu

SCR (Selektivní katalytická redukce) pro odstraňování perzistivních organických polutantů

Kogenerační jednotka - 17, 1 MWe, Q=850TJ/rok

Selektivní katalytická redukce pro odstraňování oxidů dusíku s nástřikem močoviny

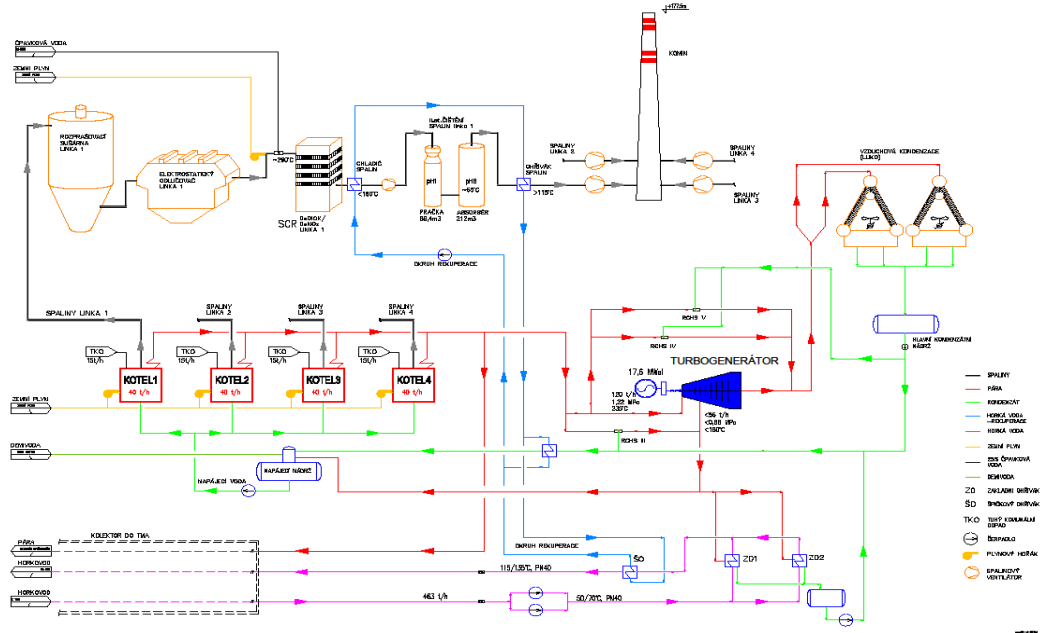
Řídicí systém Delta V – přímá dálková obsluha zařízení s ukládáním a historií dat.
Možnost exportu dat.

3.2.4 Úprava technologie 2017-2022

GOLEM – Generální obnova a ekologizace ZEVO Malešice

Naplánovaná výměna termické části každé jednotky a částečná výměna čistění spalin.

V současnosti je hotová čtvrtina akce. Akce GOLEM je popsána v kapitole 3.7.4.



Obrázek 2 - Technologické schéma ZEVO Malešice (před výměnou kotlů)³⁰

3.3 Druhy spalovacích pecí a topenišť

3.3.1 Roštové pece

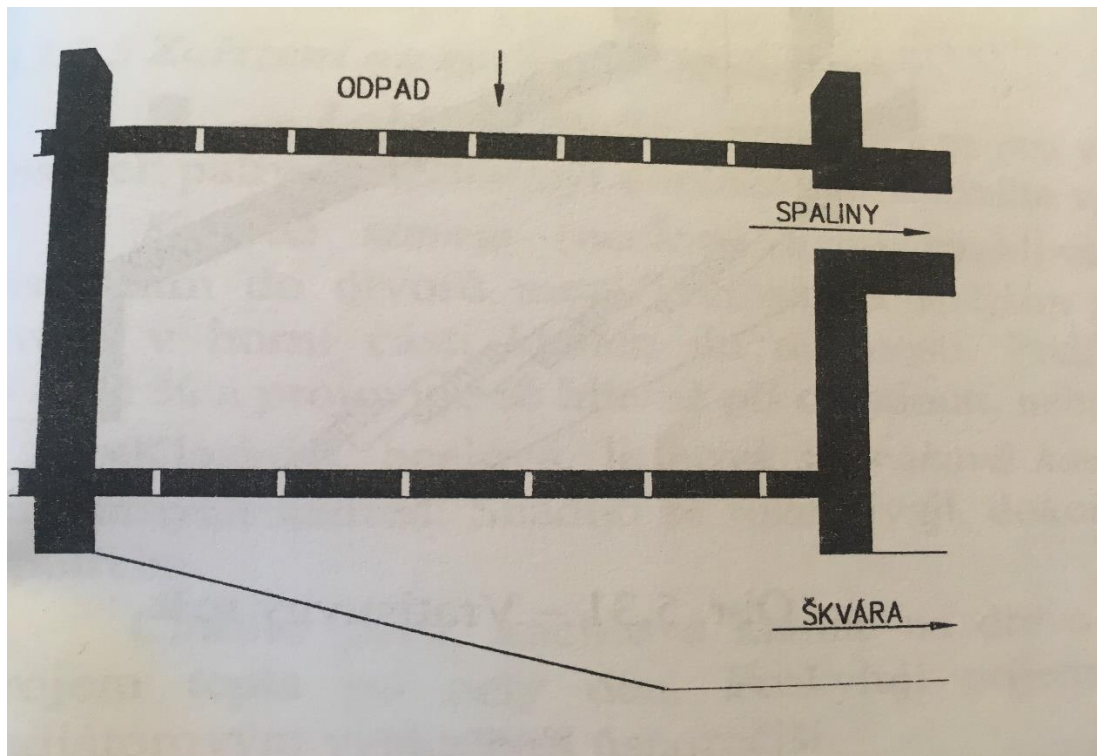
„Pece s pohyblivými i nepohyblivými rošty jsou vhodné zejména pro komunální odpady. Spalovací teploty se pohybují v rozmezí mezi 800 – 900 °C. Spalování na roštu je velmi rozšířený způsob spalování komunálních směsných odpadů. V Evropě asi 90 % zařízení využívá tuto technologii. Výhodou je relativní jednoduchost a možnost zpracovávat odpady o různých rozměrech jednotlivých složek.“³¹

³⁰ Pražské služby, a.s., Schéma Kogenerace

³¹ KURAŠ, Mečislav, 2014

„Pece s pevnými rošty jsou vhodné pro malé výkony a pece s pohyblivými rošty jsou vhodné pro střední a velké výkony.“³²

Pevný rošt – Dle Voštové (2003) se odpady nejdříve suší na vrchním roštu, kde se i částečně spálí. Postupem času propadnou na spodní rošt, kde se spálí a vzniká škvára, která se musí odstranit. Stavějí se pro výkony do 300 kg.h⁻¹, neboť pro větší výkony vznikají potíže s jejich obsluhou, zejména s odstraňováním popela. Použití je široké.

