VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ
ENERGY USE OF WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Radomír Hrubý
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2018

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Student:	**Radomír Hrubý**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok:	2017/18

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 odpadů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využívání odpadů pro energetické účely je jedním z hlavních téma české energetiky. Odpad jako druhotný zdroj energie se jeví jako optimální doplněk palivového mixu – šetří se primární palivo, snižuje se množství skládkovaného odpadu a tím i ekologická zátěž. Na druhou stranu se spalováním odpadů uvolňují velmi nebezpečné látky a snaha o maximální využití může vést k nižší motivaci separace využitelných složek odpadů.
Zpracování této práce student získá vhled do problematiky využívání odpadů a vhodných technologií transformace paliva. Práce se bude zabývat i vznikem nežádoucích emisí a jejich eliminací.

Cíle bakalářské práce:

– přehled dostupných technologií úprav a využití odpadů jako paliva
– ekologické aspekty využívání odpadů
– energetické zdroje využívající odpad jako palivo v ČR

Seznam doporučené literatury:

BALÁŠ, M.: Kotle a výměníky tepla, skripta VUT, Brno 2013, druhé vydání, ISBN 978-80-214-4770-7

VEJVODA J., MACHAČ P., BURYAN P.: Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů, VŠChT Praha 2003, ISBN 80-7080-517-X

NOSKIEVIČ, P., KOLIČNÝ, P., OCHODEK, T.: Malé zdroje znečišťování, VEC Ostrava 2004

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Obsahem této práce je zhodnocení energetického využití odpadů. Úvodem je popsáno seznámení s aktuálním postojem České republiky ohledně nakládání s odpady. Včetně popisu jednotlivých technologií nakládání s odpady. Následující kapitola pojednává o využití odpadu jako paliva pro energetické účely. Je zde rešeršní formou zpracován princip spalování odpadu a technologie pyrolýzy. Dále jsou rozebrány způsoby čištění jednotlivých složek spalin. Předposlední kapitola je věnována legislativě, jež ovlivňuje ekologii energetického využívání odpadu a srovnání emisí různých stacionárních zdrojů znečištění produkujících energii. Závěrem jsou popsány zařízení pro energetické využívání komunálních odpadů nacházející se v České republice, jež jsou doplněna o dvě zařízení ze sousedních států.

Klíčová slova

Energetické využití odpadu, ZEVO, komunální odpad, odpadové hospodářství, emise

ABSTRACT

The content of this work is an evaluation of the Waste-to-Energy technology. The introduction describes current position of the Czech Republic on waste management. Including description of individual waste management technologies. The following chapter deals with the use of waste as a fuel for energy purposes. The principle of waste incineration and pyrolysis technology is elaborated here. Further, are discussed the methods of purification of individual components of flue gas. The penultimate chapter is devoted to legislation that affects the ecology of Waste-to-Energy technology and the comparison of emissions of various stationary sources of pollution which are producing energy. In conclusion, there are described facilities for the energy utilization of municipal waste in the Czech Republic, which are supplemented by two facilities from neighboring states.

Key words

Waste-to-Energy, WtE Plant, Municipal Solid Waste, waste management, emission

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRUBÝ, R. Energetické využití odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2018. 45 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Energetické využití odpadů* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

25. 5. 2018

Datum

Radomír Hrubý

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při psaní této bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD 11
1 Vývoj odpadové strategie ČR 12
2 Technologie využívání a odstraňování odpadu 15
2.1 Třídění 15
2.2 Recyklace 16
2.3 Kompostování 16
2.4 Mechanicko-biologická úprava 16
2.5 Skládkování 17
3 Energetické využití 18
3.1 Odpad palivem 18
3.1.1 Tuhé alternativní palivo (TAP) 19
3.2 Spalování 19
3.2.1 Proces spalování odpadu 20
3.2.2 Čištění spalin 22
3.2.3 Odstranění tuhé složky spalin 23
3.2.4 Odstranění plynných emisí 23
3.2.5 Odstranění NOx ze spalin 24
3.2.6 Odstranění PCDD/PCDF 24
3.3 Pyrolýza 25
4 Ekologické aspekty využití odpadu jako paliva 26
4.1 Zákon č. 201/2012 Sb. 26
4.2 Vyhláška č. 415/2012 Sb. 26
5 Energetické zdroje využívající odpad jako palivo v ČR 31
5.1 Zařízení na energetické využití odpadu 31
5.1.1 SAKO Brno 31
5.1.2 ZEVO Malešice 33
5.1.3 TERMIZO Liberec 34
5.1.4 ZEVO Chotíkov 35
5.1.5 Srovnání 36
5.2 Vybrané energetické zdroje sousedních států 36
5.2.1 OLO a.s. Bratislava 36
5.2.2 ZEVO Krakov 37

ZÁVĚR 38
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 39
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 45

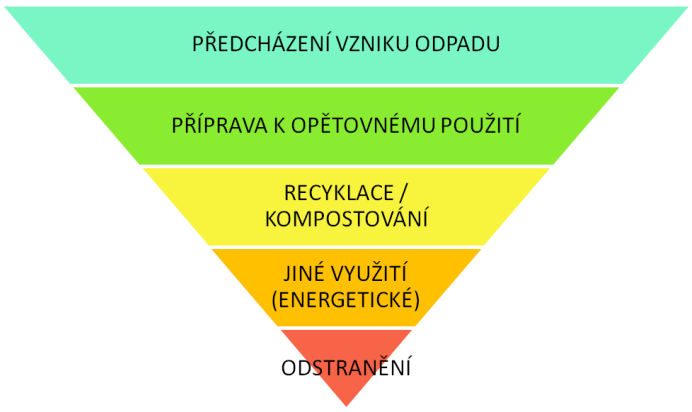
ÚVOD

V pozadí rostoucí lidské populace roste produkce odpadu. S rozvíjejícími se technickými znalostmi přibývají možnosti, jak tento problém lépe korigovat. Je tedy ve všeobecném zájmu nutné posoudit, které z těchto možností jsou pro civilizaci nejvýhodnější. Nesmí se však stavět do pozadí životní prostředí na úkor preferovaní ekonomické výhodnosti. Je žádané omezit produkci odpadu a zabývat se otázkou jeho materiálového či energetického využití. V současné chvíli se nabízejí dvě možnosti, jak si poradit s odpadem. Buď jej budeme využívat, nebo odstraňovat.

Tato bakalářská práce obsahuje seznámení s aktuální situací a pohled na cestu, kterou se chystá Česká republika (ČR) v budoucnu vydat, co se týče nakládání s odpady. Současný směr ČR směřuje k cílům Evropské unie, tedy omezit či úplně zakázat skládkování a zaměřit se primárně na recyklaci, kterou má doplňovat spolupráce s energetickým využíváním odpadu. Pro spalování odpadu jsou potřeba zařízení pro energetické využití odpadu (ZEVO), které narážejí na negativní postoj neinformované části společnosti, která namítá, že při spalování odpadu uniká do ovzduší obrovské množství toxických látek. Přičemž spalovny odpadu bývají jedny z nejpřísněji hlídaných zařízení, co se týče emisí unikajících do ovzduší, s moderním systémem čištění spalin. Zároveň splnění všech podmínek pro provoz a vysoké investiční náklady staví tyto zařízení mezi vysoce finančně nákladné položky. Je však pravdou, že se v budoucnu bez ZEVO neobejdeme a budou mít zásadní vliv na dosažení cílů, které si stanovila Česká republika v oblasti odpadového hospodářství.

1 Vývoj odpadové strategie ČR

Teprve v roce 1991 byl sestaven a přijat zákon č. 238/1991 Sb., o odpadech [1], který je velkým impulsem vývoje odpadového hospodářství ČR. Evropský parlament v roce 1999 úspěšně schválil směrnici Rady evropské unie 1999/31/ES [2], ze které vyplývá povinnost členských států snížit do roku 2020 podíl skládkovaného biodegradabilního odpadu na 35 % z objemu ukládaného na skládky v roce 1995. V zákoně o odpadech č. 185/2001 Sb. a jeho pozdější úpravě, se v roce 2010 objevuje ustanovení § 9a odst.1 OdpZ Hierarchie způsobů nakládání s odpady. [3] [4]



Obr. 1 Hierarchie způsobu nakládání s odpady [9]

Největší část zde zaujímá sekce s názvem: Předcházení vzniku odpadu. Tato sekce je začleněna do Plánu odpadového hospodářství ČR pro období 2015 – 2024 (POH ČR) jako Program předcházení vzniku odpadů [5], jež si za své hlavní cíle stanovuje snížit spotřebu primárních zdrojů, podporovat nové nízkoodpadové technologie výroby, informovat společnost a zvýšit pocit zodpovědnosti.

Energetické využití odpadu se nachází v oblasti méně preferovaných možností, po které následuje odstranění odpadu. Je zde třeba upozornit na to, že odstraňován by měl být pouze odpad, který nelze dál nijak využít. POH ČR klade jasný cíl zvýšit energetické využití komunálního odpadu v zařízeních k tomu určených s ohledem na legislativu a životní prostředí. Velmi přísným cílem se jeví zákaz skládkování, ke kterému má dojít, po kontinuálním navyšování poplatků za skládkování, v roce 2024. [6]

Jedna z vizí moderního hospodaření s odpady je oběhové hospodářství. Jedná se o cirkulující systém založený na úspornějším využívání stále vzácnějších primárních zdrojů. Je zde kladen důraz na znovuvyužití vyřazených, nefunkčních výrobků, které by neměly končit na skládkách, ale měly by být zdrojem tvorby další hodnoty. Již při výrobě by měl daný proces brát ohled na recyklovatelnost a trvanlivost. Na konci roku 2015 vydala Evropská komise legislativní balíček obsahující návody na přípravu na přechod k tomuto typu hospodářství. [7] [8] [10]

Obr. 2 Schéma oběhového hospodářství [10]

Aktuální situace

Mezi nejdůležitější strategické cíle aktuálního plánu patří: [6]

- předcházení vzniku odpadů
- odstranění nežádoucích účinků na lidské zdraví při nakládání s odpady
- stát se součástí evropské „recyklační společnosti“
- využít odpad jako náhradu primárních zdrojů
- postupný přechod na oběhové hospodářství

Tabulka 1 Hlavní způsoby nakládání s odpady, 2016 [64][1]

Využití odpadů celkem [t]	**29 167 014**
Materiálové využití odpadů[2]	27 958 150
Energetické využití odpadů	1 208 864
Odstranění odpadů skládkováním	3 236 892
Odstranění odpadů jiným uložením	9 921
Odstranění odpadů spalováním	80 772

[1] Veřejná databáze Ministerstva životního prostředí. Dostupná z: https://isoh.mzp.cz/visoh
[2] Z toho 19 817 146 Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)

Tabulka 2 Vybrané způsoby nakládání s komunálními odpady a jejich podíl na celkové produkci komunálních odpadů, 2016 [64]

