

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ENERGETICKÝ ÚSTAV

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ ODPADŮ

ENERGY RECOVERY OF WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MICHAL VALA
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JIŘÍ MOSKALÍK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Energetický ústav
Akademický rok: 2014/15

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Vala

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Základy strojního inženýrství (2341R006)**

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 využívání odpadů

v anglickém jazyce:

Energy recovery of waste

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Práce bude zaměřena na termickou likvidaci odpadu ve spalovně a následné využívání vyprodukované energie.

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem je popsat provozní specifika spalovenských zařízení a výhody a nevýhody využívání odpadu jako paliva. Vhodné bude provést i porovnání s ostatními formami nakládání s odpadem.

Seznam odborné literatury:

J. Vejvoda: TECHNOLOGIE OCHRANY OVZDUŠÍ A ČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH PLYNŮ,
Internetové zdroje:
www.sako.cz
www.chmu.cz
http://www.termizo.mvv.cz/

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jiří Moskalík, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/15.

V Brně, dne 22.11.2014

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
L.S.
DĚKANÁT

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

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
Děkan

ABSTRAKT

První část této práce shrnuje problémy vyplývající z nadměrné produkce odpadů a porovnává různé způsoby a technologie jeho zneškodnění. Druhá část práce se zaměřuje na jednu z těchto možností a to spalování odpadů s následným využitím energie. Jsou zde probrána specifika a možnosti této technologie a následně je popsán její stav v České republice.

Klíčová slova

odpad; nakládání s odpadem; komunální odpad; odpadní hospodářství; energetické využití odpadů; spalování; emise; čištění spalin

ABSTRACT

The first part of this thesis sums up problems arising from waste production and compares different ways and technologies of waste treatment. Second part of this thesis focuses on one of these ways, on the incineration of waste with energy recovery. It discusses specifics and possibilities of this technology and describe current situation in the Czech Republic.

Key words

waste; waste treatment; household trash; waste management; waste to energy; incineration; emission; emission cleaning

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

VALA, M. *Energetické využívání odpadů.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2015. 39 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Moskalík, Ph.D..