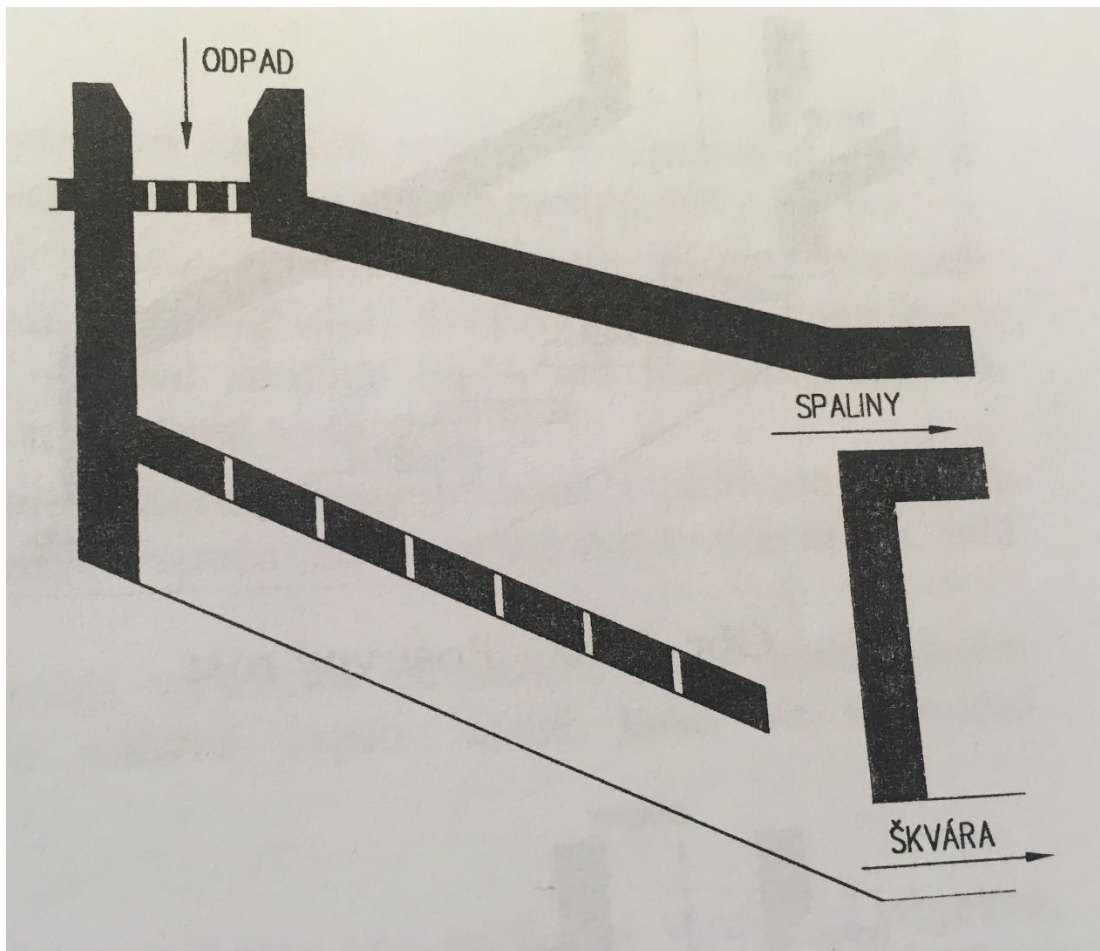


Obrázek 3 Pevný rošt³³

³² OBROUČKA, Karel, 1997

³³ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

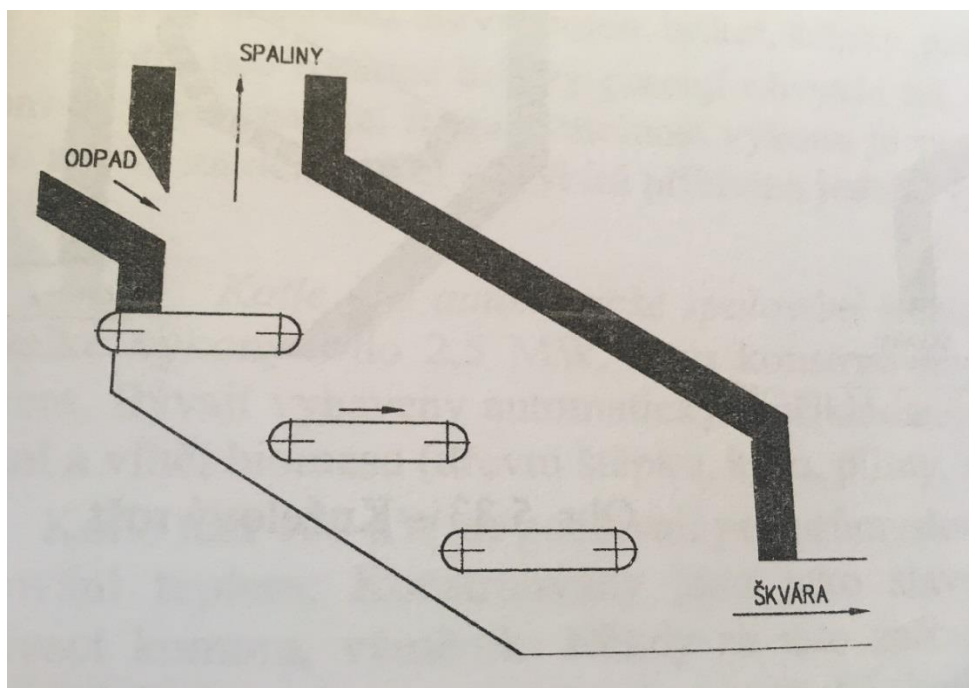
Šikmý pevný rošt – pro spalovny a ZEVO menšího nebo středního výkonu



Obrázek 4 Šikmý pevný rošt³⁴

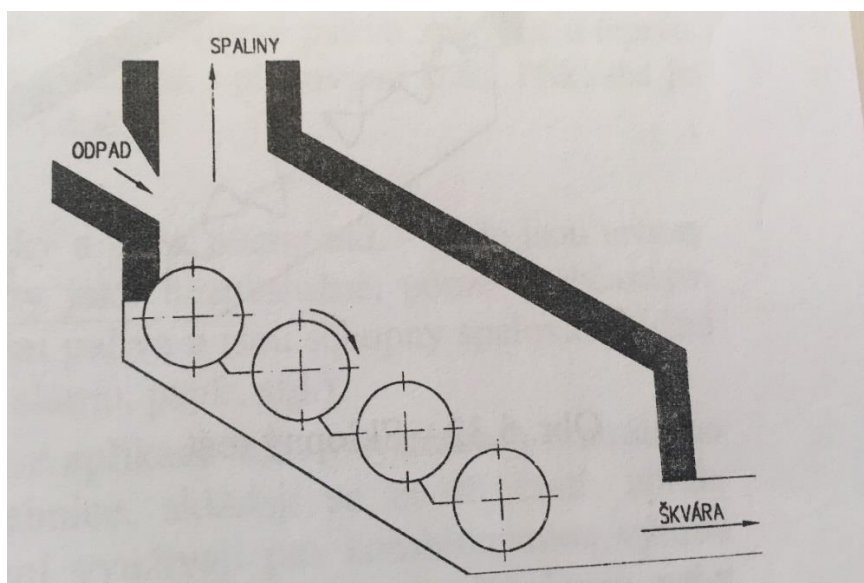
Pohyblivé rošty – Voštová (2003) píše, že fungují na stejném principu jako dopravníkový pás. Pohyblivé rošty mají odpady posunout a zároveň obrátit. Odpad je nejdříve vystaven horkému vzduchu a plynům, poté se na dalším roštu začne spalovat a na třetím roštu dohoří a speče se.

³⁴ VOŠTOVÁ, Věra, 2003



Obrázek 5 Pohyblivý rošt³⁵

Válcové rošty – rošt o určitém počtu válců (zpravidla šesti³⁶), které se otáčejí a jsou seřazeni sestupně. Zajišťuje dokonalé vypálení hořlaviny a organických látek, takže struska odchází sterilní a bez zápachu jak zmiňuje Voštová (2003).



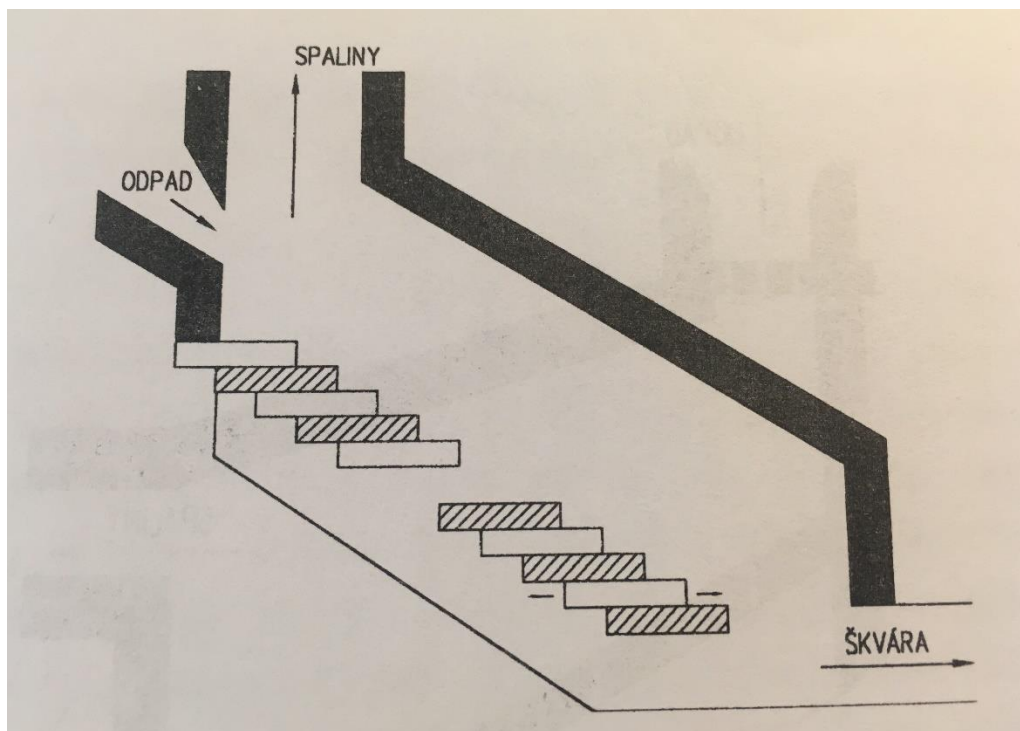
Obrázek 6 Válcový rošt³⁷

³⁵ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

³⁶ OBROUČKA, Karel, 1997

³⁷ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

Posuvné rošty – „jsou šikmé roštové plochy sestavené z roštových lamel ovládaných elektricky, pneumaticky nebo hydraulicky, podle výkonu kotle. Primární vzduch je přiváděn pod rošt a sekundární, popř. terciální vzduch pak ve spalovací a dohořivací komoře.“³⁸

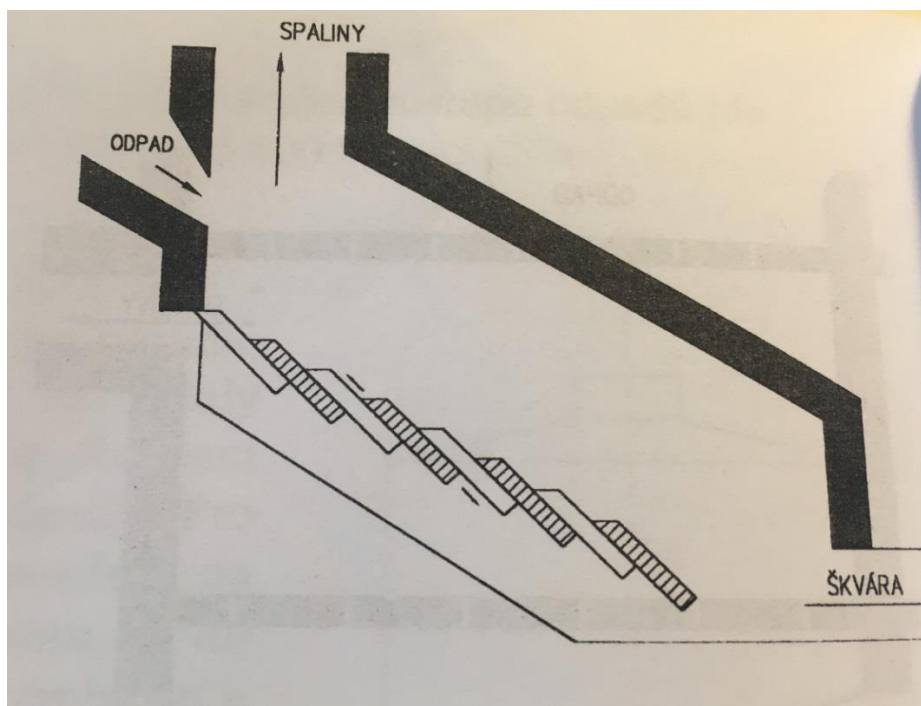


Obrázek 7 Posuvný rošt³⁹

Vrativý rošt – Voštová (2003) píše, že vrstva je nasypaná na šikmý rošt, kde je vlastní hmotností a stálým střídavým pohybem roštnic v obou směrech udržována v sypkém stavu a v pohybu. Hoření probíhá hned od začátku roštu. Tento rošt se používá pro spalování podřadného odpadového materiálu.