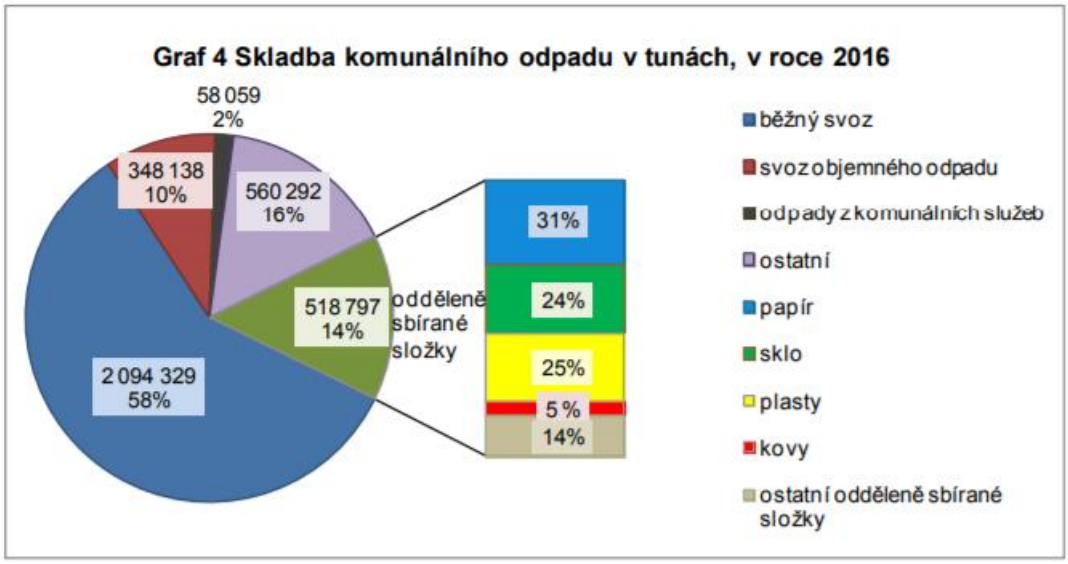
Celková produkce komunálních odpadů [t]	**5 612 416**	
Z toho	t	%
Množství energeticky využitých komunálních odpadů	680 504	12,1
Množství materiálově využitých komunálních odpadů	1 208 864	38,1
Množství komunálních odpadů odstraněných skládkováním	3 236 892	45
Množství komunálních odpadů odstraněných spalováním[3]	9 921	0,06

Z tabulek č. 1 a 2 je patrno, že až 45 % komunálního odpadu končilo v roce 2016 na skládkách. Česká republika jakožto člen EU bude zvyšovat podíl recyklovaného odpadu. Primární snahou bude postupně snižovat množství odpadu ukládaného na skládky a snažit se toto množství materiálově či energeticky využít. Důležitým úkolem bude také odstranění zažitého systému: výroba – použití - odstranění. Odpad je nutno vnímat jako komoditu, která se dá různými způsoby dál zpracovávat a využívat.

[3] Spalování bez energetického využití.

2 Technologie využívání a odstraňování odpadu

Komunální odpad (KO) je veškerý odpad vznikající při činnosti fyzických osob na území obce. Jedná se o směs spousty rozdílných složek s odlišným využitím a způsobem odstraňovaní. K jeho zpracování a využití se používá několik metod. Abychom mohli tyto metody použít, musíme nejprve odpad roztřídit, teprve poté se věnovat jeho využití. Podle odpadové hierarchie je prvním z nejvýhodnějších využití recyklace a kompostování. Zde můžeme zařadit i mechanicko-biologickou úpravu odpadu. Následuje energetické využití odpadu. Pyramidu uzavírá technologie skládkování, která spadá do oblasti odstraňování odpadu. [11]



Obr. 3 Skladba komunálního odpadu v roce 2016 [12]

Z obrázku č. 3 můžeme vyčíst skladbu komunálního odpadu za rok 2016. Druhou největší složkou je zde ostatní odpad definující odpad z údržby zeleně či odpadní zeminy. Nemalou část zde také zabírá tříděný odpad. Největší část zaujímá běžný svoz, což je odpad z popelnic a kontejnerů, který je třeba dále roztřídit.

2.1 Třídění

Před samotným využitím je třeba směsný komunální odpad (SKO) roztřídit do složek s co nejvíce stejnými vlastnostmi. To se děje mechanicky, pneumaticky, elektromagneticky a manuálně. Mechanické třídění probíhá na rotačních bubnech se síťovým povrchem, nebo na vibračních roštech. Pneumatické třídění je bezsítové třídění, kde využíváme proudění vzduchu a odlišné hustoty či hmotnosti tříděných látek. Hydraulické třídění probíhá v mokrém prostředí a spolu s pneumatickým využívá odstředivých sil, které působí na materiál při spirálovitém pohybu. Magnetické třídění se využívá k separaci kovů ze směsi odpadu. I přes vysokou technologickou vyspělost tohoto procesu se nevyhneme ručnímu dotřiďování rozseparované směsi. Taktéž přítomnost mazlavých a kašovitých odpadů zhoršuje kvalitu separace a snižuje životnost strojů určených k těmto operacím. [11]

2.2 Recyklace

Tato metoda využívá odpad jako zdroj materiálu pro jeho znovuvyužití. Tím se napomáhá snížit celkový objem odpadu určeného k odstranění. Nejčastěji recyklovaný materiál je stavební a demoliční odpad, kde se za rok 2016 podařilo materiálově využít 95,87 % z původních 20,67 mil. tun odpadu, což je nad rámec norem EU. [13] Následuje odpad z tepelných procesů a komunální odpad. Právě u komunálního odpadu se plánuje *do roku 2020 zvýšit nejméně na 50 % hmotnosti celkovou úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklaci alespoň u odpadů z materiálů jako je papír, plast, kov, sklo, pocházejících z domácností, a případně odpady jiného původu, pokud jsou tyto toky odpadů podobné odpadům z domácností*. [6]

Recyklace se dá rozdělit na přímou a nepřímou, kde u přímé materiál nijak neupravujeme a je znovu využíván. U nepřímé recyklace je třeba materiál upravit na druhotnou surovinu použitelnou při další výrobě. Zde se řadí např. sklo, plasty, papír apod. Zatímco sklo lze bez výrazných ztrát kvality neustálé roztavovat, u papíru tomu tak není. Papír podléhá zhoršení kvality vlastností při opakované recyklaci (downcycling). [14]

V současné situaci je recyklace odpadu nejpodporovanějším způsobem nakládání s odpady. Přesto je však nutné vyřešit závažná úskalí, jež vznikly v posledních letech. Mezi které můžeme například zařadit omezení dovozu recyklovatelného odpadu do Číny, kde vyvážíme až 85 % plastového odpadu. Toto omezení řada firem řeší prodejem plastového odpadu do jiných především asijských zemí. Při převozu a samostatném zpracovávání plastového odpadu však řada těchto rozvojových zemí nedbá na životní prostředí a tím miliony tun ročně tohoto odpadu končí v oceánech. [15][62]

2.3 Kompostování

Jedná se o technologický proces rozkladu organického odpadu na kompost. Původní organické látky se stabilizují na látky humusové. Odpad může být touto metodou redukován až o 30 % svého původního objemu. Pro správné kompostování je třeba odpad pořádně rozdrtit a protřídit. Dále musí být dodržen poměr C:N 30:1 a současně musí být přítomny biogenní prvky. Rozklad trvá přibližně 30 dní, kdy rychlost je závislá na teplotě a složení materiálu. [11]

V posledních letech je tato metoda na vzestupu. V roce 2016 kompostárny zpracovaly 245 tis. tun biologicky rozložitelného KO (BRKO). Toto množství je o 73,3 % větší než v roce 2015. [16]

2.4 Mechanicko-biologická úprava

MBÚ je technologie úprav SKO, pomocí které můžeme vyjmout materiálově využitelnou část a biologicky rozložitelnou část SKO. Biologicky rozložitelná část se následně stabilizuje kompostováním. Mechanické dokončení úpravy materiálu pak oddělí výhřevnou frakci, která se upravuje do TAP (tuhé alternativní palivo). To se poté spaluje v monoblocích či zařízeních se spoluspalováním odpadu, kde však jsou kladeny nižší nároky na čištění spalin. Tento typ paliva je popsán v podkapitole 3.2 kapitoly Odpad palivem. ČR nepovažuje tuto technologii jako konečné využití odpadů a nejvýhodnější forma, jak tuto technologii využívat, se jeví na regionální úrovni. [6]

2.5 Skládkování

Nejméně ekologicky výhodnou, avšak nejlevnější technologií je ukládání odpadu na skládky. Skládkování je přísně řízený technologický proces sloužící ke konečnému odstranění odpadu. Rozlišujeme skládky inertních odpadů (stavební suť, kamení), skládky komunálních odpadů a skládky odpadů nebezpečných. Odpad je možno ukládat pod úroveň terénu nebo pokládat po vrstvách na sebe. Dále je pomocí kompaktorů hutněn na co nejmenší objem na nejmenší ploše. Často se k uložení odpadu využívají přírodní či umělé prohlubně pod povrchem země - takzvaná hlubinná injektáž. Aby skládka neohrozila podzemní vody a okolní prostředí, je třeba ji izolovat patřičnou těsnící vrstvou. Musí být také zajištěn odtok dešťové vody, jež přijde do kontaktu s odpadem. Neméně důležité je jímání skládkového plynu, který je možno nadále využít. [17]

Na skládkách stále končí okolo 45 % komunálního odpadu. ČR tak nejspíše nesplní cíl materiálově využít 50 % komunálního odpadu do roku 2020. Taktéž zákaz skládkování plánovaný na rok 2024 se jeví jako problémový. Ministerstvo životního prostředí (MŽP) věří, že zvýšením skladovacího poplatku na 2000 Kč/tun motivuje obce ke třídění a zvýší tím podíl materiálově využitelného odpadu. Velkou roli na tom, zdali se skutečně zakáže skládkování odpadu v roce 2024, bude mít postoj ČR k energetickému využívání odpadů, stejně tak jako spolupráce mezi společností preferující recyklaci a společností preferující energetické využití. [6]

3 Energetické využití

Technologie energetického využití odpadu (EVO) zaujímá v odpadové hierarchii předposlední místo. Nejčastějším typem takto využitého odpadu je komunální odpad, který tvoří 56,3 % z celkového počtu energeticky využitého odpadu za rok 2016. [13] Technologie spalování odpadů se dá považovat za energetické využití, pouze pokud odpad nepotřebuje podpůrné palivo a vznikající teplo se využije spalovnou nebo dalšími osobami s ohledem na podmínky stanovené právními předpisy o ochraně ovzduší. Nesplněním těchto podmínek spadá dané zařízení do kategorie na odstraňování odpadů. [19]

Podle obsahu kyslíku v reakčním prostoru můžeme rozdělit termické procesy do dvou kategorií. První z nich jsou oxidační procesy, ty se vyznačují stechiometrickým, či vyšším obsahem kyslíku ve spalovacím prostoru a druhou kategorií jsou redukční procesy, kde je obsah kyslíku v reakčním prostoru podstechiometrický či až nulový. [18]

Termické metody zpracování odpadu přinášejí snížení takto zpracovaného objemu až na 10–15% původního objemu. Taktéž odstraní většinu nebezpečných vlastností, jimiž jsou například mikrobiologická závadnost, karcinogennost, emise těkavých organických látek do ovzduší s výhodou inertizace zbytkové nespalitelné složky. Tato metoda si žádá velmi finančně nákladný proces čištění spalin, kde musí splňovat přísné emisní limity. Mezi jednou z velkých nevýhod je vysoká investiční náročnost.[19] [11]

Kdy je odpad palivem a jeho ekologický dopad je popsán v následující podkapitole.