PROHLÁŠENÍ

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

---------- ----------

Datum Michal Vala

PODĚKOVÁNÍ

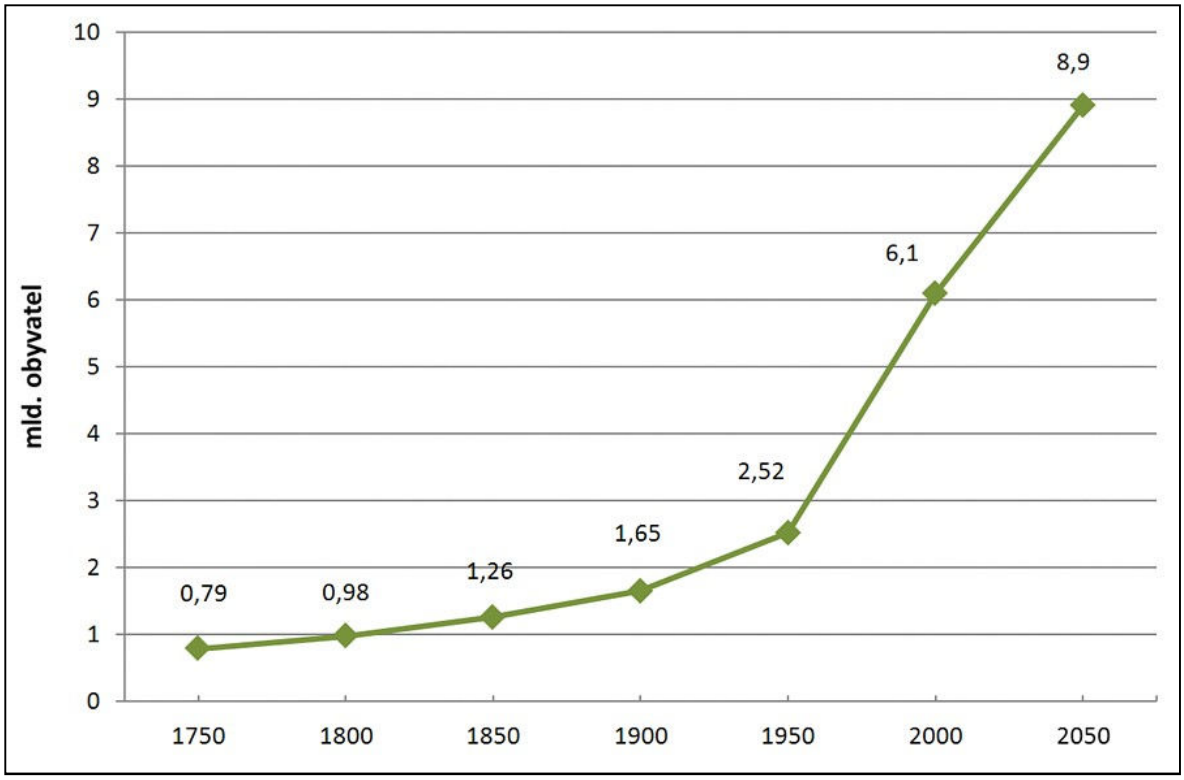
Tímto bych rád poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Moskalíkovi, Ph.D. za odborné vedení práce, cenné rady a připomínky. Dále bych také rád poděkoval mamince a sestře za podporu nejen během psaní této práce, ale i během celého studia.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 6
PODĚKOVÁNÍ 7
OBSAH 8
ÚVOD 9
1 Historie nakladání s odpadem a jeho termického zpracování 11
1.1 Historie nakládání s odpadem před průmyslovou revolucí 11
1.2 Historie nakládání s odpadem po průmyslové revoluci 11
1.3 Historie energetického využívání odpadů v českých zemích 11
2 Odpadní hospodářství 13
2.1 Hierarchie nakládání s odpadem 13
2.1.1 Redukce produkce odpadů 13
2.1.2 Recyklace 13
2.1.3 Kompostování 14
2.1.4 Energetické využití odpadů (EVO) 15
2.1.5 Skladování 15
3 Energetické využití odpadů 17
3.1 Podmínky vedení spalovacího procesu 17
3.2 Postup ve spalovně odpadů s energetický využitím 18
3.3 Emise ve spalinách a jejich čištění 20
3.3.1 Čištění tuhé složky spalin 22
3.3.2 Čištění plynné složky spalin 25
3.4 Druhy odpadů použitelných pro spalování 27
3.5 Druhy spalovacích pecí a topenišť 28
4 Zařízení pro energetické využití odpadů v ČR 30
4.1 SAKO Brno 30
4.2 ZEVO Malešice 32
4.3 TERMIZO Liberec 33
ZÁVĚR 35
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 36
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 39

ÚVOD

Nakládání s odpady je celosvětový problém. A to především v důsledku růstu počtu obyvatel (viz obr. 1), industrializace a změny životního stylu. Neúčinné a neefektivní nakládání s odpady, vznikajícími v různých odvětvích lidské činnosti (průmysl, podniky, domácnosti), bude mít za následek negativní vliv na životní prostředí a na nás samotné. Nárůst světové populace znamená rostoucí množství odpadu a poradit si s odpadem se stává složitější. V průběhu minulého století se ve světě rapidně zvětšilo množství vyprodukovaného odpadu.



Obr. 1 : Vývoj populace Země v miliardách obyvatel. [21]

Je potřeba snížit současné množství produkce odpadu a zvýšit jeho materiálové a energetické využití, což je považováno za podstatné kroky vedoucí k ekologickému systému nakládání s odpady. Mezi metodami likvidace odpadu jako jsou recyklace, kompostování, spalování již není skládkování první, ale poslední možností. Skládkování by mělo být do roku 2020 v Evropě radikálně omezeno a to o 65 % oproti roku 1995. Docíleno by toho mělo být především díky odpadní politice Evropské unie, která po svých členských státech chce postupné omezování a následné zrušení skládkování odpadu. [40,43]

Problémy vyplývající z produkce odpadů mohou být vyřešeny použitím některých inovativních technologií. V současné době jsou k dispozici různé druhy systémů pro energetické využití odpadů, které dokážou energii účinně obnovit. Každý typ technologie pracuje se specifickým množstvím a složením odpadů. Takže je obtížné navrhnout vhodné odpadové hospodářství bez stanoveného množství a složení odpadů.