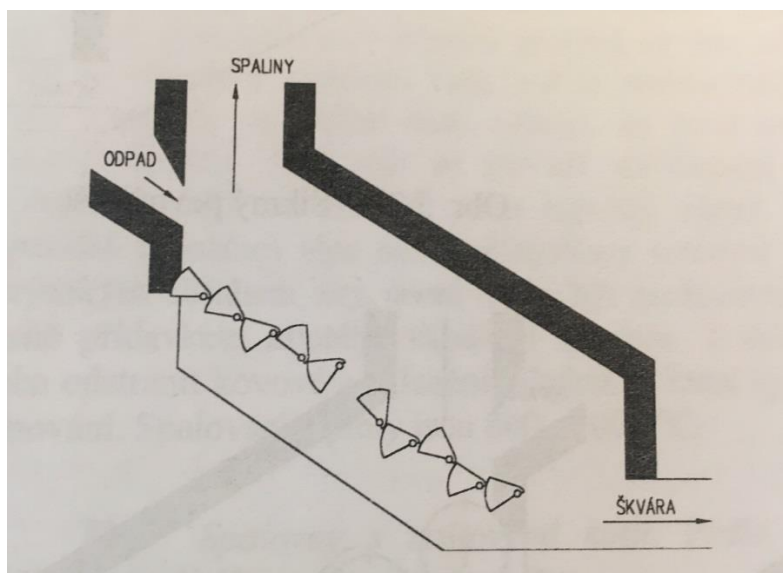
³⁸ PASTOREK, Zdeněk, 2004

³⁹ VOŠTOVÁ, Věra, 2003



Obrázek 8 Vratisuvný rošt⁴⁰

Sklopný rošt – Jak uvádí Voštová (2003), systém vhodný pro lehké hořlaviny, jelikož celou dobu zůstává odpad na roštu uvnitř ohniště. Spalování se reguluje přivedením vzduchu.

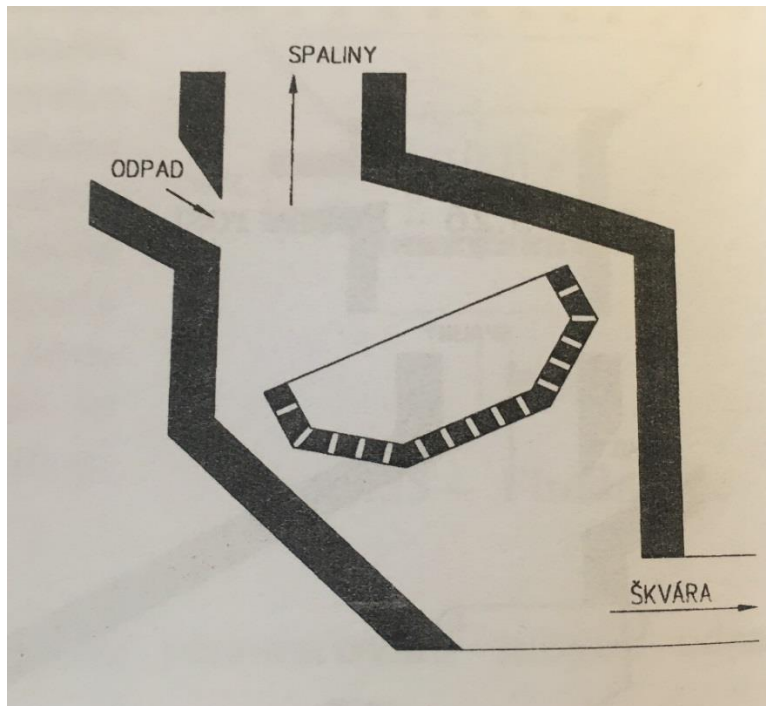


Obrázek 9 Sklopný rošt⁴¹

⁴⁰ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

⁴¹ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

Kuželový rošt – Podle Voštové (2003) je odpad potřeba předsušit v bunkru výstupními plyny a poté je ho potřeba nadrtit před nasypání na kuželový rošt. Jemný materiál prochází pásmem hoření lépe než materiál větších rozměrů. Díky otáčení kužele se odpad na roštu lépe uspořádá a poté lépe shoří.



Obrázek 10 Kuželový rošt⁴²

3.3.2 Rotační pece

*Jsou vyzděné válce s mírným sklonem, které se pomalu otáčejí a tím zajišťují míšení odpadů. Tepla je předáváno spalinami všemi třemi způsoby, tj. sáláním plamene na odpady i na odkrytou část vyzdívky, sdílením tepla ze spalin na odpady a vedením tepla z horké vyzdívky do lože odpadů. Tento typ pecí je zvláště vhodný pro směs průmyslových i komunálních odpadů, pastovité i kapalné odpady a kaly. Spalovací teploty jsou 1100 až 1200 °C.*⁴³

⁴² VOŠTOVÁ, Věra, 2003

⁴³ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

3.3.3 Muflové pece

Používají se zejména pro spalování zdravotnických odpadů, ropných produktů obsahujících kaly z čistíren, zbytky barev, laků a odpady z plastů. 44

Provoz je periodický, tzn., že do prázdné zchladlé pece se zavezou odpady, pak se topeniště uzavře a stabilizačním palivem zahřeje. Spalování probíhá při teplotách 800 až 1200 °C.⁴⁵

3.3.4 Etážové pece

Používají se zejména na spalování kalů a odpadů s vysokou vlhkostí. Jsou obdobou etážových pražících pecí používaných v metalurgii na pražení rud. Pec má tvar stojatého válce, po výšce rozděleného na etáže.

Osou válce probíhá masivní hřídel, v každé etáži opatřený rameny, na něž se nasazují lopatky ze žáruvzdorné slitiny. V etážích jsou střídavě otvory na obvodě a ve středu. Lopatky jsou nasměrovány tak, že při otočení hřídele postupují odpady od obvodu ke středu, kde propadnou, na níže ležící etáž, na níž jsou opět hrnuty od středu k obvodu. Postupují tak ve spirálách, takže doba průchodu pecí je velmi dlouhá. Proti směru postupu odpadů jde v protiproudu spalovací vzduch. Spalovací teploty jsou nad 800 °C.⁴⁶

Etážová pec je použitelná pro spalování odpadů s malým obsahem vlhkosti; existují zkušenosti zejména se spalování odpadů, které nejsou nebezpečné.

3.3.5 Fluidní pec

K rozvoji fluidních pecí ke spalování odpadů se přistoupilo až ke konci devadesátých let minulého století. Nejčastěji se se užívají pro kaly a tekuté odpady.

Pro fluidní spalování je nutné odpady nejprve rozdrtit na stejnou zrnitost. Podstata procesu spočívá v tom, že do vrstvy zrnitého materiálu (paliva) se vhání velkou rychlostí a tlakem plyn, který zrna zvrší. Přitom probíhá velmi intenzivně spalování v celé vrstvě ohniště. Spalování kapalných průmyslových odpadů probíhá na tzv. uhelném nebo keramickém fluidním loži, což je reaktor válcového tvaru opatřený ve spodní části roštem, na který se vhání tlakový vzduch. Nad rošt se přivádí stabilizační palivo (rozemleté uhlí) a rozemletý nebo kapalný odpad. Fluidní topeniště umožňují lépe než jiné systémy spalovat odpady s vysokým obsahem síry, která může být zachycována současně přídavkem mletého

⁴⁴ KURAŠ, Mečislav, 2014

⁴⁵ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

⁴⁶ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

vápna či vápence. Z odpadů je třeba odstranit kovové a skleněné předměty, které způsobují slinování. Spalovací teploty jsou 800 až 1000 °C.⁴⁷

3.4 Čištění spalin

Při skládkování odpadu je životní prostředí ohroženo kapalnými a plynnými emisemi, které se spalováním odpadů a následným čištěním spalin eliminují.

Současná zařízení na spalování odpadů jsou většinou vybavena třístupňovým zachycováním zplodin. Čištění spalin je investičně významným prvkem celého zařízení na energetické využití odpadů či spalovny.

3.4.1 První stupeň

Odstranění pevných částic (popílku) pomocí elektrostatických nebo tkaninových filtrů. Filtry dokáží i částečně odloučit i těžké kovy, které na prachu kondenzují. Odlučovače mají účinnost vyšší než 99 %, ale kvůli vysokým nárokům na emisní limity se takto předčištěné spaliny ještě musí očistit o další škodlivé látky.

Odloučený prach může obsahovat škodlivé látky a je nebezpečným odpadem.

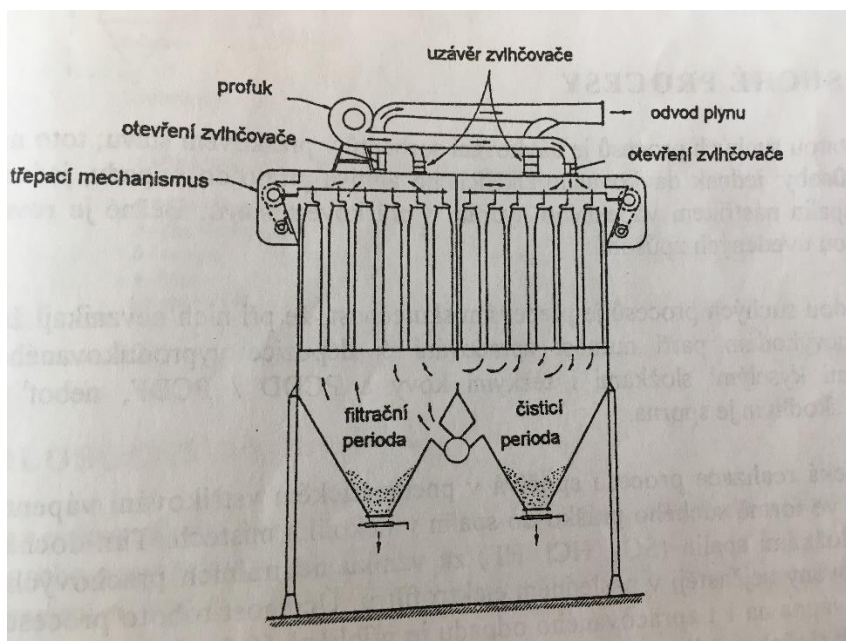
3.4.1.1 Tkaninový filtr (rukávový)

Fungují na principy běžného vakuového vysavače. Sbírají prach ze spalin. Prach je periodicky z filtru odstraňován. Filtr odstraní většinu částic včetně částic submikronového rozměru. Takto malé částice jsou v toku spalin ze spaloven relativně málo zastoupeny.