3.1 Odpad palivem

Výhřevnost komunálního odpadu se pohybuje okolo 7,5 MJ/kg až 10,5 MJ/kg, což odpovídá přibližně výhřevnosti hnědého uhlí. Problémem je nestálost složení odpadů a tím i kolísavost výhřevnosti. Ona nestálost složení odpadu závisí na lokalitě odkud je svážen spolu s ročním obdobím. [20]

Tabulka 3. znázorňuje orientační výhřevnosti jednotlivých složek odpadu. Lze si povšimnout, že velký vliv na výhřevnost mají odpady určené k recyklaci. Odstraněním kovů a skla zvýšíme výhřevnost a odstraněním potravin či jiných organických materiálu snížíme vlhkost. Tím můžeme napomoci základním podmínkám, kdy se odpad může spalovat bez pomocí přídavných paliv. Mezi tyto podmínky patří: maximální vlhkost spalovaného materiálu nesmí překročit 50 % vlhkosti a maximální množství popelovin a nespalitelných látek v sušině spalovaného materiálu musí činit maximálně 40 %. [20] [11]

Tabulka 3 Výhřevnost jednotlivých složek odpadu [20]

Druh odpadu	Výhřevnost [MJ/kg]
Papír	15,7
Plasty	32,7
Polyetylen	43,4
Polystyren	38,0
PVC	22,5
Textil	18,3
Potraviny	3,2
Smetky	6,0
Štěpka, dřevo	12,4
Sklo	0,2

V zařízeních ZEVO, tak nemůžeme využívat jakýkoliv odpad z dostupných lokalit, nýbrž odpad, k jehož spalovaní jsou daná zařízení navržena. Využití odpadu jako paliva se v současné době pohybuje okolo 13 % z celkové produkce komunálního odpadu. [13] Existuje i několik typů paliva z komunálních odpadu používaných především v zařízeních se spolu-spalováním odpadu. Jedním z těchto druhů je tuhé alternativní palivo TAP. [18]

3.1.1 Tuhé alternativní palivo (TAP)

Toto palivo vzniká při oddělení výhřevné frakce od ostatních frakcí z KO. Jedná se většinou o gumy, syntetický textil, dřevo a papír nevhodný pro recyklaci. TAP, označováno také jako RDF (refuse derived fuel) či SRF (solid recovered fuel), se vyznačuje vysokou výhřevností (20–23 MJ/kg). TAP se ve velké míře používá v jako sekundární palivo v cementárnách, kde snižuje náklady na primární palivo a snižuje emise. TAP se dá použít také v energetickém sektoru. V ČR díky složité legislativě je tato možnost zatím pouze ve fázi pokusného spalování. Mezi výrobce TAP patří například OZO Ostrava a jejich TAP pod názvem PALOZO, které už od roku 2000 dodávají do cementárny v Hranicích. Výrobou LAPUREN-Granulátu, homogenizovaného granulátu ze syntetických látek pocházejících ze separovaného sběru disponuje společnost LEMONTA s.r.o se sídlem v Sokolově, která takto ročně zpracuje 100 000 t granulátu a 40 000 t peletek. [18]

3.2 Spalování

Spalování odpadu je proces řízeného exotermického slučování hořlavých složek odpadu se stechiometrickým, tj. potřebným k průběhu reakce, nebo vyšším obsahem kyslíku v zařízeních tomu určených. V praxi je potřeba přivádět vzduch v nadstechiometrickém množství, aby mohlo bezpečně dojít k dokonalému spalování tj. k oxidaci uhlíku přítomného v hořlavině na CO_2, konverzi vodíku na vodu a síry na oxid siřičitý. V případě nedokonalého spalování vzniká toxický oxid uhelnatý. [19]

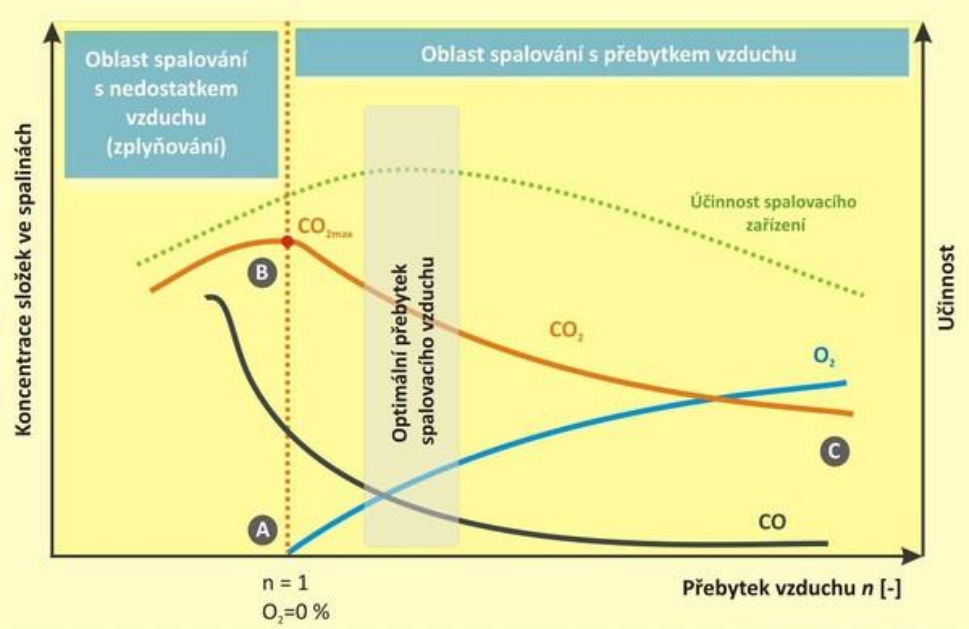
Použití odpadu jako paliva je opodstatněno, pokud již odpad neobsahuje recyklovatelný materiál, biologicky rozložitelné složky či nebezpečné látky a materiály.

3.2.1 Proces spalování odpadu

Nejprve je třeba připravit podmínky ke správnému spalování:

- Vzduch by měl být přiváděn s přebytkem 1,5 až 2,0 vůči stechiometrii spalovacích reakcí.[4]
- Dostatečné vyvinutí tepla k zahřátí odpadu na zápalnou teplotu, což je minimální teplota, při níž dochází k samovolnému hoření odpadu bez přístupu tepla zvenčí.
- Spaliny se v komoře musí zdržet po dobu minimálně dvou sekund, přičemž koncentrace O_2 za posledním přívodem vzduchu je minimálně 6 obj. % a je zajištěno spalování při teplotách vyšších než 850 °C. (V případě odpadů s halogenovými sloučeninami je požadována teplota 1100 °C.) [19]

Poté, kdy je garance splnění těchto podmínek zajištěna, se musí termoreaktor uvést na provozní teplotu. K tomu slouží pomocné hořáky, které krom téhle činnosti zajišťují teplotní homeostázu při procesu spalování. [11]



Obr. 4 Závislost koncentrace jednotlivých složek ve spalinách na přebytku vzduchu [21]

Zásobník odpadu pro spalování v zařízeních ZEVO se nazývá bunkr odpadu. Odtud odpad putuje do násypky roštového ohniště. Kvalitní a účinné spalování se uskutečňuje pomocí celé řady typů pohyblivých roštů (rošty pásové, válcové, natřásací…). Ty jsou konstruovány tak, aby vyhořelý popel padal mezerami do zásobníku, a také můžeme ovládat rychlost pohybu odpadu spalovacím prostorem kotle. Odpad prochází na roštu fázemi zahřívání, vysoušení, zplyňování, hoření a dohoření. [19]

[4] Hodnota přebytku spalovacího vzduchu je poměr skutečného a teoretického množství spalovacího vzduchu.

Rozlišujeme rošty:

- pevné (palivo tvoří nehybnou vrstvu)
- s občasným přemisťováním paliva
- s trvalým přemisťováním paliva

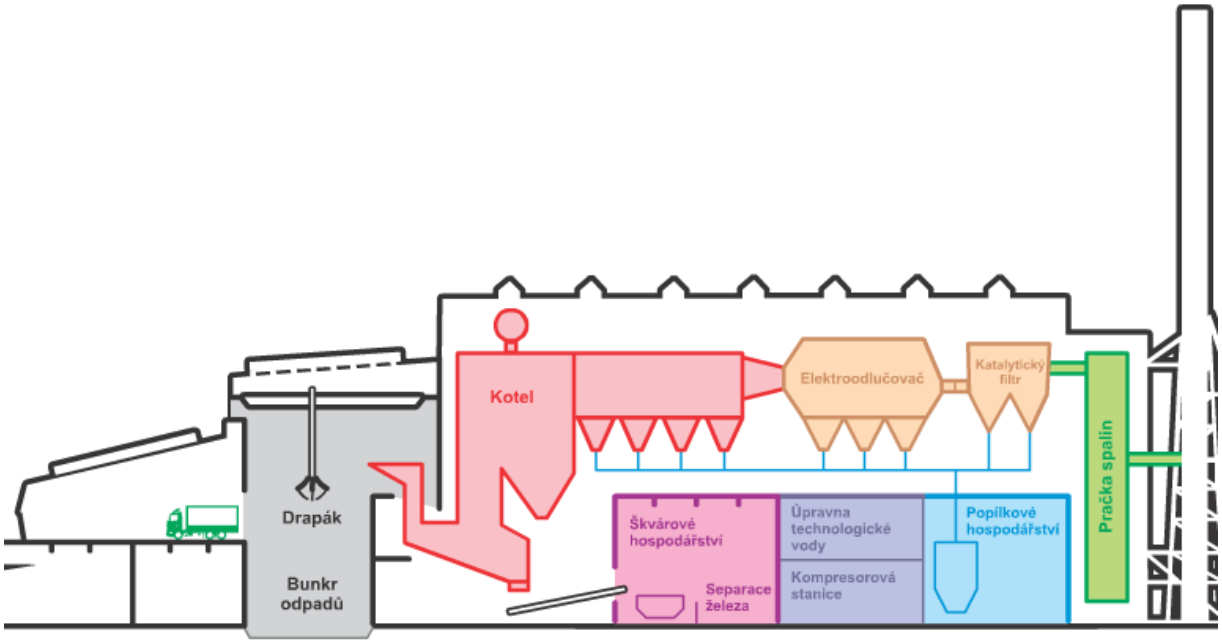
V zařízeních EVO se nejčastěji používají rošty s občasným přemísťováním paliva. Tímto přemisťováním se zajistí rozrušení spečené škváry, promíchání paliva a odvod tepla z ohniště. Patří zde rošty s výkyvnými roštnicemi, šikmé rošty, přesuvné rošty, vratisuvné rošty či rošty s válcovými roštnicemi. Přesuvné rošty tvoří úzké roštnice skloněné o 15°, jejich pohybem dochází k sesouvání paliva. Válcový rošt disponuje několika otáčejícími se dutými válci, skrz které je mezerami vháněn vzduch do spalovacího prostoru.