Odpady se celosvětově používají k výrobě elektřiny a hnojiv nebo jsou použity k recyklaci. V poslední době Evropa a Spojené státy americké recyklují kolem 41 % a 32 % odpadů. Čína investovala 6,3 miliardy dolarů k dosažení 30 % recyklaci jejich odpadů do roku 2030. V současné době je více než 800 spalovacích zařízení po celém světě, z toho okolo 230 v Japonsku a 400 v Evropě. Spalovny v Evropě mohou poskytovat elektřinu přibližně 27 milionům obyvatel. [21,25]

1 HISTORIE NAKLADÁNÍ S ODPADEM A JEHO TERMICKÉHO ZPRACOVÁNÍ

1.1 Historie nakládání s odpadem před průmyslovou revolucí

Problémy s nakládáním s odpady začaly po opuštění kočovného způsobu života, tj. asi před 9000 lety. Lidé se sjednocovali ve větších počtech na malém území, což vedlo k prvnímu hromadění odpadu ve specializovaných jámách. Tyto jámy jsou v dnešní době cenným archeologickým nálezem, z důvodu přiblížení života v dané době.

Velký zlom v odpadním hospodářství znamenala antika. Římané a Řekové využívali kanalizaci a vodovody. Dokonce samotné kanály byly pravidelně čištěny válečnými zajatci a otroky. Ulice byly kvůli prašnosti kropeny vodou. Řešeny byly i tak velké problémy jako likvidace odpadů vzniklých po 100000návštěvnících Kolosea. Avšak po pádu Římské říše snaha o hygienické prostředí ve městech opět upadá a to téměř na 1000 let.

Středověké ulice a řeky byly znečištěné odpady z chlívů, domácností a dílen. Tyto řeky však byly i zdrojem pitné vody a díky takto špatným hygienickým podmínkám se ve středověku lehce šířily nemoci a mory.

Ke zlepšení dochází až v italských renesančních městech ve 13. století. Vydlážděné ulice jsou pravidelně uklízeny, oběti nemocí jsou spalovány.

V 18. století byl vydán řád pro čištění ulic Prahy nejvyšším purkrabím hrabětem Karlem Chotkem. Také se reguloval stavební odpad a zaváděly se přesypné nádoby na domovní odpad. [3,22,25]

1.2 Historie nakládání s odpadem po průmyslové revoluci

Průmyslová revoluce měla za následek vznik velkého množství továren, které však produkovaly zplodiny, znečišťovaly řeky průmyslovými odpady a vytvářely odpad složitě se rozkládající v přírodě. Rovněž se zvýšila hustota obyvatel měst a tím i produkce a hromadění odpadu. Lidé si již rovněž uvědomovali spojitost hygieny s šířením nemocí.