Uplatnění suchého usazování je omezeno na prach, který je při vysokých teplotách (300 –600°C) hygroskopický a lepkavý. Tento druh prachu vytváří v usazovacím zařízení usazeniny, které nelze v dostatečné míře regenerovat pomocí běžných metod čištění během provozu, ale bude zřejmě nutné je odstraňovat pomocí ultrazvuku.⁴⁸

⁴⁷ VOŠTOVÁ, Věra, 2003

⁴⁸ Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, BREF dokumentace



Obrázek 11 Rukávový filtr s mechanickým okapáváním⁴⁹

3.4.1.2 Elektrostatický odlučovač

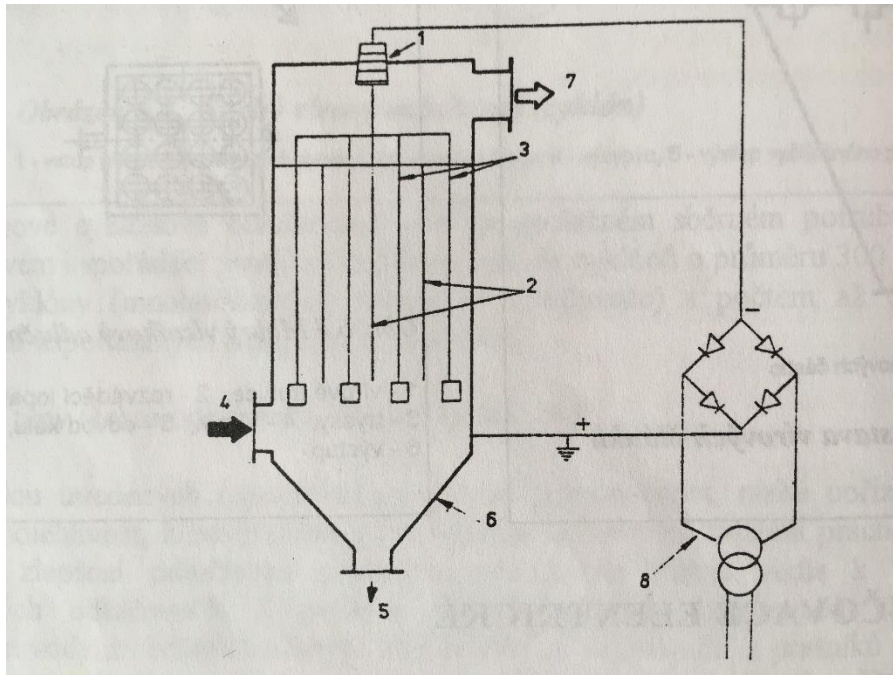
Podle [Karel Obroučka] jsou elektrické odlučovače založeny na využití přitažlivých sil sběrací elektrody odlučovače a nabitými částicemi prachu. EO sestávají z nabíjecí elektrody o malé ploše a elektrody sběrací, která je oproti nabíjecí elektrodě rozměrná. Sbírací pole je napájeno stejnosměrným napětím opačné polarity.

Nabíjecí elektroda bývá tvořena tyčí nebo drátem malého průměru s průřezem nejčastěji kruhovým nebo čtvercovým. Sběrací elektroda má různé tvary vzhledem k způsobu použití. Nejčastěji to bývá hladká trubka, voština nebo deska.

Elektrostatické odlučovače lze použít až do teplot spalin 350 °C.⁵⁰

⁴⁹ OBROUČKA, Karel, 1997

⁵⁰ OBROUČKA, Karel, 1997



Obrázek 12 Elektrostatistický odlučovač (1- izolátor, 2- vyzařovací elektrody, 3- sběrné elektrody, 4- vstup znečištěných plynů, 5- prach, 6- zásobník prachu, 7- výstup čistých plynů, 8- transformátor a usměrňovač vysokého napětí).⁵¹

3.4.2 Druhý stupeň

Kuraš (2014) uvádí, že z odstraněných spalin se odstraňují kyselé plyny, které se neodstranily při sprchování vodou, jako je oxid siřičitý, chlorovodík, případně fluorovodík, zpravidla mokřým způsobem pomocí hydroxidu vápenatého (ZEVO Malešice) nebo hydroxidu sodného (spalovna Liberec).

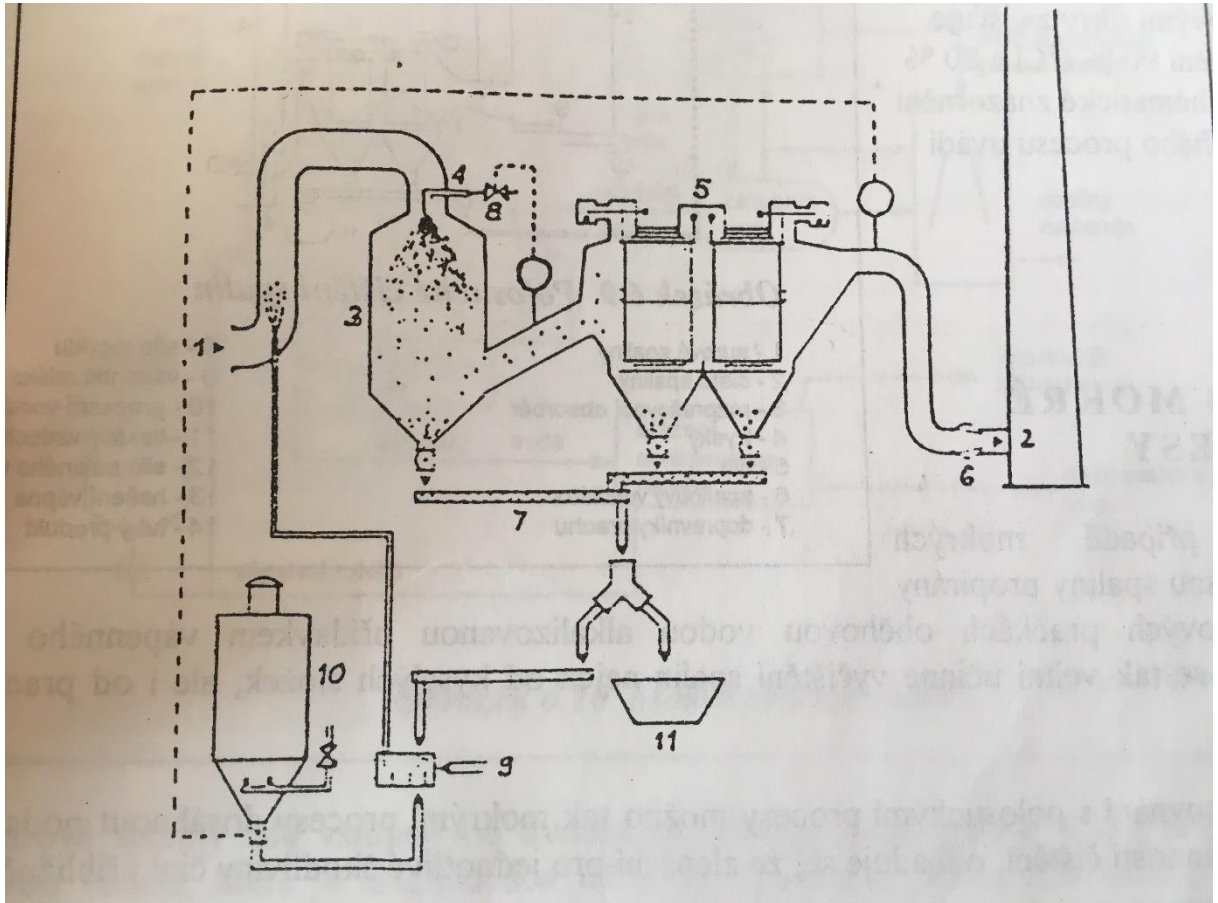
3.4.2.1 Suché procesy

Dle Obroučky (1997) Dávkování práškových sorbentů. Buď se dávkuje alkalické aditivo přímo do odpadu nebo následným čištěním spalin nástřikem vápenatého hydrátu. Běžně se používají oba způsoby dohromady.

Výhodou suchého procesu je, že při něm nevznikají žádné odpadní vody. Nevýhodou je nutnost následného zpracování či uchování vyprodukovaného prachu se zachycenými kyselými složkami, těžkými kovy a PCDD / PCDF, neboť trvalá vazba zmíněných škodlivin je sporná.

⁵¹ OBROUČKA, Karel, 1997

Realizace procesu spočívá v pneumatickém vstřikování vápenného hydrátu $[\text{Ca}(\text{OH})_2]$ ve formě suchého prášku do spalin v několika místech. Prášek reaguje s kyselými složkami spalin a tvoří neutrální prach, který je následně odlučován v odlučovačem. Při nástřiku 5- 10 t vápna na 1 t odpadu je účinnost asi 50 %.



Obrázek 13 Suché čištění spalin (1- surové spaliny, 2- čisté spaliny, 3- reaktor, 4- trysky, 5- elektrofiltr, 6- spalinový ventilátor, 7- dopravník prachu, 8- procesní voda, 9- stlačený vzduch, 10- zásobník aditiva)⁵²

3.4.2.2 Polosuché procesy

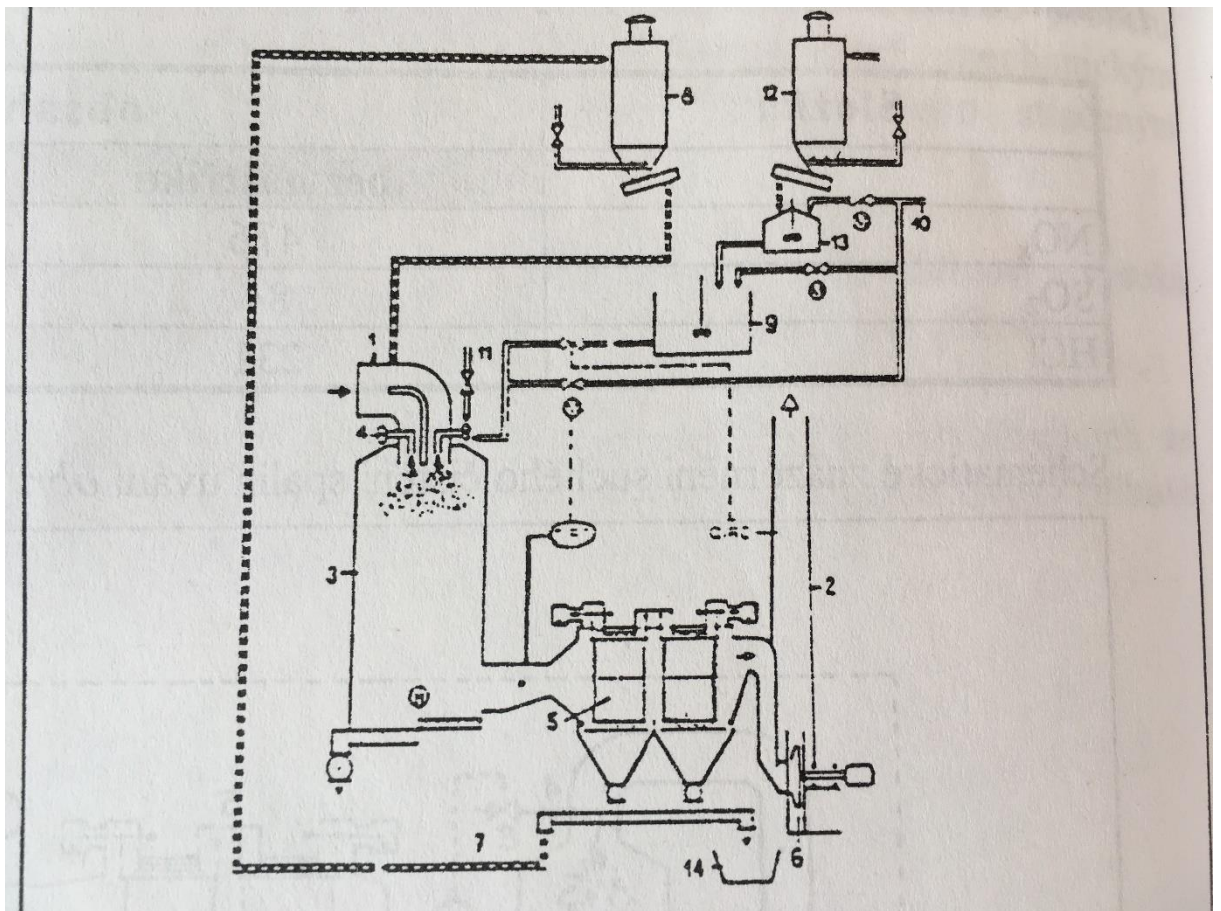
Obroučka (1997) píše, že alkalické sorpční činidlo v kapalně formě je dávkováno do spalin. Teplota spalin odpaří vodu ze spalin a tím se vysuší původní médium v kapalně formě. Vzniklý prach je dále zachycován filtrem.