Vratisuvné rošty jsou konstrukcí podobné roštům přesuvným, ale roštnice se pohybuje proti směru toku paliva, dochází tak k promíchání paliva ve vrstvě, jež je také líp prolamována. Rozlišujeme rošt vratisuvný kaskádový a rošt typu Martin. Kaskádový rošt disponuje vodorovným povrchem a roštnice se pohybují napříč toku paliva. Vratisuvný rošt Martin je skloněný ve směru od vstupu paliva k výsypce, kdy spodní žhavá vrstva postupuje zpětně od konce roštu ke vstupu paliva. Přes tuto vrstvu přepadne čerstvé palivo z výsypky a tím se zaručí dlouhá doba setrvaní paliva na roštu a dokonalé prohoření celé vrstvy. [19] [22]

Jedním z dalších typů spalovacího zařízení jsou rotační pece. Zde je pohyb odpadu zajištěn pomalým otáčením mírně nakloněné pece. Díky neustálému pohybu odpadu v peci dochází k účinnému styku hořlaviny s okysličovadlem. Vynikají intenzivnějším přenosem tepla z vyhřáté vyzdívky pece na odpadové lože. Často jsou tímto způsobem zpracovány kašovité, pastovité odpady a nebezpečné odpady. [19]

Hlavní tuhý zbytek (popel, škvára) je jakožto produkt odváděn do bunkru na škváru. Zde probíhá třídění železných a barevných kovů. Zbylý objem se musí ukládat na speciální skládky, kde může sloužit i jako technické zabezpečení skládek, nebo slouží při výstavbě silnic jako podsyp. Poslední zmíněný způsob využití škváry není doposud v ČR realizovatelný z legislativních důvodů.

Lze předpokládat, že prvky jako Cl, F, S a N jsou obsaženy v odpadních materiálech a tudíž jsou spaliny kontaminovány řadou nebezpečných látek, jako jsou těžké kovy či vysoce toxické organické látky PCDD, PCDF. [19] [11]



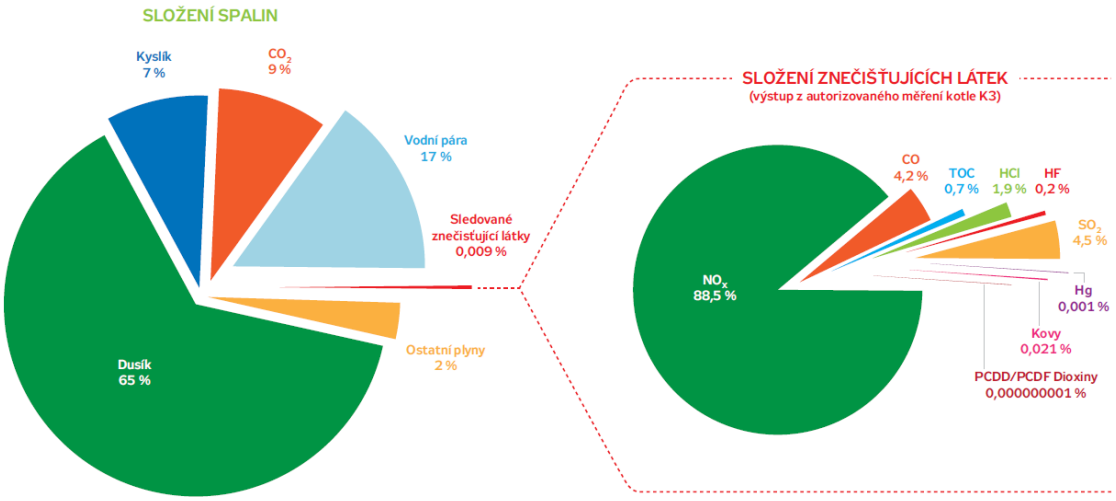
Obr. 5 Schéma plánovaného projektu ZEVO Komořany [58]

3.2.2 Čištění spalin

Moderní spalovny odpadu se dnes řídí velmi přísnými podmínkami pro provoz svých zařízení. Spalováním odpadu vznikají toxické látky nebezpečné pro životní prostředí. Mezi nejnebezpečnější se řadí karcinogenní dioxiny (PCDD) a furany (PCDF) spolu s formaldehydy, benzenem a styrenem. Je proto pochopitelné stanovení přísných emisních limitů.

Primární snahou je zabránit, nebo omezit tvorbu nebezpečných zplodin již během spalovacího procesu vhodnými technologickými opatřeními. Mezi sekundární opatření pro redukci nebezpečných látek patří technologie pro odstranění tuhé a plynné složky emisí ve spalinách. Spalovny odpadů průměrně vyprodukují okolo 4500–6000 m^3 spalin na tunu spáleného odpadu. Podle obrázku č. 6 můžeme vidět složení spalin brněnské spalovny odpadů. Dominantní složkou je zde dusík následovaný vodní parou a oxidem uhličitým. Ze znečišťujících látek můžeme regulovat množství CO řízeným přívodem kyslíku. [23]

Spaliny z kotle mají teplotu okolo 230–270 °C musí být proto nejprve zchlazeny vodou, aby neprobíhaly další nežádoucí reakce. Čištění má většinou tři stupně, kdy v prvním stupni odstraníme pevné částice a částečně i těžké kovy. Druhým stupněm je odstranění kyselých složek pomocí suché, polosuché, nebo mokré metody. Třetí stupeň má za úkol odstranit organickou složku, především dioxiny. [24]



Obr. 6 Složení spalin brněnské spalovny SAKO [25]

3.2.3 Odstranění tuhé složky spalin

Na tuhou složku spalin je vázáno nejvíce nebezpečných látek. V prvním stupni čištění jsou nejčastěji používány elektrostatické odlučovače. Tato technologie zachycuje prach a nečistoty pomocí dvou elektrod. Kdy je zapojena první sršící elektroda na záporný pól a druhá sběrná elektroda o velké ploše na pól kladný. Korona vznikající na povrchu sršící elektrody produkuje množství iontů pohybujících se k elektrodě sběrné, tím jsou spaliny přitahovány na sběrnou elektrodu. Tato zařízení jsou energeticky méně náročná než třeba tkaninové filtry. Díky malé průtočné rychlosti plynů, jsou však poměrně prostorná. [29]

Tkaninové filtry disponují vysokou odlučivostí, čímž si tato technologie zajistila pevné místo v řadě spaloven (např. brněnské SAKO, ZEVO Chotíkov). Filtrace probíhá na vláknitých vrstvách či pórézních hmotách, kdy dochází k zachytávání větších částic na povrchu filtru. Na tomto místě vzniká filtrační koláč, který se odstraní buďto zpětným tokem plynu nebo tlakovým rázem. Je pochopitelná vyšší spotřeba energie na prolomení odporu, který proudícímu plynu tyto filtry kladou. Jedná se o dražší variantu než elektrostatický odlučovač, nicméně tato varianta je nejúčinnějším způsobem odstranění tuhé složky spalin.

Mezi další zařízení patří cyklony, kde se k odstranění částic využívají odstředivé síly. Pro odstranění submikroskopických částic se používá Venturiho pračka, kde dochází ke shlukování prachu s aerosoly vody.[26] [29]

3.2.4 Odstranění plynných emisí

Sloučeniny jako SO_2, SO_3, HCL a HF, se odstraňují pomocí absorpce v alkalických činidlech. Podle druhu a stavu činidla dělíme metody na suché, polosuché a mokré.

Suché metody využívají hydroxid vápenatý ve formě jemného prášku, který je dávkován do horkých spalin. Vznikají tak neutrální částice, které jsou zachytávány na tkaninových filtrech, kde

tvoří pevný odpad, který se dále zpracovává soldifikací[5]. Výhodou jsou nízké investiční náklady doprovázené nevýhodou velké spotřeby prášku a tím vyšším vznikem nebezpečného odpadu.

U polosuchých metod jsou látky na bázi vápenného hydrátu rozmíchávány ve vodě a vstřikovány do proudu horkých spalin. Tato metoda patří mezi nejvyužívanější a je účinnější než metoda předchozí, nicméně si žádá vyšší investiční náklady než suchá metoda. Vzniká pak podobně nebezpečný odpad ve formě prášku.

Mokré metody používají chemické roztoky na bázi hydroxidů jako sorpční činidlo. Dosahují nejvyšších účinností, ale musí se zde řešit zpracování odpadní vody vznikající při sprchování spalin oběhovou vodou. [24]

3.2.5 Odstranění NO_x ze spalin

Dusík je ve spalinách zastoupen nejvíce a právě jeho oxidy vznikající při spalování je nutné regulovat. Redukce přebytku vzduchu kvůli přebytečné oxidaci vzdušného dusíku a omezení vysokých spalovacích teplot tvoří základní pravidla pro omezení vzniku oxidů dusíku. Pro dodržení emisních limitů se používají dvě metody - selektivní nekatalytická redukce amoniakem nebo močovinou a selektivní katalytická redukce amoniakem. [30]

Selektivní katalytická redukce (SCR) a selektivní nekatalytická redukce (SNCR)

SCR je metoda, při níž se do spalin dávkuje plynný čpavek, který reaguje s NO_x za vzniku molekulárního dusíku. Reakce probíhají díky katalyzátoru, kterým je oxid vanadičný. Selektivní nekatalytická redukce (SNCR) využívá podobně jako u selektivní katalytické čpavek a močovinu čímž se redukují oxidy dusíku, ale nemusí zde být katalyzátor. U této metody je nutné vstřikovat čpavkovou vodu či močovinu pouze v pásmu optimálních teplot v kotli (900–1000 °C). Pokud je teplota nižší ve spalinách bude unikat NH_3 se spalinami. Při vyšších teplotách se činidla (NH_3 *a močovina*) oxidují na NO. [30] [28]

3.2.6 Odstranění PCDD/PCDF

Podle obrázku 6. Vidíme, že ve spalinách se nachází chlór. Nedokonalým spalováním chlorovaných organických látek vznikají dioxiny. Při vysokých teplotách (1100–1200 °C) probíhá úplný rozklad organických sloučenin chloru. Pokud ale dojde k ochlazení, následuje opětovný vznik těchto karcinogenních látek. K eliminaci těchto nežádoucích látek slouží sorpční procesy či katalytické redukce.

Sorpční procesy používají aktivní uhlí, aktivní koks popřípadě směsný sorbent SORBALIT. Tyto sorbenty jsou používaný ve dvou různých aplikacích. První z nich je injektáž sorbentu do proudu spalin. PCDD/F jsou navázány na povrch sorbentu a ten putuje rukávcovými filtry, které jsou čištěny podobně jako filtry tkaninové. Až 90 % takto použitého sorbentu se recykluje a je opětovně injektován. Druhá z aplikací je průchod spalin skrz pohyblivé nebo pevné lože s aktivním uhlím. Uhlí s adsorbovanými dioxiny je nutno likvidovat obvykle ve spalovnách nebezpečného odpadu [33]

[5] Stabilizace odpadu pojivovou matricí pro bezpečný transport a uložení na skládky. [31]

Katalytickou redukci používají katalytické filtry založené na kombinaci povrchové filtrace a katalytického rozkladu. Na vnitřní straně filtrů se nachází katalytická vrstva, která odbourává dioxiny a furany. Pro účinnost procesu je nutné dosáhnout procesní teploty 180–260 °C. Výhodou této metody je, že katalytický filtr rozkládá nežádoucí dioxiny na molekuly vody, oxidu uhličitého a chlorovodíku, tím vzniká minimum nebezpečného odpadu. Nevýhodou je neschopnost filtru zachytit rtuť a proto musí být přítomna zařízení na odstranění rtuti. [32] [33]

3.3 Pyrolýza

Již v 19. století se pomocí této technologie vyráběly oleje a parafín. Jedná se o fyzikálně chemický děj, kdy za zvýšené teploty (800 °C–1000 °C) bez přístupu oxidačního činidla dochází ke štěpení makromolekulárních sloučenin na sloučeniny jednodušší. Těmito sloučeninami jsou těkavé produkty a koks. Celý proces je endotermní, tudíž je nutné dodávat teplo. Okolo 500 °C vzniká největší množství pyrolýzních produktů, závisí však na složení odpadu a obsahu vody ve vsázce. Při navyšování teploty vznikají z kapalných organických látek a pevného uhlíku stabilní plynné látky souhrnně označující se jako pyrolýzní plyn.