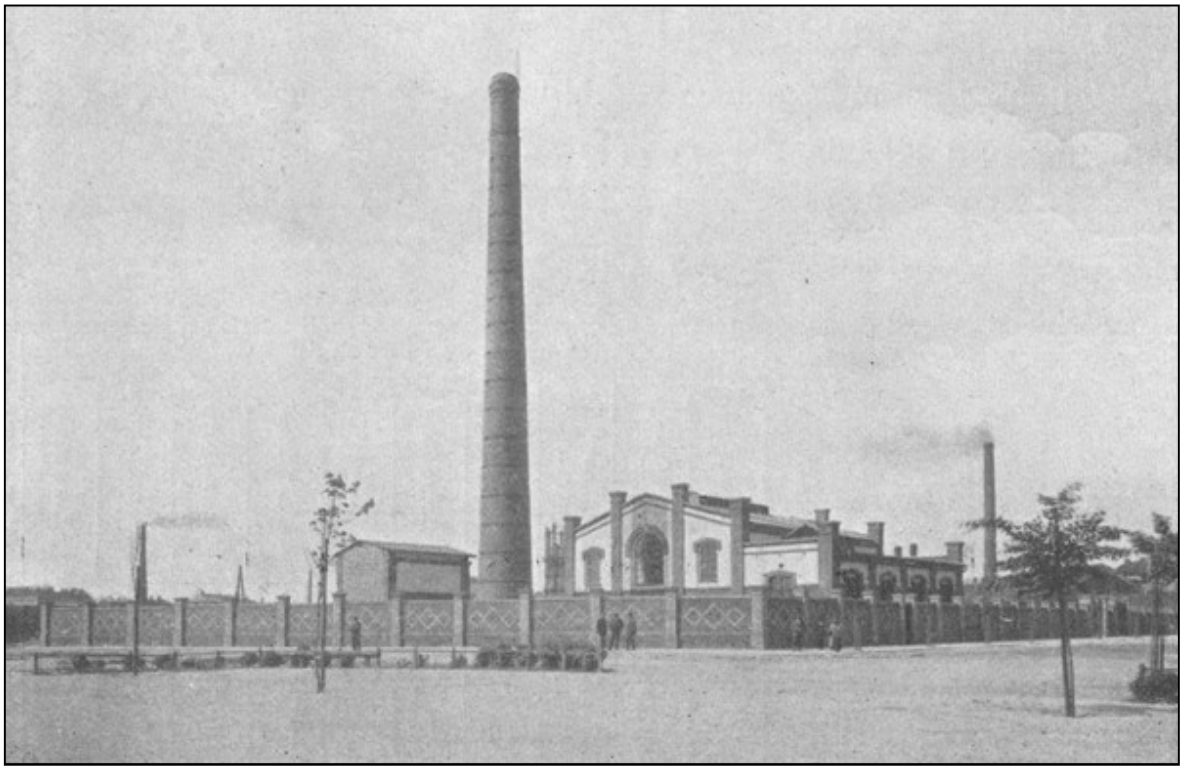
Řešením tohoto problému bylo zakládání spaloven, skládek a kompostáren. První spalovny začaly pracovat v roce 1876 ve Velké Británii a to v Manchesteru, Leedsu a Birminghamu. Trend spalování odpadů se také rozšířil do Německa a Švýcarska a roku 1905 byla postavena první spalovna v českých zemích a to konkrétně v Brně. První řízená skládka byla založena v roce 1900 v Británii a první kompostárna v Nizozemsku.

V dnešní době existuje spousta nařízení a zákonů určujících jak s odpadem nakládat. Existuje více než 340 spaloven s energetickým využitím odpadů, z toho tři jsou také v České republice. [3,23,25]

1.3 Historie energetického využívání odpadů v českých zemích

V Brně bylo roku 1904 na základě usnesení brněnského zastupitelstva rozhodnuto o postavení první spalovny na území Rakouska-Uherska. Tato spalovna kopírovala technologii z německého Dortmundu a Hannoveru s použitím spalovacího systému firmy Alfons Custodis. Stavba začala v roce 1904 a v roce 1905 již byla dokončena. Spalovna měla spalovací pec se sedmi spalovacími komorami spojenými s Babcock-wilcoxovým parním kotlem s připojením

na Parsonovu turbínu. Spalovna spalovala 27,45 tuny odpadů za den a sloužila až do roku 1941. Ke konci 2. světové války byla vybombardována a k jejímu úplnému obnovení došlo až v roce 1989. [1,24]