⁵² OBROUČKA, Karel, 1997

Sušení pracího média probíhá na souprroudých i protiproudých sušárnách, do nichž se rozprašuje vápenná kaše, která zachycuje kyselé složky z plynu a současně dochází k odpaření vody, což vede ke snížení teploty spalin.

Na dno čističe do jímky se usazují hrubší částice vápenného prachu. Jemné částice jsou zachycovány na filtrech.

Polosuché čištění spalin zajišťuje odstranění 90% HCl a 80% SO₂.



Obrázek 14 Polosuché čištění spalin (1- surové spaliny, 2- čisté spaliny, 3-rozprašovací absorbér, 4- trysky, 5- filtr, 6- spalinový ventilátor, 7- dopravník prachu, 8- silo recyklu, 9- vápenné mléko, 10- procesní voda, 11- tlakový vzduch, 12- silo páleného vápna, 12- hašení vápna, 14- tuhý produkt)⁵³

⁵³ OBROUČKA Karel, 1997

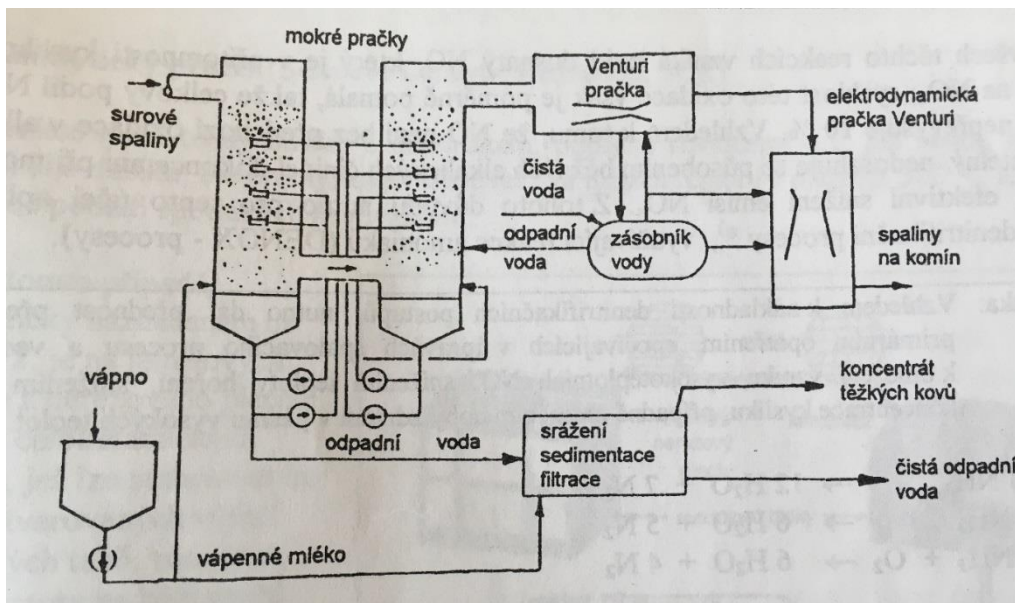
3.4.2.3 Mokrý procesy

Spaliny se propírají sprchovými pračkami oběhovou vodou, která je alkalizována přidávkem vápenného mléka. Vyčištění spalin od kyselých složek i prachových částic je velmi účinné.⁵⁴

Účinnost praní se pohybuje okolo 90 – 95 %.⁵⁵

Nevýhodou je vznik odpadní vody, která musí být dále zpracovávána. Často se zpracovává solidifikací a poté se produkt ukládá na skládku určenou pro tento nebezpečný odpad.

Kyselé složky jako SO₂ a SO₃, které ve vodě rozpustné nejsou, ale mají schopnost sorpce, se ze spalin vypírají oběhovou vodou alkalizovanou přidávkem vápenného mléka. Odvodněný produkt se často zpracovává solidifikací před jeho uložením na zabezpečenou skládku. Nevýhodou tohoto procesu je, že po odvodnění neutrálního produktu je nutno dále zpracovat zbylou odpadní vodu.⁵⁶



Obrázek 15 Příklad mokrého čištění spalin

3.5 Denitrifikace spalin

[1, UBA, 2001] Směrnice 2000/76/ES požaduje denní průměrné koncentrace NO_x (vyjádřeno jako NO₂) v čistém plynu 200 mg/Nm³. K tomu, aby byly dodrženy tyto emisní limity, je třeba všeobecně zavést sekundární opatření. Ve většině procesů se úspěšně

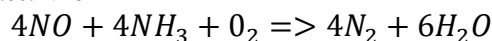
⁵⁴ OBROUČKA, Karel, 1997

⁵⁵ Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o.,

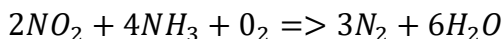
⁵⁶ FIEDOR, Jiří, 2012

osvědčilo použití amoniaku nebo jeho derivátů (např. močovina) jako prostředků snížení koncentrace NO_x. Oxidy dusíku ve spalinách především obsahují NO a NO₂ a redukují se pomocí redukčních činidel na N₂ a vodní páry⁵⁷

Rovnice 5 Rozklad NO pomocí NH₃⁵⁸



Rovnice 6 Rozklad NO₂ pomocí NH₃⁵⁹



3.5.1 SNCR (selective non catalic reduction)

Obroučka (1997) předkládá, že je to nekatalytický (horký) proces, při kterém je amoniak nebo jeho vhodný roztok, v případě ve směsi s přídavným vzduchem, vstřikován do horkých reakčních prostorů spalovacího zařízení. Zde v oblasti teplot 870 až 970 °C probíhají výše uvedené reakce.

Způsob a místo vstřiku ovšem musí být poměrně přesně zvoleno, aby reakce mohly proběhnout. Pokud by došlo ke vstřikování amoniaku do oblasti příliš vysokých teplot, reakce mezi oxidy dusíku a amoniakem by neproběhly, naopak by docházelo k částečnému spalování amoniaku, přičemž výsledné emise NO_x by tím byly ještě vyšší, než bez nástřiku. Naopak při nástřiku do chladnějších míst, než odpovídá uvedenému optimálnímu teplotnímu rozmezí, reakce mezi amoniakem a oxidy dusíku neprobíhají a přiváděný amoniak je jen zbytečnou a další složkou emisí.

3.5.2 SCR (Selective Catalytic Reduction)

Dle Obroučka (1997) to je katalytický proces, kde reagují oxidy dusíků a amoniaku, jež vedou ke vzniku neškodného dusíku, lze průmyslově realizovat i za nižších teplot (v rozmezí 300 až 450 °C) v případě použití speciálních katalyzátorů.

V tomto případě je na lamelových tělesech z nerezového plechu, nebo na celokeramických tělesech, jež lze sestavovat do vhodně tvarovaných výplní spalinových tahů, nanesena aktivní hmota na bázi oxidů TiO₂, V₂O₅, MoO₃, nebo WO₃, jež svým katalytickým účinkem umožňuje průběh denitrifikačních reakcí i v oblasti uvedených nízkých teplot. Uvedené bloky mívají vysokou hodnotu měrného povrchu (250 až 800 m²*m³) a nízký hydraulický odpor, což lze považovat za jejich přednost ve srovnání s jinými

⁵⁷ Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky, BREF dokumentace

⁵⁸ KURAŠ, Mečislav, 2014

⁵⁹ KURAŠ, Mečislav, 2014

způsoby aplikace katalyzátorů (například v podobě různých sypaných loží a různě tvarovaných tělísek katalyzátoru)

Jak uvádí Kuraš (2014), metoda SCR je zhruba 5x nákladnější v přepočtu na spálenou 1 tunu odpadů než metoda SNCR.

3.6 Třetí stupeň

Dle Kuraš (2014) se jím odstraňují organické látky, zejména dioxiny a furany. Tyto látky se průmyslově nevyrábí a nemají žádné průmyslové využití. Naopak jsou velmi často vedlejším produktem, např. při výrobě pesticidů.

Ve spalovnách vznikají buď z odpadů, které se nespálili nebo rozkladem chlorovaných sloučenin při spalování.

Tyto škodliviny se běžně odstraňují sorpcí na aktivním uhlí. Aktivní uhlí je neselektivní sorbent, který odstraní prakticky veškeré organické kontaminanty.

V ZEVO, kde je nainstalováno zařízení SCR, lze současně s rozkladem dusíku rozkládat i dioxiny a furany. Proces probíhá při teplotách 180 až 260 °C.

3.7 Ekonomie provozu sekundárních metod snižování emisí před rekonstrukcí

Informace jsou získány od Balocha (2014).