V České republice se s touto technologií v průmyslovém měřítku nesetkáme. Vysoká škola báňská v Ostravě, spolu se společnosti Arrowline a členů klastru Envicrack, vyvinula pyrolýzní jednotku Pyromatic, která od roku 2009 zpracovává odpadní materiály. Pyromatic dokáže za hodinu zpracovat 50–200 kg odpadu, nejčastěji pneumatik, plastů i biomasy. [34] [35] [36]

4 Ekologické aspekty využití odpadu jako paliva

Ruku v ruce se spalováním odpadu jdou i obavy o ekologickou stránku tohoto technologického procesu. Aby byla spalovna ekonomicky výhodná, musí být umístěna na vysoce osídlených územích z důvodu stálého přísunu odpadu a plynulému dovozu spolu s odběrem vzniklé energie. S tím souvisí obava obyvatel ohledně znečištění vzduchu, která je umocněna drtivou neinformovaností. Spolu s tím je namítáno, že termické využívání odpadů nesnižuje závislost na prvotních surovinách a využívají se i odpady, které se dají recyklovat. Argumentovat se dá také vysokou investiční nákladností ZEVO a hlavně systému čištění spalin stejně tak jako skládkováním škváry a jiného nebezpečného odpadu vznikajícího při těchto termických procesech.

Ochrana ovzduší

Základním právním předpisem v této oblasti je zákon č. 201/2012 Sb., který popisuje práva a povinnosti provozovatelů zdrojů znečišťovaní ovzduší a omezení rizik pro zdraví člověka spolu se snižováním zátěže životního prostředí. Zařízení pro energetické využívání odpadu musejí splňovat specifické emisní limity, které jsou zakotveny v následující legislativě. [37]

4.1 Zákon č. 201/2012 Sb.

Pro účely tohoto zákona se rozumí:

- *tepelným zpracováním odpadu oxidace 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,*
- *spalovnou odpadu 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.* [38]

Mezi podmínky provozu stacionárního zdroje znečišťování ovzduší patří kategorizace spalovaného odpadu, jeho množství a hlavně maximální obsah znečišťujících látek. Zákon definuje taktéž časové období provozu, které krajský úřad povoluje maximálně na dobu 25 let.

Pokud dojde k překročení emisního limitu po dobu 4 hodin je provozovatel povinen neprodleně zastavit provoz, až do doby dokud nebude problém a jeho příčina vyřešen. Zároveň je nutné kontinuálně měřit emise tuhých zbytkových látek, organického uhlíku, oxidů síry, chlorovodíku aj. [38]

4.2 Vyhláška č. 415/2012 Sb.

Celým názvem Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší definuje intervaly jednorázových a kontinuálních měření emisí, podmínky splnění emisního limitu.

Najdeme zde i podmínky provozu pro stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad. Zde je například podmínka udržování podtlaku v bunkru odpadu a vhánění odsávaného vzduchu do ohniště. Jsou zde také popsány technické podmínky provozu kompostáren, biodegra-

dačních a soldifikačních zařízení. V závěru vyhlášky jsou popsány náležitosti k vyplňování formulářů souhrnné provozní evidence spalovacích stacionárních zdrojů a spaloven odpadů. [39]

Mezi důležité oblasti téhle vyhlášky patří emisní limity pro stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad. Emisní limity pro komunální odpad zjišťované kontinuálním a jednorázovým měřením jsou uvedeny v následující tabulce, kde poslední sloupec jsou průměrné denní emise brněnské spalovny SAKO.

Tabulka 4 Emisní limity pro stacionární zdroje tepelně zpracovávající odpad [40]

Znečišťující látky	**Emisní limity dle 415/2012 Sb.**	**Rok 2017 – validované hodnoty SAKO Brno**
Zjištěno kontinuálním měřením (mg/m^3)	**Denní průměr**	**Průměrná denní hodnota kotlů K2 a K3**
TZL	10	0,0
TOC	10	0,05
SO_x jako SO_2	50	19,0
NO_x jako NO_2	200	178,2
NH_3	50	0,1
CO	50	3,7
HCl	10	5,8
HF	1	0,0
Zjištěno jednorázovým měřením		
PCDD/PCDF **(ng/m^3)**	0,1	0,0112
Hg	0,05	0,0002
Cd, Tl	0,05	0,0001
Ostatní těžké kovy – Sb, As, Pb…	0,5	0,0354

Porovnáme-li roční hodnoty emisí brněnské spalovny SAKO a vybraných elektráren v ČR, tak můžeme dojít k závěru, že spalovny rozhodně nepatří mezi největší zdroje znečištění u nás, ale dají se považovat za významné zdroje znečištění. Následující tabulka srovnává roční emise vybraných zdrojů znečištění za rok 2015, které zkompletoval Český hydrometeorologický ústav.

Tabulka 5 Emise za rok 2015 u vybraných zdrojů znečištění [41]

Zařízení	SAKO Brno, a.s.- divize 3 ZEVO	Elektrárna Dětmarovice, a.s.	ČEZ, a. s. - Elektrárny Poříčí, Hodonín, lokalita Hodonín	VÍTKOVICE STEEL, a.s.	ArcelorMittal Ostrava a.s.- závod 12- Vysoké pece
Emise [t] za rok 2015					
TZL	0,275	103,091	50,912	27,456	335,311
oxid siřičitý	32,883	1 746,125	717,144	6,563	1 236,299
Oxidy dusíku	217,008	2 713,157	256,990	112,540	1 103,914
CO	6,747	111,978	58,101	1 637,397	38 505,504
oxid uhličitý	227 195,00	2 351 694,00	183 319,67	neuvedeno	neuvedeno
Emise [kg] za rok 2015					
olovo a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Pb	0,4099	980,2290	13,0190	632,3093	neuvedeno
rtuť její sloučeniny, vyjádřené jako Hg	4,1788	18,4320	4,2820	7,0277	10,6000
Emise [mg] za rok 2015					
PCDD/F	14,900	0,000	0,000	12,250	2355,000

Z hlediska emisí tuhých znečišťujících látek (TZL) se spalovna SAKO neřadí mezi největší znečišťovatele. Stejné tvrzení může být aplikováno na emise olova. Hodnoty emisí rtuti jsou naopak poměrně vysoké s přihlédnutím, že brněnská spalovna vyrobila za rok 2015 62,5 GWh [42] energie, zatímco dětmarovická elektrárna 2 694 GWh. [43] Emise oxidu uhličitého u ZEVO dokonce převyšuje hodnotu emisí CO_2 hodonínské elektrárny

Z hodnot emisí z Tab. 5 a celkové vyrobené energie za rok 2015 můžeme sestavit tabulku emisí, které odpovídají 1 MWh vyrobené elektrické energie. Stejně je možno postupovat při vytvoření porovnání mezi emisemi a 1 GJ tepla dodaným do sítě. Brněnská spalovna SAKO dodala za rok 2015 do sítě 1 018 251 GJ tepla a dětmarovická elektrárna 603 000 GJ tepla. [42] [43]

Tabulka 6 Emise dvou různých zdrojů na jednotku elektrické energie

Rok 2015	SAKO Brno, a.s. divize 3 ZEVO	Elektrárna Dětmarovice, a.s.
Emise [t] na 1 MWh elektrické energie		
oxid uhličitý	3,633	0,873
Emise [mg] na 1 MWh elektrické energie		
olovo a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Pb	6,554	363,856
rtuť její sloučeniny, vyjádřené jako Hg	66,814	6,842

Tabulka 7 Emise dvou různých zdrojů na jednotku tepla

Rok 2015	SAKO Brno, a.s. divize 3 ZEVO	Elektrárna Dětmarovice, a.s.
Emise [t] na 1 GJ tepla		
oxid uhličitý	0,223	3,899
Emise [mg] na 1 GJ tepla		
olovo a jeho sloučeniny, vyjádřené jako Pb	0,403	1625,58
rtuť její sloučeniny, vyjádřené jako Hg	4,104	30,567

Hlavní diskutovanou částí emisí u spaloven bývají polychlorované dibenzodioxiny a dibenzofurany (PCDD/F), které jsou často používány jako zbraň proti spalovnám odpadů. Z hodnot v tabulce č. 5 vyplývá, že spalovny jsou producenty těchto látek. SAKO Brno vyprodukovalo více dioxinů než největší výrobce ocelových plechů v ČR Vítkovice Steel, a.s.

Nařízení komise (ES) 1259/2011 stanovuje maximální limity PCDD/F v potravinách. [44] Zde je stanoveno, že například játra suchozemských zvířat a produkty z nich vyrobené nesmí obsahovat víc než 4,5 pg PCDD/F na gram tuku, nebo slepičí vejce a produkty z nich vyrobené nesmí obsahovat víc než 2,5 pg PCDD/F na gram tuku. Spalovna vypustí denně 11,2 pg/m^3 což je 0,0112 pg/dm^3 jak je patrno z tabulky 4., čímž v porovnání s hodnotou limitu potraviny pro kojence a malé děti, který činí 0,1 pg/g hmotnosti v syrovém stavu, se nedá jednoznačně tvrdit, že by SAKO Brno jednoznačně ohrožovalo zdraví obyvatel emisemi dioxinů. V porovnání s ArcelorMittal Ostrava a.s.-závod 12-Vysoké pece, kde denní emise dioxinů v roce 2015 tvořily přibližně 6,452 mg se SAKO Brno jeví jakožto nepatrný zdroj znečištění ovzduší, ale nedá se však tvrdit, že by zařízení ZEVO nijak nezatěžovaly životní prostředí dioxiny.

Zařízení pro energetické využití odpadu se z hlediska vyrobené elektrické energie nejeví jakožto výrazně lepší alternativa než dosavadní technologie, ale z hlediska výroby tepelné energie je tento zdroj kvalitním doplňkem tepláren. V letních měsících pokrývá tepelná energie vyrobená v SAKO Brno přes 90 % tamější poptávky. [63]

5 Energetické zdroje využívající odpad jako palivo v ČR

V ČR se aktuálně nacházejí čtyři spalovny komunálního odpadu. Nejstarší z nich najdeme v Brně, kapacitně největší v Praze. Další je v Liberci a nejmladší se nachází v Chotíkově u Plzně.