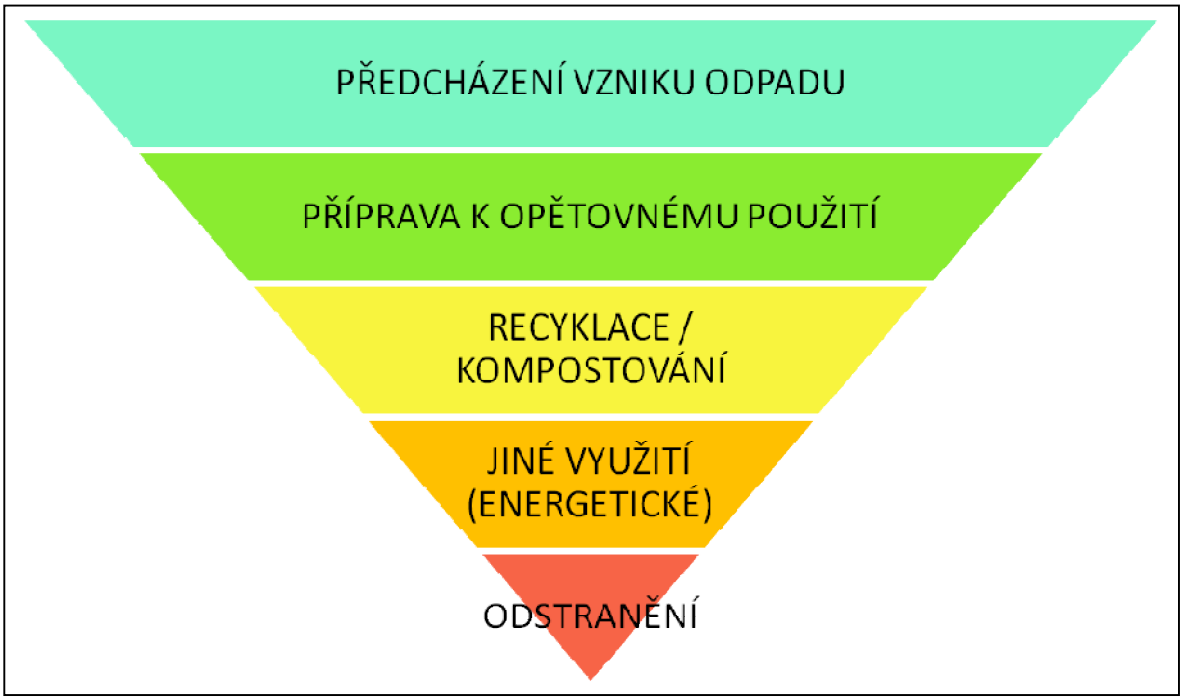


Obr. 2 : Fotografie původní brněnské spalovny. [1]

2 ODPADNÍ HOSPODÁŘSTVÍ

2.1 Hierarchie nakládání s odpadem

Odborná likvidace odpadů je klíčovou úlohou odpadního hospodářství. Metody této likvidace jsou recyklace, kompostování, energetické využití odpadu a skladování. Pořadí těchto metod je graficky ilustrováno na pyramidě hierarchie nakládání s odpady (obr. 3).



Obr. 3 : Hierarchie nakládání s odpady [39]

V horní části pyramidy se nacházejí nejvíce žádoucí způsoby nakládání s odpadem, zatímco ve spodní časti ty neméně žádoucí. Nicméně tato hierarchie nelze použit univerzálně ve všech případech kvůli ekonomickým a jiným okolnostem. Popis každé fáze je uveden dále.