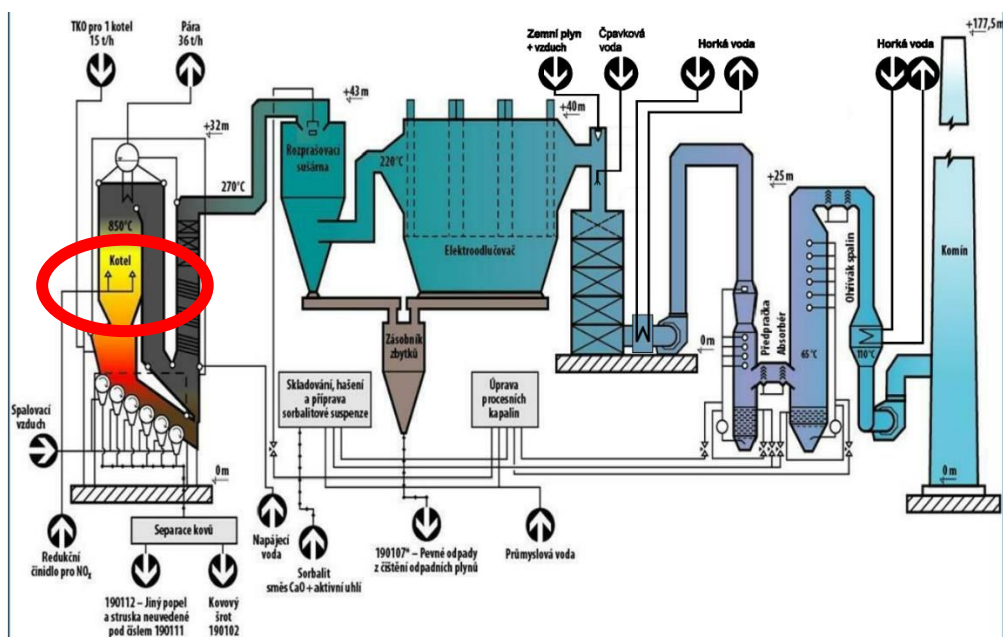
3.7.1 Denitrifikace

Tabulka 4 roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s NO_x při spálení 300 000 t/rok⁶⁰

roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s NO _x při spálení 300 000 t/rok			
období	1997-2000	2000-2010	2013
Technologie čištění	bez čištění	SNCR	SCR DeNox (provozuje se ½ roku)
Investiční náklady (Kč)	0,0	20360756,0	260000000,0
Provozní náklady (Kč)	0,0	567427,0	12500000,0
Údržba (Kč)	0,0	180000,0	2000000,0
Spotřeba páry (GJ)	0,0	0,0	9265,5
Spotřeba elektřiny (MWh)	0,0	0,0	2812,0
Spotřeba zemního plynu pro stálou katalytickou teplotu (m ³)	0,0	0,0	1000000,0
Spotřeba čpavkové vody na 300 000 t odpadu (t)	0,0	0,0	92,0
Spotřeba sataminu na 300 000 t odpadu (t)	0,0	81,0	60,0
Avg. koncentrace NO _x do ovzduší (ng.Nm ⁻³)	322,00	149,20	116,00
Tun NO_x do ovzduší při 300 000 t odpadu (t)	459,00	208,00	179,00

⁶⁰ BALOCH, Tomáš, 2014

Metody SNCR v ZEVO Malešice (selektivní nekatalistická redukce)



Obrázek 16 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace metody SNCR⁶¹

Technologie nainstalována v roce 2000, která dosahuje asi 40 – 50 % snížení emisí dusíku. Dle kontinuálního měření vypouští spalovna 150 mg/m^3 , přičemž vyhláška povoluje až 200 mg/m^3 .

Pořizovací náklady pro čtyři linky SNCR byly 20,5 mil. Kč (dodávka, instalace, nádrží, spojovací potrubí, nástřiková kopí, směšovací moduly, čerpadla, činidla a MaR pro 4 kotle). Investičně byla technologie levná v porovnání se SCR.

Roční opravy stojí 100 000 až 180 000 Kč. ZEVO investuje stovky milionů ročně do rekonstrukcí (viz GOLEM) a oprav. Částka je z tohoto pohledu zanedbatelná.

Činidlo užívané pro snižování emisí má spotřebu 10 l/h a jeho cena je 7,5 Kč na jeden litr.⁶²

Kvůli tzv. čpavkovému skluzu lze užít metodu SNCR pouze v koncentracích nad 150 mg/m^3 .

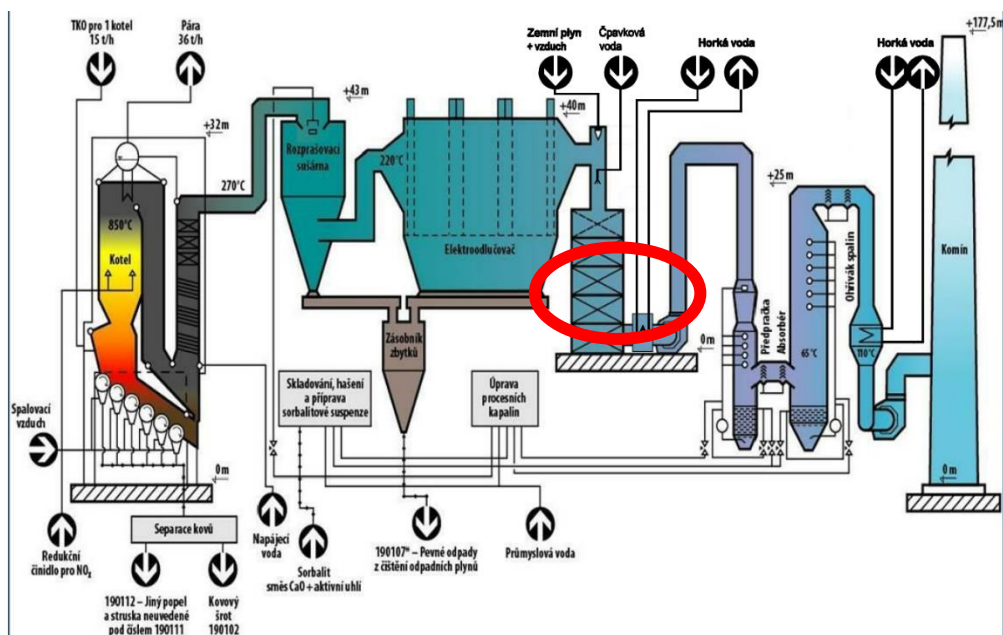
Náklady na údržbu SCR DeNox spočívají v čištění promýváním, vysáváním a snížení ofuků. Jsou v provozu pouze v zimním období.

Parní ofuky se spouštějí 1x za 8 hodin na 20 minut. Průměrná spotřeba je tuna za den.

⁶¹ Pražské služby a.s., Schéma

⁶² MAREŠ, Jan, 2013

SCR DeNox (selektivní katalytická redukce)



Obrázek 17 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace SCR⁶³

Výrazně snižuje úroveň znečištění dvou škodlivin PCDD/PCDF (perzistivních organických polutantů) a snižuje koncentraci oxidů dusíku.

Efektivita byla ale vykoupena vysokými pořizovacími náklady. Čtyři linky, každá obsahující plynový hořák, katalyzátor, spojovací potrubí, pomocný ventilátor a MaR byly pořízeny za 260 mil. Kč pro snížení emisí PCDD/PCDF a oxidů dusíku.

Kvůli přísným legislativním předpisům se musí dbát vysoké nároky na bezpečnost práce kvůli provozu s NH₃. Při provozu SCR vznikají problémy hlavně kvůli tlakovým ztrátám.

Náklady na údržbu SCR DeNox spočívají v čištění promýváním, vysáváním a snížení ofuků.

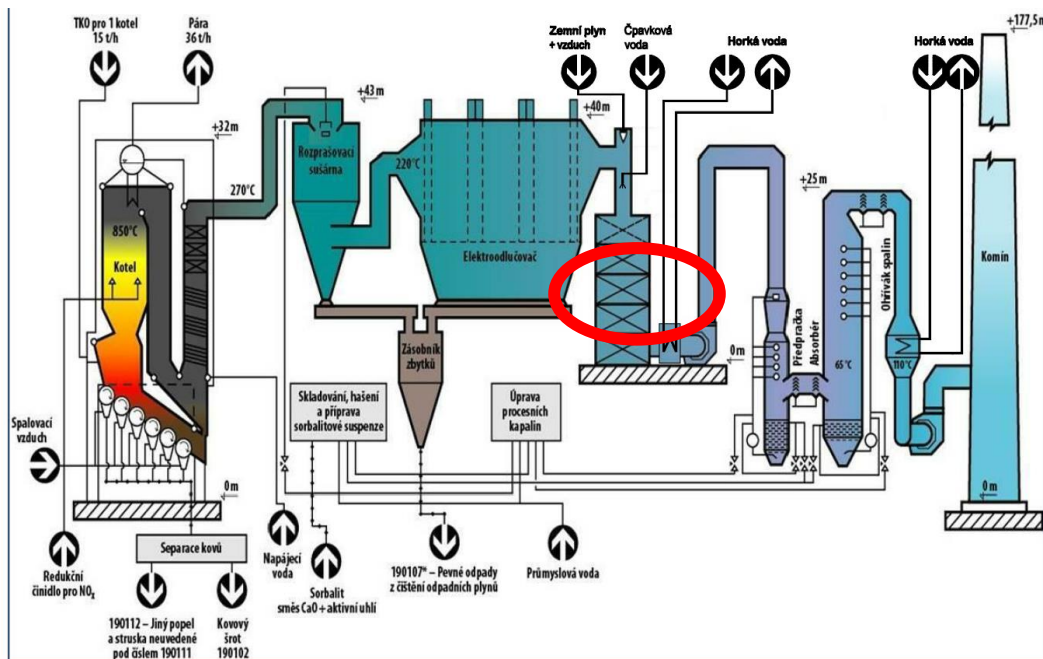
Parní ofuky se spouštějí 1x za 8 hodin na 20 minut. Průměrná spotřeba je tuna za den.

⁶³ Pražské služby a.s., Schéma

3.7.2 Systémy rozkládající dioxiny

Tabulka 5 roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s PCDD/PCDF při spálení 300 000 t/rok⁶⁴

roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s PCDD/PCDF při spálení 300 000 t/rok			
období	1998-2000	2001-2007	2008-2013
Technologie čištění	bez čištění	adsorpce na AU	SCR DeDiox
Investiční náklady (Kč)	0,0	0,0	250000000,0
Provozní náklady (Kč)	0,0	3230000,0	4500000,0
Údržba (Kč)	0,0	0,0	2000000,0
Spotřeba páry (GJ)	0,0	0,0	9265,5
Spotřeba elektřiny (MWh)	0,0	0,0	2812,0
Spotřeba zemního plynu (m ³)	0,0	0,0	40000,0
Avg. koncentrace PCDD/PCDF do ovduší (ng.Nm-3)	1,15	0,10	0,02
PCDD/PCDF do ovduší g.rok-1	1,35	0,12	0,02



Obrázek 18 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace SCR DeDiox⁶⁵

⁶⁴ BALOCH, Tomáš, 2014

⁶⁵ Pražské služby a.s., Schéma

Oxidace PCDD/PCDF (katalytické štěpení na HCl - záchyt ve vápenné vypírce) probíhá současně s nástřikem NH₃ pro redukci NO_x. Technologie je provozně nenáročná a jednoduchá.