5.1 Zařízení na energetické využití odpadu

Aby se dané zařízení dalo považovat za plnohodnotné zařízení na energetické využívání odpadu, musí splňovat podmínky:

- K odpadu po zapálení není třeba dodávat podpůrné palivo.
- Uvolněné teplo má zaručenou využitelnost
- Použitý odpad k výrobě energie musí splňovat zákonem stanovené podmínky na ochranu životního prostředí. [4]

Spolu s těmito podmínkami je třeba splnit i podmínky definované ve vyhlášce z předchozí strany. Mezi základní technické podmínky provozu patří:

- Udržování podtlaku v bunkru odpadu, kde tamější odsávaný vzduch je přiváděn do ohniště.
- Struska a popel musí obsahovat méně než 3 % celkového organického uhlíku, nebo aby ztráta žíháním byla menší než 5 % hmotnosti suchého materiálu.
- Odpadní plyn musí být řízeně ohřátý na teplotu 850°C po dobu nejméně dvou sekund
- Automatické zapnutí pomocného hořáku pokud dochází k odstavování nebo uvádění stacionárního zdroje do provozu, kde teplota klesá pod uvedenou teplotu, přičemž se v prostoru nachází nespálený odpad. [39]

Tyto podmínky musí splňovat i následující čtyři zařízení, které jsou v ČR v provozu jako ZEVO.

5.1.1 SAKO Brno

Jakožto první spalovna na území Rakouska-Uherska vyrábí už od roku 1905 elektrickou energii. Během druhé světové války byla zničena a roku 1984 započala její obnova. Díky rozsáhlé rekonstrukci v letech 2008–2010 se stala nejmoderněji vybaveným zařízením EVO v ČR. Investiční náklady činily 94,2 milionu eur, kde 49,9 milionů eur spolufinancovala Evropská unie spolu se Státním fondem životního prostředí a statutárním městem Brnem. Spaluje se zde směsný komunální odpad, který nelze již jinak využít. Kapacita tohoto zařízení činí 248 000 tun odpadů za rok při výhřevnosti 8–9,6 MJ/kg. Za rok 2016 zpracovali 225 226 tun komunálních odpadů a odpadů podobných komunálním odpadům. Důsledek meziročního snížení množství energeticky využitého odpadu můžeme odůvodnit vyšší výhřevností dovážených odpadů, především velkého výskytu plastových odpadů na trhu.

Obr. 7 Pohled z kabiny drapáku do zásobníku odpadu. Fotografie z exkurze.

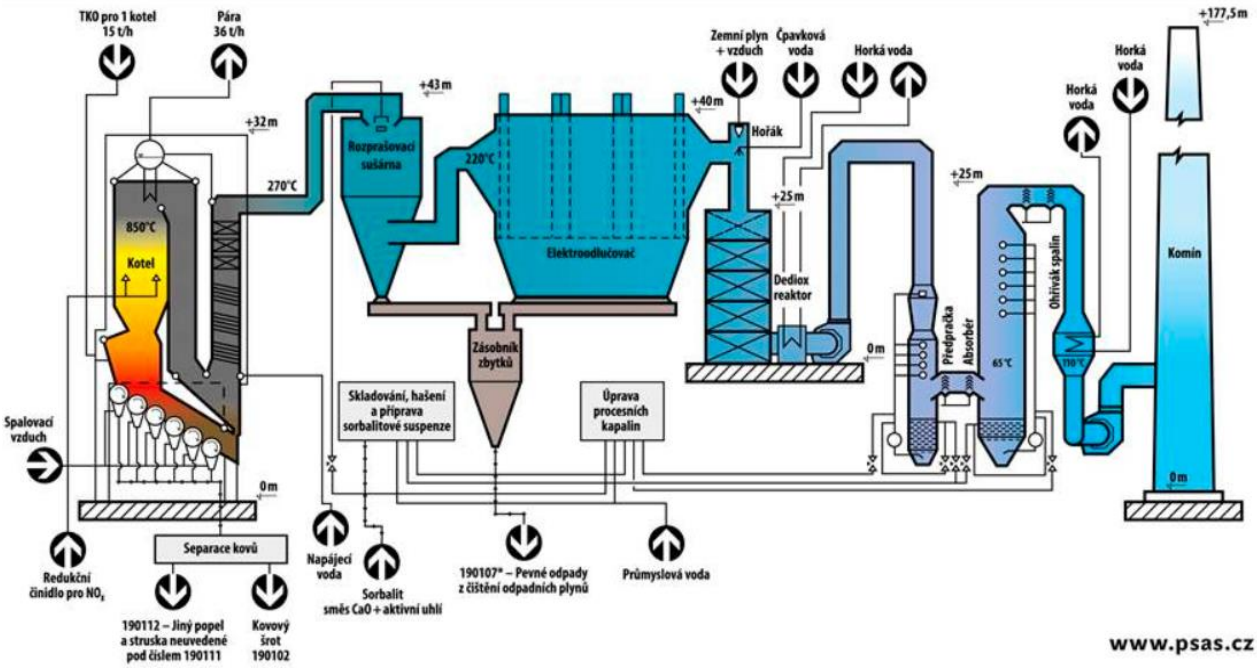
Do zásobníku odpadu lze uložit až 5000 tun odpadu. Je zde také udržován mírný podtlak z důvodu odsávání vzdušniny, která se využívá ve spalovacím procesu jako primární vzduch (ke spálení 1 t odpadu je přivedeno v průměru 6 t vzduchu). Odpad se zde spaluje ve dvou kotlech na vratisuvných roštech typu Martin. Uvolněná tepelná energie ve varném systému kotle vyrábí páru o tlaku 4 MPa a teplotě 400 °C. Emise oxidu dusíku se zde eliminují metodou selektivní katalytické redukce. Systém čištění spalin je založen na polosuché vápenné metodě s kombinací tkaninových filtrů.

Obr. 8 Fotografie bunkru škváry brněnské spalovny SAKO pořízená během exkurze.

V současné době je stoprocentním akcionářem společnosti SAKO statutární město Brno. Plánuje se také navýšení kapacity zařízení realizací třetího spalovenského kotle, souběžně s přípravou projektů na materiálové využití a předcházení vzniku odpadů. [25]

5.1.2 ZEVO Malešice

Až 80 % celkového množství směsného komunálního odpadu v rámci celopražského systému je využíváno v pražských Malešicích. ZEVO Malešice funguje v trvalém provozu od roku 1998. Zařízení je napojeno na teplárnu Malešice, kde je vzniklá tepelná energie využívána v pražské rozvodné síti. [45]



Obr. 9 Schéma ZEVO Malešice [59]

S kapacitou 330 000 tun odpadu za rok se Malešice řadí mezi největší u nás. Za rok 2016 zde energeticky využili 307 099 t odpadu. Až 15 t komunálního odpadu za hodinu jsou schopny spálit 4 kotle s válcovými rošty. Pro čištění spalin jsou zde použity technologie SNCR přímo na kotli. Tuhou složku spalin zachytává elektroodlučovač. Sloučeniny dusíku jsou ze spalin odstraněny DeNOX reaktorem, což je speciální zařízení na principu selektivní katalytické redukce. Poté procházejí pračkou a ohřívačem, kdy jsou ohřáty na teplotu vyšší než 1150 °C a odcházejí 117,5 m vysokým komínem. [46]

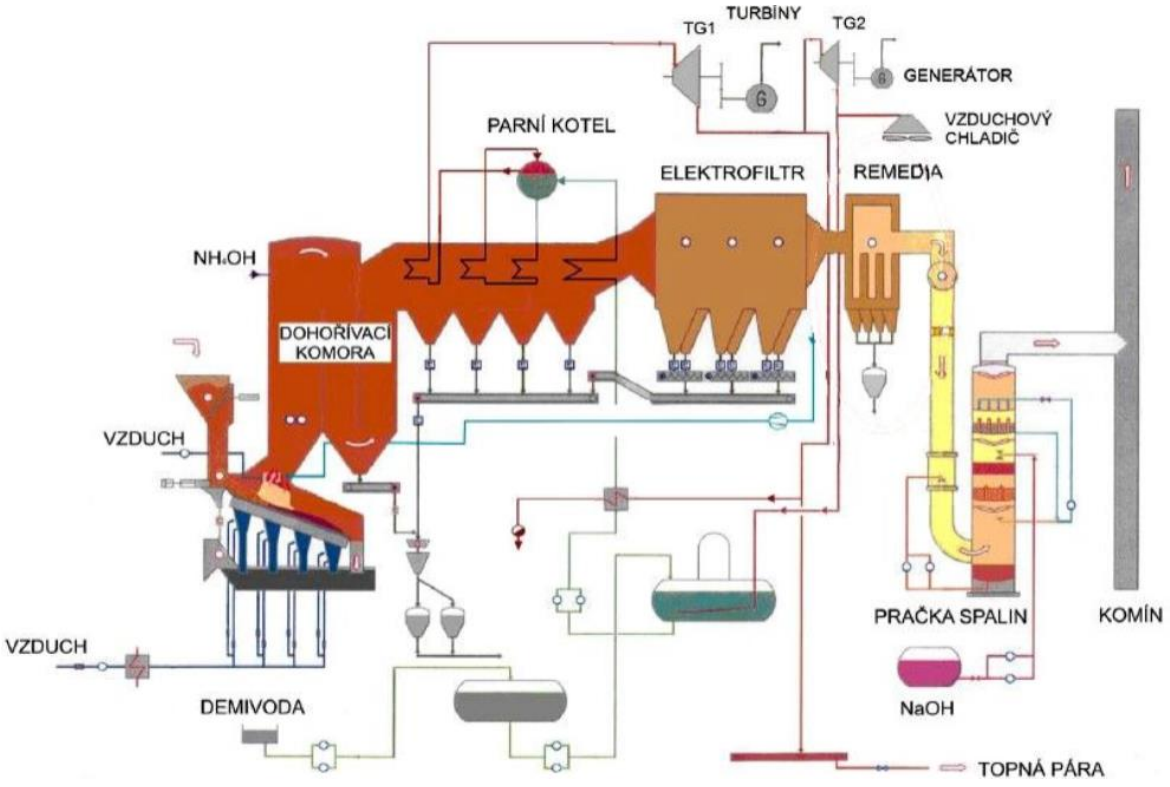
5.1.3 TERMIZO Liberec

Stavbu, která započala v roce 1996, financovala společnost TERMIZO a.s. a zařízení je v provozu od roku 1999. Kapacita tohoto zařízení činí 96 000 tun odpadu za rok a v podstatě od počátku uvedení do provozu je naplněna na 95–100 %. Vyrobené teplo (tzn. cca 700 TJ tepla) dokáže nahradit spálení zhruba 30 milionů m_3 zemního plynu. Turbíny (3,5 MW + 1 MW) vyrobí elektrickou energii dostatečnou pro soběstačnost spalovny a do veřejné sítě dodají 13 GWh elektřiny, což je roční spotřeba cca 3 000 domácností. Celá spalovna má pouze 37 zaměstnanců. Odpad je zde spalován v jednom kotli s přesuvným roštem.