Výrazně snižuje úroveň znečištění dvou škodlivin PCDD/PCDF (perzistivních organických polutantů) a snižuje koncentraci oxidů dusíku.

Náklady na údržbu SCR DeDiox spočívají v čištění promýváním, vysáváním a snížení ofuků.

Průměrná spotřeba sorbalitu pro adsorbci AU byla 850 t na 300 000 t odpadu.

3.7.3 Financování akce GOLEM – Generální obnova a ekologizace ZEVO Malešice

Z Výroční zprávy Pražských služeb pro rok 2019 vyplývá, že celková investice byla vyčíslena na 2,8 miliardy korun, což znamená 700 milionů na výměnu jedné linky.

Z dokumentu Prospekt pro dluhopisy Pražských služeb a.s. zjistíme, že Pražské služby pro financování rekonstrukce emitovaly dluhopisy v objemu 500 000 000 Kč. Očekávaný čistý zisk byl 496 100 000 Kč. Čistý výtěžek má být použit na probíhající obnovu ZEVO Malešice, projekt GOLEM, a rozvoj podnikatelských aktivit emitenta.

Část investičních zdrojů hradí a budou hradit Pražské služby ze svých vlastních zdrojů.

Dne 14.1.2019 uzavřely Pražské služby s Československou obchodní bankou a.s. Úvěrovou smlouvu o poskytnutí dlouhodobého investičního úvěru v celkové výši 1 600 000 000 Kč (z toho 1 100 000 000 závazná částka a 500 000 000 částka nezávazná) se splatností do 31.12.2030

3.7.4 GOLEM

V ZEVO Malešice byla zatím vyměněna jedna jednotka, která je momentálně ve zkušebním provozu.

Rekonstrukce probíhala ve dvou částích. V části termické byl vyměněn celý kotel včetně nosných konstrukcí za nový kotel rakouské firmy Martin.

Pec je oproti válcovým roštům nainstalovaným ve starých pecích vybavena vrativým roštem, který zajistí lepší prosazení kotle. Kotel je konstruován pro větší objem odpadů. Sníží se teploty hoření a omezí se doba, kterou odpady tráví v pásnu vyšších teplot, které jsou pro tvorbu NO_x kritické. Komín má 5. tahů, z toho 5. tah funguje jako výměník a dodává potřebné teplo pro SCR technologii nainstalovanou v

Technologie SNCR již nebude nainstalována z důvodu kvalitnějšího spálení odpadů.

V části čištění spalin bude vyměněna pračka spalin, rozprašovací sušárna a elektrostatický odlučovač byl vyměněn za rukávový filtr. V mokré části čištění spalin byl opraven a nově pogumován absorbér a kouřovody byly nově zrekonstruovány.

Po rekonstrukci se počítá se snížením vypouštění škodlivin do ovzduší o 40 – 50 %.

3.8 Emise ZEVO Malešice

Ve Výroční zprávě Pražských služeb za rok 2019 stojí, že během roku 2018 bylo termicky zpracováno 272 211 tun odpadu. Množství zpracovaného odpadu bylo nižší oproti projektované kapacitě kvůli odstavení linky číslo 4. Na lince číslo 4 proběhla první část akce GOLEM.

Do sítě PREdistribuce, a.s. bylo dodáno 22 308 MWh elektřiny a do sítě Pražské teplárenské a.s. bylo dodáno 802 923 GJ tepla.

Z následující tabulky můžeme vidět, že ZEVO Malešice neporušuje žádné emisní limity.

ZEVO Praha je otevřeno spolupráci s výzkumnými ústavami. Právě běžící projekt na vývoj a experimentální ověření technologie pro získání železných a neželezných kovů ze surové vlhké strusky, který má za cíl zvýšit separaci kovů obsažených ve strusce, již přinesl dílčí výsledek a zlepšil výtěžnost šrotu o 750 t/rok.

Spolupráce probíhá také s Fyzikálním ústavem AV ČR na výzkumném projektu převádění odpadní energie na elektrickou na základě termoelektrického jevu.

Tabulka 6 Průměrné koncentrace škodlivin ZEVO Malešice za rok 2018 v porovnání s emisními limity.⁶⁶

emise	koncentrace	emisní limit	jednotka	% z limitu	měření
TZL	1,08	10,00	mg.Nm-3	10,800	kontinuální
SO ₂	0,37	50,00	mg.Nm-3	0,740	kontinuální
NO _x	152,89	200,00	mg.Nm-3	76,445	kontinuální
CO	25,43	50,00	mg.Nm-3	50,860	kontinuální
HCl	0,07	10,00	mg.Nm-3	0,700	kontinuální
TOC	1,10	10,00	mg.Nm-3	11,000	kontinuální
HF	0,3850	1,0000	mg.Nm-3	38,500	diskontinuální
Cd	0,0013	0,0500	mg.Nm-3	2,600	diskontinuální
Ti	0,0019	0,0500	mg.Nm-3	3,800	diskontinuální
Hg	0,0114	0,0500	mg.Nm-3	22,800	diskontinuální
Sb	0,0240	0,5000	mg.Nm-3	4,800	diskontinuální
As	0,0020	0,5000	mg.Nm-3	0,400	diskontinuální
Pb	0,0116	0,5000	mg.Nm-3	2,320	diskontinuální
Cr	0,0023	0,5000	mg.Nm-3	0,460	diskontinuální
Co	0,0004	0,5000	mg.Nm-3	0,080	diskontinuální
Cu	0,0044	0,5000	mg.Nm-3	0,880	diskontinuální
Mn	0,0010	0,5000	mg.Nm-3	0,200	diskontinuální
Ni	0,0025	0,5000	mg.Nm-3	0,500	diskontinuální
V	0,0021	0,5000	mg.Nm-3	0,420	diskontinuální
PCDD/F	0,0305	0,1000	mg.Nm-3	30,500	diskontinuální

4 Návrhová část

4.1 Systematičtější zavádění snižování emisí v provozech na energetické využití odpadů

Zařízení pro spalování odpadů a pro energetické využití odpadů podléhají nejstříktnějším požadavkům z hlediska ochrany ovzduší. Snaha o co nejekologičtější provoz

⁶⁶ Pražské služby a.s., Výroční zpráva 2019

těchto zařízení nese svoje ovoce a je jistě pozitivní. Je nutné zařazovat striktnější pravidla koncepčně. V následující tabulce je vidět pozitivní vývoj ve snižování emisí dioxiny (PCDD/PCDF) v různých průmyslových odvětvích v Německu. V ČR je trend velice podobný.

Tabulka 7 Množství vznikajícího dioxinu (PCDD/PCDF) z různých zdrojů v Německu⁶⁷

zdroje	ročné emise v gramech TE		
	1990	1994	2000
metalurgie	740	220	40
spalování odpadů	400	32	<0,5
z toho komunálních odpadů	399	30	<0,4
tepelné elektrárny	5	3	<3
průmyslová spalovací zařízení	20	15	<10
lokální vytápění	20	15	<10
doprava	10	4	<1
krematoria	4	2	<2

Snižování emisí dioxinů v ZEVO Malešice mělo svůj smysl, adsorpce na AU snížila emise dioxinů o 91%. Následná instalace SCR DeDiox snížila emise na 99% oproti původnímu stavu. Ovšem kvůli nutnosti udržování katalyzátoru na určité teplotě, a nemožnost odběru tepla ze stávajícího kotle, bylo toto snížení emisí vykoupeno emisemi jinými, kvůli spotřebě zemního plynu na vytápění katalyzátoru.

V roce 2013 byla zavedena i denitrifikace pomocí metody SCR. Opět se ukázalo, že je investice velice drahá a nepřinese významné snížení emisí, ačkoliv snižování vypouštění škodlivin je důležité. Katalyzátor SCR sice snížil emise PCDD/F, ale zvedl emise jiných škodlivin.

Na základě stávající analýzy a průběžného sledování procesů čištění spalin v ZEVO navrhuji následující:

- systematictější a ekonomičtější řešením je zdokonalení spalovacího procesu, protože emise NO_x se tvoří při vysokých teplotách nad 1000 °C, navrhuji konstrukci pece (roštu) zamezit, aby se palivo spalovalo v teplotách, které nezvyšují tvorbu

⁶⁷ KURAŠ, Mečislav, 2014

NOx. Náklady na instalaci denitrifikačních systémů jsou vysoké a ne všechny systémy přináší kýžený výsledek. Zdokonalení primárního stupně čištění spalin využitím tzv. kombinovaných tkaninových filtrů s katalytickou vrstvou uvnitř filtru, což je kombinace elektrostatického a tkaninového filtru.

- záchrana životního prostředí za každou cenu nedává smysl, zvláště je-li vykoupena vyšší spotřebou zemního plynu, tudíž hlavně emisemi CO₂. Při snaze o snížení emisí a instalování nových technologií je potřeba dbát na technickou stránku zařízení a instalovat prvky, které dávají pro ZEVO smysl. Navrhují logičtější využití energií, které jsou produkovány v samotném zařízení, tedy co nejvíce snížit užívání zemního plynu. Využívat teplo produkující se v kotli. Tah nového kotle je užívám jako výměník a ohřívá spaliny pro SCR, čímž se významně sníží spotřeba zemního plynu používaného pro udržení správné teploty pro ideální fungování katalyzátoru. Zapojením 5. tahu jako výměníku ušetříme asi 75 % spotřeby zemního plynu za rok. Roční spotřeba plynu V ZEVO Malešice se pohybuje okolo 250 000 m³ plynu, což by znamenalo, že po ukončení rekonstrukce kotlů by se měla spotřeba pohybovat na hranici 62 500 m³.
- zpřísnění evropské legislativy musí být v rukou úředníků znalých oboru. Tvorba legislativy by neměla být snahou pouze umlčet část veřejnosti, ale reflektovat potřeby a technický stav jednotlivých zařízení pro splnění emisních limitů. Protopovolit například instalaci technologií pro snížení emisí až s úpravou kotelny. Přístupovat zařízením jednotlivě.

4.2 Třídění bioodpadu

V této oblasti navrhuji následující:

- Vzhledem k plánovanému zákazu skládkování by bylo vhodné zavést třídění bioodpadu, který se dá celkem úspěšně recyklovat. Spalovny by mohly využít vzniklé kapacity pro komunální odpad, který by jinak putoval na skládky.
- Z hlediska hierarchie nakládání s odpady by se mělo přistoupit k recyklaci bioodpadu. Vytríděním bioodpadu bychom získali stálejší výhřevnost odpadu, což by znamenalo menší spotřebu přídavného paliva.

- Průměrně se odhady pohybují okolo 50 kg bioodpadu produkovaného v domácnostech na obyvatele na rok⁶⁸. Pokud bychom toto množství zvládali využít jinak než spalením, ušetřili bychom 17 % objemu odpadu jenom tříděním odpadů z domácností.
- Třídění BRKO povede k naplnění cílů EU o vytrídění 65 % komunálních odpadů do roku 2035.
- Využití celosvětového trendu výroby paliv z bioodpadů, které nemají žádné potravinářské využití. Je to lesní biomasa, potravinářské odpady, gastro-odpady, zemědělská sláma, energetické rostliny i BRKO (biologicky rozložitelný komunální odpad) z domácností.⁶⁹ Využití těchto odpadů výrazně pomůže snížit množství odpadů, které momentálně končí na skládkách. V roce 2024 by se ale měly energeticky využívat v ZEVO, proto by bylo lepší je zpracovat na biopaliva nebo alespoň část zpracovat v kompostárně.

5 Závěr

Teoretická část bakalářské práce se věnuje zákonům zabývajících se odpady a jejich zpracováním. Je zde předložen rozbor odpadu a oficiální údaje o odpadech v ČR ze statistického úřadu.

Důležité téma, které se týká spalování odpadu jsou emise škodlivin do ovzduší. Teoretická část se jim věnuje a jsou zde rozebrány i charakteristika rizik spojená s emisemi škodlivin do ovzduší.

Analytická část se věnuje zařízení pro energetické využití odpadů. Nejprve rozebírá jednotlivé dílčí technologie pro termické zpracování a následně technologie pro čištění spalin.

Práce je zaměřena na ekonomii provozu sekundárních metod pro snižování emisí, čemuž je věnována podkapitola v analytické části. Následně je představeno financování akce GOLEM.

Návrh zmiňuje systematictější proces při tvorbě legislativy ohledně ZEVO, přihlížet k technické stránce ZEVO při snaze o snížení emisí, zavést třídění bioodpadu pro uvolnění kapacit pro spalování odpadu a jeho smysluplnější využití z pohledu recyklace.

⁶⁸ Enviweb.cz

⁶⁹ KRÁTKÝ; JIROUT, Moderní trendy předúprav biomasy

6 Seznam zdrojů:

BALOCH, Tomáš, Ekologická či eko-nelogická řešení ochrany ovzduší v zařízeních typu ZEVO?, ©2014, [cit. 24.7.2019], Pražské služby, a.s, Ekolog ZEVO Praha Malešice, přednáška Odpadového fóra

BENEŠOVÁ, Libuše, Skladba komunálního odpadu v ČR, Praha, Univerzita Karlova, Přírodovědecká fakulta, 2016, 2016, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: https://www.czp.cuni.cz/czp/images/stories/2012/odpady/1-skladba_komunalniho_odpadu-benesova.pdf

Česká asociace odpadového hospodářství, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/novy-zakon-odpovedi-caoh-na-dotazy-tydeniku-ekonom.html>

Český statistický úřad, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/cri/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2017>

Elektronický zpravodaj pro města a obce systému EKO-KOM, [online], ©2017, [cit. 24.7.2019] dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/news/id627/ZPR@VODAJ_18_2017_final.pdf

Enviweb.cz, [online], ©2017, [cit. 24.7.2019] dostupné z: <http://www.enviweb.cz/109797>

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

HAVEL, Milan, VEBR, Vít, VÁLEK, Petr, ARNIKA, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://arnika.org/oxid-dusiku>

HAVEL, Milan, VÁLEK, Petr, ARNIKA, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://arnika.org/oxid-uhelnaty>

HORSÁK, Zdeněk, MÝTY vs. FAKTA o skládkování, Praha, Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2016, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160505_zakon_odpady/\\$FILE/Myty_vs_fakta_fin.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/news_160505_zakon_odpady/$FILE/Myty_vs_fakta_fin.pdf)

CHALIKI Paraskevi, PSOMOPOULOS S. Constantinos, THEMELIS J. Nickolas, (2016), "WTE plants installed in European cities: a review of success stories",

Management of Environmental Quality, Vol. 27 No. 5, pp. 606-620. <https://doi-org.ezproxy.techlib.cz/10.1108/MEQ-01-2015-0018>

KLEGER, Ladislav, VÁLEK, Petr, ARNIKA, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://arnika.org/fluorovodik>

KRÁTKÝ, Lukáš a Tomáš JIROUT. Moderní trendy předúprav biomasy: pro intenzifikaci výroby biopaliv druhé generace. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2015. ISBN isbn978-80-01-05720-9.

KURAŠ, Mečislav. Odpady a jejich zpracování. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7

KURFÜRST, Jiří, ed. Kompendium ochrany kvality ovzduší. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2008. ISBN 978-80-86832-38-8.

MALAŤÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

MAREŠ, Jan, Technologický vývoj ZEVO Malešice z hlediska ochrany životního prostředí, Praha, 2013, Bakalářská práce, Česká zemědělská univerzita, Fakulta životního prostředí, RNDr. Vlastimila Mikulová.

Ministerstvo průmyslu a obchodu České republiky [online], ©2013, [cit. 17.7.2019] dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/20080407_BREF_WI_CZ_final.pdf

Ministerstvo životního prostředí České republiky [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/news_09042019-nova-odpadova-legislativa-recyklace-komunalnich-odpadu-trideni

OBROUČKA, Karel. Termické zneškodňování odpadů. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1997. ISBN 80-7078-505-5.

PASTOREK, Zdeněk, Jaroslav KÁRA a Petr JEVÍČ. *Biomasa: obnovitelný zdroj energie*. Praha: FCC Public, 2004. ISBN isbn-80_86534-06-5.

PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, ARNIKA, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://arnika.org/dioxiny-pcdd-pcdf>

PETRLÍK, Jindřich, VÁLEK, Petr, ARNIKA, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://arnika.org/chlorovodik>

Polétavý prach: Metody měření znečišťujících látek v únicích do ovzduší, [online], [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://www.irz.cz/node/179>

Pražské služby, a.s, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
<https://www.psas.cz/index.cfm/info-pro-akcionare/2019/vyrocní-zprava-za-rok-2018/>

Pražské služby, a.s, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
[https://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE%20140410-Model\(1\).pdf](https://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE%20140410-Model(1).pdf)

Pražské služby, a.s, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
<https://www.psas.cz/index.cfm/emise-dluhopisu/prospekt-pro-dluhopisy-psas-2019-id16459/>

Pražské služby, a.s, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
<https://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE.pdf>

Skupina ČEZ, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
<https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>

Skupina ČEZ, [online], ©2019, [cit. 24.7.2019] dostupné z:
<https://www.cez.cz/cs/zevo/zevo-v-zahranici.html>

TRIASI Maria ,ALFANO Rossella ,ILLARIO Maddalena ,NARDONE Antonio, CAPORALE Oreste, MONTUORI Paolo; Environmental Pollution from Illegal Waste Disposal and Health Effects: A Review on the “Triangle of Death”; [online], ©2015, [cit. 24.7.2019] dostupné z: <https://www.mdpi.com/1660-4601/12/2/1216>

Vodní zdroje Ekomonitor spol. s r.o., [online], ©2019, [cit. 24.7.2019]] dostupné z:
http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/obrazky/seminare/ovzdusi/seminar2/12_dil_7_tisk_andreovsky.pdf

VOŠTOVÁ, Věra. Logistika odpadového hospodářství. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04426-1.

VOŠTOVÁ, Věra a Jiří FRIES. Zpracování pevných odpadů. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003. ISBN 80-01-02672-8.

Vyhláška 415/2012 Sb., O přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší

Zákon 201/2012 Sb., O ochraně ovzduší

7 Seznam obrázků

Obrázek 1 Následnost pochodů při spalování odpadů a složení plyných produktů..	16
Obrázek 2 - Technologické schéma ZEVO Malešice (před výměnou kotlů)	31
Obrázek 3 Pevný rošt	32

Obrázek 4 Šikmý pevný rošt	33
Obrázek 5 Pohyblivý rošt	34
Obrázek 6 Válcový rošt	34
Obrázek 7 Posuvný rošt	35
Obrázek 8 Vratisuvný rošt	36
Obrázek 9 Sklopný rošt	36
Obrázek 10 Kuželový rošt	37
Obrázek 11 Rukávový filtr s mechanickým okapáváním	40
Obrázek 12 Elektrostatistický odlučovač (1- izolátor, 2- vyzařovací elektrody, 3- sběrné elektrody, 4- vstup znečištěných plynů, 5- prach, 6- zásobník prachu, 7- výstup čistých plynů, 8- transformátor a usměrňovač vysokého napětí).	41
Obrázek 13 Suché čištění spalin (1- surové spaliny, 2- čisté spaliny, 3- reaktor, 4- trysky, 5- elektrofiltr, 6- spalinový ventilátor, 7- dopravník prachu, 8- procesní voda, 9- stlačený vzduch, 10- zásobník aditiva)	42
Obrázek 14 Polosuché čištění spalin (1- surové spaliny, 2- čisté spaliny, 3- rozprašovací absorbér, 4- trysky, 5- filtr, 6- spalinový ventilátor, 7- dopravník prachu, 8- silo recyklu, 9- vápenné mléko, 10- procesní voda, 11- tlakový vzduch, 12- silo páleného vápna, 12- hašení vápna, 14- tuhý produkt)	43
Obrázek 15 Příklad mokrého čištění spalin	44
Obrázek 16 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace metody SNCR	48
Obrázek 17 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace SCR	49
Obrázek 18 Schéma ZEVO Malešice - červeně zobrazeno místo aplikace SCR DeDiox	50

8 Seznam rovnic

Rovnice 1 – Výpočet koeficientu R1	11
Rovnice 2 Spalování uhlíku	14
Rovnice 3 Spalování vodíku	15
Rovnice 4 Spalování síry	15
Rovnice 5 Rozklad NO pomocí NH ₃	45
Rovnice 6 Rozklad NO ₂ pomocí NH ₃	45

9 Seznam tabulek

Tabulka 1 výpočet koeficientu R1.....	12
Tabulka 2 Emisní limity dle vyhlášky 415/2012.....	18
Tabulka 3 Množství odpadu (Benešová, 2016).....	20
Tabulka 4 roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s NOx při spálení 300 000 t/rok.....	47
Tabulka 5 roční průměrné bilance nákladů a spotřeb v souvislosti s PCDD/PCDF při spálení 300 000 t/rok	50
Tabulka 6 Průměrné koncentrace škodlivin ZEVO Malešice za rok 2018 v porovnání s emisními limity.	53
Tabulka 7 Množství vznikajícího dioxinu (PCDD/PCDF) z různých zdrojů v Německu	54