Čištění spalin probíhá ve čtyřech krocích:

- Redukce oxidů dusíku NO_x
- Zachycení popílku
- Katalytický rozklad PCDD/F
- Čištění anorganických složek spalin

Redukce oxidu dusíku probíhá systémem selektivní nekatalytické redukce, kdy je do kotle dávkován 25% roztok čpavkové vody. Popílek se odlučuje po celé trase spalin elektroodlučovači. Redukce obsahu PCDD/F je uskutečněna ve speciálním katalytickém textilním filtru Remedia, který zajišťuje dostatečnou destrukci těchto látek. V letech 2016–2017 proběhla výměna těchto filtrů, které bezproblémově sloužily sedm let. Anorganická složka spalin se čistí pomocí mokré metody v pračce spalin. Celkové náklady na investici a údržbu této spalovny v letech 2016–2017 byly 57 617 000 Kč. Za likvidaci jedné tuny SKO zde zaplatíte 1330 Kč. [47] [48]



Obr. 10 Schéma TERMIZO Liberec [60]

5.1.4 ZEVO Chotíkov

Záměr o výstavbě spalovny projevila roku 2009 Plzeňská teplárenská v Chotíkově u Plzně. Do roku 2016, kdy byl zahájen zkušební provoz, bylo stavební povolení třikrát staženo kvůli obvinění ze systémové podjatosti úředníků. Kapacita spalovny činí 95 000 tun odpadu za rok. Během ročního provozu mezi roky 2016/2017 bylo zde využito 38 658 tun opadu. Za likvidaci jedné tuny SKO zde zaplatíte 1 725 Kč.

Obr. 11 ZEVO Chotíkov [61]

Spalovna operuje s jedním kotlem s vratisuvným roštem typu MARTIN. Spaliny zde procházejí nejprve rozprašovací sušárnou, kde vysušené produkty reakce odcházejí spolu s popílkem. Dále jsou použity tkaninové filtry, před které se dávkuje směs aktivního uhlí a hydroxidu vápenatého. Tím se na tkaninových filtrech vytvoří vrstva, jež zachytává kyselou složku spalin (síra, fluor…). Za nimi se nachází pračka spalin, kde jsou mokrou metodou spaliny propírany. Následují další pojistné tkaninové filtry, po kterých spaliny procházejí DeNOX reaktorem. Takto vyčištěné spaliny jsou za stálého měření koncentrací vypouštěny 80 metrů vysokým komínem do ovzduší.[49] [50]

5.1.5 Srovnání

Následující tabulky srovnávají počet vyrobené energie a množství spotřebovaného odpadu spolu s emisemi vypuštěnými do ovzduší za rok 2016.

Tabulka 8 Srovnání tuzemských ZEVO za rok 2016 [51]

Zařízení	SAKO Brno	ZEVO Malešice	TERMIZO Liberec	ZEVO Chotíkov
Vyrobená elektrická energie [MWh]	61 232	65 000	27 144	36 000[6]
Dodané teplo [GJ]	1 045 819	850 000	1 075 609	292 500
Spálený odpad [t]	226 857	307 099	97 422	38 658
Emise PCDD/F [mg]	4,7	84,0	22,9	1,5
Emise PCDD/F **[ng]** na 1 MWh elektrické energie	76,757	1292.308	843,649	*41,667*
Emise PCDD/F **[ng]** na 1 GJ tepla	4,494	98,824	21,290	5,128

5.2 Vybrané energetické zdroje sousedních států

5.2.1 OLO a.s. Bratislava

Realizace městské spalovny v Bratislavě započala roku 1973, ta se stala v roce 1977 první velkou spalovnou v ČSSR. V roce 2000 začala rozsáhlá rekonstrukce, při níž byly vyměněny dva ze tří kotlů spolu s turbogenerátorem a systémem čištění spalin. V současné době spalovna nabízí kapacitu 135 tisíc tun ročně, což ji řadí za další spalovnu v Košicích s kapacitou 150 tis. tun. „Spaľovňa odpadu vo Vlčom hrdle“ odstranila za rok 2017 ve dvou spalovacích linkách 130 466,29 tun odpadu.

Zařízení na čištění spalin pracuje na principu polosuché metody. Oxidy dusíku redukuje selektivní nekatalytická metoda a dioxiny pohlcuje uhlíkatý sorbent. Vyčištěné spaliny procházejí ve finální části tkaninovými filtry. Ročně tato spalovna dodá do sítě 33 000 MWh elektřiny. [52] [53]

[6] Jedná se o předpoklad za plného provozu, číslo je uvedeno pouze orientačně.

5.2.2 ZEVO Krakov

ZTPO Krakow se začala stavět v roce 2013, kdy v roce 2015 byly spuštěny první testy. V současnosti tato spalovna pracuje s kapacitou 220 000 t odpadu, který se zde spaluje ve dvou linkách s pohyblivými rošty.

Spaliny se zde čistí metodou selektivní nekatalytické redukce injektáží 25% roztoku močoviny. Dále je využívána polosuchá metoda společně s metodou sorpce dioxinů a furanů na aktivní uhlí. Závěrečným stádiem je filtrace spalin skrz tkaninové filtry. Spalovna nabízí každému zájemci na svých stránkách online kontrolu výstupu z komína. [54] [55] [56]

Obr. 12 ZTPO Krakow [57]

ZÁVĚR

V současné době je téma nakládání s odpady stále zvučnější. Tomuto problému denně čelí celá populace. Mezi hlavní cíle EU patří vytvoření moderní recyklační společnosti, jež bude více zodpovědnější. ČR jakožto plnohodnotný člen EU hodlá jít podobnou cestou a snížit podíl skládkování, který v roce 2016 činil 45 %. Jako velmi přísný až téměř nereálný se jeví zákaz skládkování v roce 2024, jež je zmíněn v POH ČR. Pokud ČR hodlá tento zákaz realizovat, bude nutné navýšit podíl energeticky využívaného odpadu z 12,1 % na vyšší číslo, neboť spoléhat na samotnou recyklaci znamená vyřešit řadu problémů, jako omezení vývozu plastového odpadu do Číny. Země EU by měly brát také na vědomí, že většina zemí, do kterých plastový odpad vyváží, nehledí na ekologické aspekty dalšího zpracování a mnoho plastového odpadu končí v oceánech.

Jako část řešení, které je mírně mimo plán EU, se jeví energetické využívání odpadů. Ten je spalován v zařízeních pro energetické využívání odpadů, což jsou vysoce hlídané a moderní zařízení. Samotné spalování většinou probíhá v roštových kotlích. Jeho spálením se šetří primární palivo a snižuje objem až na 10–15 % původního objemu. Vzniklá škvára nachází použití při stavbě silnic, nebo bohužel končí na skládkách, čímž vniká nepříjemný paradox. Současná vláda již vyjadřuje sympatie vůči této možnosti a dostává se do střetu s příznivci recyklace. Situaci nenahrává také špatná občanská informovanost, která je mnohdy zásadní při zamítání výstavby nových ZEVO.

Emise unikající do ovzduší při spalování odpadu jsou limitovaný přísnými limity. Zařízení ZEVO disponují několikastupňovými technologiemi čištění spalin, které jsou navrženy pro zachycení škodlivin specifických právě pro spalování odpadů. Jeden z hlavních argumentů proti ZEVO je jejich produkce toxických PCDD/F, které sice spalovny odpadu v malém množství produkují, ale rozhodně nepatří mezi největší producenty těchto jedovatých látek v ČR.

V České republice jsou současně v provozu čtyři spalovny komunálního odpadu. O tom jestli přibudou nějaké další, rozhodne současná vláda a lidé, kteří v okolí plánovaných ZEVO žijí. Zařízení pro energetické využití odpadu by neměly být brány jakožto primární řešení pro nakládání s odpady. Důležitým krokem budoucnosti tohoto odvětví bude nalézt optimální poměr mezi recyklací a energetickým využíváním odpadů, aby nedošlo k vytvoření velkého množství plastového odpadu, pro který nebude zajištěn odbyt k dalšímu zpracování, stejně tak jako nutnost vyvarovat se výstavby přílišného množství nových zařízení ZEVO a tím vytvoření nadkapacit.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] ČESKO. Zákon č. 238/1991 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2018 [2018-02-29]. Dostupné z: https://www.zakonyprolidi.cz/cs/1991-238

[2] EU, *Směrnice Evropského parlamentu a Rady 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů.,* Úřední věstník Evropské unie L 114/9, 2006.

[3] DOSOUDIL, Kryštof. *Právní aspekty hierarchie způsobů nakládání s odpady* [online]. Praha, 2016 [cit. 2018-03-10]. Dostupné z: https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/178202/. Diplomová práce. Právnická fakulta Univerzity Karlovy. Vedoucí práce JUDr. Michal Sobotka, Ph.D.

[4] Zákon č. 185/2001 Sb., ze dne 15. Května 2001 o odpadech a o změně a některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů. In: *Sbírka zákonů, Česká republika.* [cit. 2018-02-29] Dostupné z WWW: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185.

[5] Nařízení vlády č. 352/2014 Sb. ze dne 22. prosince o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015–2024 *In: Sbírka zákonů České republiky.* 2014, částka 141, ISSN 1211-1244. Dostupný také z: https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-Narizeni_vlady_o_POH_CR-20150113.pdf

[6] Plán odpadového hospodářství ČR. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. Praha, 2014 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr

[7] DENKOVÁ, Adéla. Oběhové hospodářství: Jsme na něj připraveni?. *Euractiv* [online]. 2016, 21. 7. 2016 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://euractiv.cz/section/energetika/linksdossier/obehove-hospodarstvi-jsme-na-nej-pripraveni-000140/

[8] MARŠÁK, Jan. *Oběhové hospodářství v ČR a nové směrnice EU v odpadech* [online]. Ministerstvo životního prostředí České Republiky, 2017 [cit. 2018-03-01]. Dostupné z: https://www.dny-teplarenstvi-a-energetiky.cz/prezentace/zakaznici/teplarenskedny/dokumenty/pdf/f227_26-9-05-marsak-mzp.pdf

[9] [cit. 2018-03-03]. Volně dostupný z: http://pvo.arnika.org/

[10] RITSCHELOVÁ, Iva. Statistika oběhového hospodářství. *Statistika&My* [online]. 2016, 2016 (02) [cit. 2018-03-03]. ISSN 1804-7149. Dostupné z: http://www.statistikaamy.cz/2016/02/statistika-obehoveho-hospodarstvi/

[11] RICHTER, Miroslav. *Technologie ochrany životního prostředí* [online]. Ústí nad Labem: Fakulta životního prostředí Univerzity J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2004 [cit. 2018-03-03]. ISBN 80-704-4585-8. Dostupné z: http://www.fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/tezp/tezp3.pdf

[12] Český statistický úřad. *Produkce, využití a odstranění odpadu a produkce druhotných surovin v roce - 2016* | ČSÚ [online]. [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/cri/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-a-produkce-druhotnych-surovin-v-roce-2016#

[13] *Statistická ročenka životního prostředí České republiky 2016: Statistical environmental yearbook of the Czech Republic* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí, CENIA, 2017 [cit. 2018-03-12]. ISBN 978-80-87770-30-6. Dostupné z: http://www1.cenia.cz/www/sites/default/files/Statisticka_Rocenka_ZP_CR%202016.pdf

[14] Recyklace. *Vítejte na Zemi...* [online]. 2013 [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=recyklace&site=odpady

[15] POLEMIKA: Zákaz importu odpadů do Číny. *Odpadové fórum* [online]. České ekologické manažerské centrum, 2017, 3. 11. 2017, 18 (11) [cit. 2018-03-12]. Dostupné z: https://www.tretiruka.cz/news/polemika-zakaz-importu-odpadu-do-ciny/

[16] Český statistický úřad. *PRODUKCE, VYUŽITÍ A ODSTRANĚNÍ ODPADŮ GENERATION, RECOVERY AND DISPOSAL OF WASTE* [online]. [cit. 2017-03-13]. Dostupné z: https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu

[17] Skládkování. *Vítejte na Zemi...* [online]. 2013 [cit. 2018-03-13]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=skladkovani&site=odpady

[18] KOLONIČNÝ, Jan. *Studie energetického využití komunálního odpadu v Moravskoslezském kraji: k projektu Nakládání s odpady v Moravskoslezském a Žilinském kraji*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3547-1.

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

[20] BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ. *Spalovny odpadu – odpad jako palivo* [online]. [cit. 2018-03-14]. Dostupné z: http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-od-padu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo

[21] HORÁK, Jiří a Petr KUBESA. *Spalování tuhých paliv v lokálních topeništích (2)* [online]. [cit. 2018-03-17]. Dostupné z: http://energetika.tzb-info.cz/8644-o-spalovani-tuhych-pa-liv-v-lokalnich-topenistich-2

[22] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. Kotle - 2. část. *TZB-info* [online]. [cit. 2018-03-20]. Dostupné z: http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast

[23] STRAKA, František. Metody likvidace a energetického využití odpadů. Vyd. 1. Praha: Ca Publ., 1990 ISBN 80-851-2207-3.

[24] HOLÍNEK, Tomáš. Energetické využití odpadu – alternativa za fosilní paliva. *Oenergetice.cz* [online]. 2015 [cit. 2018-03-22]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/teplarenstvi/energeticke-vyuziti-odpadu-alternativa-za-fosilni-paliva/

[25] Spalovna odpadů v Brně - brožura. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: http://www.sako.cz/materialy-ke-stazeni/cz/

[26] Snižování tuhých emisí. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/sni-zovani_5.html

[27] Zachycení a zpracování popílku a škváry, čištění spalin. *Odpad je energie!* [online]. [cit. 2018-03-27]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/proces/zachy-ceni-popilku-zpracovani-skvary-a-popilku-cisteni-spalin

[28] VEJVODA, Josef. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. Praha: VŠCHT, 2003. s. 50-60. ISBN 80-7080-517-x.

[29] EVROPSKÁ KOMISE: Integrovaná prevence a omezování znečištění, referenční dokument o nejlepších dostupných technologií spalování. Červenec2005

[30] FÍLA, Vlastimil a Pavel MACHAČ. *Co víme o NOx* [online]. VŠCHT Praha, Ústav anorganické technologie [cit. 2018-03-28]. Dostupné z: http://slideplayer.cz/slide/3009684/#

[31] *ZPŮSOBY VYUŽÍVÁNÍ A ODSTRAŇOVÁNÍ ODPADŮ* [online]. 2015 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://old.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady3.htm

[32] FERDAN, T. *Způsoby odstraňování perzistentních látek (dioxinu)*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 31 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Tomáš Pařízek.

[33] EVECO Brno, s.r.o. TECHNOLOGIE KE SNIŽOVÁNÍ EMISÍ: DIOXINY A FURANY. *Ekomonitor* [online]. Brno [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/6_pcdd-f_fin_oplzz.pdf

[34] MOLEK, Tomáš. Pyrolýza – princip, historie a současnost. *Oenergetice.cz* [online]. 21. 2. 2017 [cit. 2018-04-05]. Dostupné z: http://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje/pyrolyza-princip-historie-a-soucasnost/

[35] LAPČÍK, Vladimír. Možnosti pyrolýzní technologie v rámci energetického využití odpadů. *Regionální centrum EIA* [online]. VŠB-Technická univerzita Ostrava HGF, Institut environmentálního inženýrství [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: http://rceia.cz/wp-content/uploads/2017/08/lapcik.pdf

[36] JÍLKOVÁ, Lenka, Karel CIAHOTNÝ a RAdek ČERNÝ. TECHNOLOGIE PRO PYROLÝZU PALIV A ODPADŮ. *Paliva* [online]. Fakulta technologie ochrany prostředí VŠCHT Praha, 2012, 3. 9. 2012, 4 (3), 74–80 [cit. 2018-04-09]. ISSN 1804-2058. Dostupné z: http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/16

[37] Legislativa a metodické pokyny. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2018-04-09]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/legislativa_metodicke_pokyny_ovzdusi

[38] Zákon č. 201/2012 Sb., ze dne 2. Května 2012 o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů, Česká republika.* [cit.2018-04-12] Dostupné z WWW: https://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/9F4906381B38F7F6C1257A94002EC4A0/%24file/Z%20201_2012.pdf

[39] Vyhláška č. 415/2012 Sb., ze dne 21. Prosince 2012 o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. In: *Sbírka zákonů, Česká republika*. [cit. 2018-04-19] Dostupné z WWW: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415.

[40] Ekologické limity. *SAKO Brno* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://www.sako.cz/upload/1517474765.png

[41] Zdroje znečišťování za rok 2015. *Český hydrometorologický ústav* [online]. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/plants/index_CZ.html

[42] *VÝROCNÍ ZPRÁVA 2016: Ve zkráceném rozsahu* [online]. SAKO Brno, 2016 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: http://www.sako.cz/vyrocni-zpravy/cz/

[43] *Výroční zpráva 2016* [online]. Elektrárna Dětmarovice, 2016 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: https://www.cez.cz/edee/content/file/o-spolecnosti/dcerine-spolecnosti/detmarovice/vz-ede-2016.pdf

[44] Nařízení Komise (EU) č. 1259/2011, kterým se mění nařízení (ES) č. 1881/2006, pokud jde o maximální limity pro dioxiny, PCB s dioxinovým efektem a PCB bez dioxinového efektu v potravinách, *Úřední věstník*. L 320, 18–23. Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32011R1259

[45] *Výroční zpráva 2016* [online]. Pražské služby, a.s., 2016 [cit. 2018-04-22]. Dostupné z http://www.psas.cz/index.cfm/info-pro-akcionare/2017/vyrocni-zprava-2016/

[46] Představení společnosti. *Pražské služby* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://www.psas.cz/index.cfm/o-spolecnosti/predstaveni-spolecnosti/

[47] Základní informace. *TERMIZO* [online]. [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: http://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/zakladni-informace/

[48] *Výroční zpráva 2016–2017* [online].TERMIZO, a.s., 2016 [cit. 2018-04-29]. Dostupné z: http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2018/04/TMZ_VZ_2016_2017_podepsana_s_vyrokem_opravene_zahlavi.pdf

[49] *ZEVO Plzeň* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.zevoplzen.cz/princip

[50] Výroční zpráva 2016. *Plzeňská teplárenská* [online]. 2016 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.pltep.cz/vyrocni-zprava-2016/

[51] Informace o spalovnách za rok 2016. *Český hydrometorologický ústav* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/web_generator/incinerators/index_CZ.html

[52] *Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989–2016* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017, květen 2017 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2017/5/Statistika-EVO-2016.pdf

[53] *VÝROČNÁ SPRÁVA* [online]. Bratislava: OLO, 2016 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://www.olo.sk/arte-content/uploads/2017/06/OLO_VYROCNA_2017_ALL_final.pdf

[54] *Krakow WtE plant: a role model for Europe* [online]. Ratingen, Germany: Doosan Lentjes, 2016 [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://www.doosanlentjes.com/download/pdf/wte/Krakau2017.pdf

[55] Waste Incineration Plant, Kraków, Poland. *Clean Alternative* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://cleanalternative.eu/program/study/visits/waste-incineration-plant-krakow

[56] The Thermal Waste Treatment Plant in Krakow: About the plant. *Ekospalarnia Kraków* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: https://khk.krakow.pl/en/eco-incinerator/about-the-plant/

[57] KRAKOWSKI HOLDING KOMUNALNY AS. *EUmiesaward 2017* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupný z: http://miesarch.com/uploads/images/works/a41dd5e4a075e1269b8f6a78d065d1c3a931e2a4.jpeg

[58] Jak to chodí ve spalovně. *EVO Komořany* [online]. [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: http://www.evokomorany.cz/index.php/technologie/jak-to-chodi-ve-spalovne

[59] *ZEVO Malešice – SCHÉMA ZEVO* [online]. [cit. 2018-05-01]. Dostupné z: http://www.psas.cz/psas/assets/File/NEW%20SCHEMA%20KOGENERACE.pdf

[60] HRŮZA, Jakub. *Zpracování odpadů textilních a polymerních: Spalování odpadů* [online]. Katedra netkaných textilií, Fakulta textilní, Technická Univerzita v Liberci [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: http://docplayer.cz/14248475-Katedra-netkanych-textilii-fakulta-textilni-technicka-univerzita-v-liberci-jakub-hruza-9-spalovani-odpadu.html¨

[61] NĚMEC, Ladislav. Spalovna odpadu v Chotíkově. *IDNES.cz* [online]. Katedra netkaných textilií, Fakulta textilní, Technická Univerzita v Liberci,: MAFRA [cit. 2018-05-10]. Dostupné z: https://plzen.idnes.cz/foto.aspx?r=plzen-zpravy&foto1=PP62e950_112514_9275572.jpg

[62] O plastooceánech. *Třídění odpadů.cz* [online]. [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: https://www.trideniodpadu.cz/single-post/plast-v-mo%C5%99%C3%ADch

[63] Využíváme teplo z odpadu. *Teplárny Brno* [online]. 4. 8. 2015 [cit. 2018-05-11]. Dostupné z: http://www.teplarny.cz/novinka/343/vyuzivame-teplo-z-odpadu/

[64] *Informační systém odpadového hospodářství (VISOH)* [online databáze]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ČR, 2017- [cit. 2018-05-20]. Dostupná z: https://isoh.mzp.cz/VISOH/

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	**Popis**
ČR	Česká republika
ZEVO	Zařízení pro energetické využití odpadu
POH ČR	Plán odpadového hospodářství ČR
KO	Komunální odpad
SKO	Směsný komunální odpad
EU	Evropská unie
C	Uhlík
N	Dusík
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
MBÚ	Mechanicko-biologická úprava
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
EVO	Energetické využití odpadu
PVC	Polyvinylchlorid
TAP	Tuhé alternativní palivo
RDF	Refuse derived fuel
SRF	Solid recovered fuel
CO_2	Oxid uhličitý
O_2	Kyslík
Cl	Chlór
F	Fluor
S	Síra
PCDD	Polychlorované dibenzo-p-dioxiny
PCDF	Polychlorované dibenzofurany
CO	Oxid uhelnatý
TOC	Celkový organický uhlík
SO_2	Oxid siřičitý
SO_3	Oxid sírový
HCL	Kyselina chlorovodíková
HF	Kyselina fluorovodíková
SCR	Selective Catalytic Reduction
SNCR	Selective Non Catalytic Reduction
NH_3	Amoniak
TZL	Tuhé znečišťující látky
ČSSR	Československá socialistická republika
ZTPO	Zakład Termicznego Przekształcania Odpadów