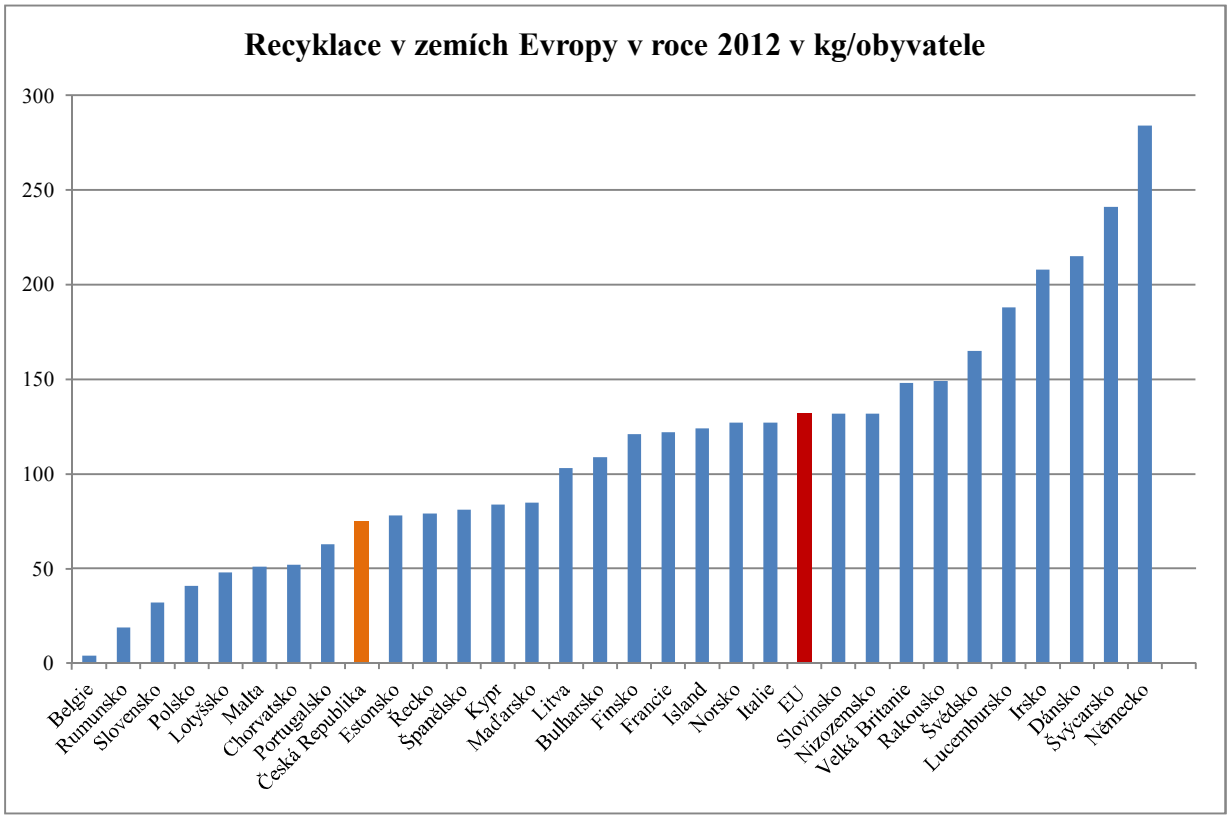
2.1.1 Redukce produkce odpadů

Redukce produkce odpadů je nejvíce žádoucí vzhledem k hierarchii. Redukce produkce odpadů ale znamená změnu a vývoj nových výrobních procesů i použití jiných surovin, ze kterých by vznikalo menší množství odpadů. To je ale ideální stav, kterého nelze v praxi dosáhnout. I v Japonsku, kde vláda přijala opatření pro docílení nulové tvorby odpadů, je stále produkce 0,35 tun odpadů na osobu za rok. [28]

2.1.2 Recyklace

Po redukci produkce odpadů následuje v hierarchii nakládání s odpady recyklace. Recyklace snižuje objem odpadů ke konečnému zneškodnění a nabízí řadu pozitiv pro životní prostředí, jako je snížení emisí skleníkových plynů, spotřeby energie a zachování přírodních zdrojů a snižuje množství použitých surovin. Odpad je zpracován na další výrobky, materiály nebo látky. Recyklací dochází k navrácení materiálu do výrobního cyklu, lze dosáhnou úspory neobnovitelných i obnovitelných zdrojů a někdy je i ekonomičtější než skladování. Recyklace je přímá a nepřímá. Při přímé recyklaci jde o využití odpadů bez jakýchkoli úprav a to

například opětovné použití demontovaných součástek. U nepřímé recyklace je potřeba odpad upravit pro využití jako druhotné suroviny. Nepřímá recyklace je typická pro recyklaci papíru, plastů, kovů a skla. Nicméně ne každý materiál je recyklovatelný a dokonce i recyklovatelné materiály obsahují zlomek, který nelze recyklovat. [2,3]



Obr. 4 : Graf recyklovaného komunálního odpadu v kilogramech na obyvatele v evropských státech v roce 2012. [40]

Z grafu (obr. 4) je patrné, že Česká republika se nachází výrazně za průměrem recyklovaného odpadu za jinými státy Evropy. Nejvíce recyklují v Německu a Švýcarsku, kde obyvatel průměrně zrecykluje přes 200 kg komunalního odpadu za rok.

2.1.3 Kompostování

Je aerobní biologický proces využívaný pro přeměnu organického odpadu na kompost. Principem je odbourání původních organických látek a jejich převod na stabilní humusové látky. Kompostování reprezentuje na rozdíl od skládkování opravdový způsob zneškodnění odpadů. Předností kompostování je umožnění vracení materiálů zpět do původních přirozených potravních cyklů. Objem odpadů je po správné kompostaci redukován o 30 %. Kompost představuje organický materiál běžně používaný pro obohacení půdy. Obsahuje především rostlinné živiny získané řízeným rozkladem zejména rostlinných zbytků. Pro kompostování jsou nutné následující podmínky:

- aby byl dodržen poměr C:N 30:1, odpad nesmí obsahovat organické látky, a dále musí byt zastoupeny biogenní prvky
- výchozí materiál musí mít vlhkost 50–60 % a pH musí byt neutrální

- aerace po celou dobu kompostovaní, tím dojde k zahřátí kompostu na 60–70 °C a tím k jeho hygienizaci
- výstupní materiál musí byt rozmělněn a homogenizován. [3]

2.1.4 Energetické využití odpadů (EVO)

Po redukci, recyklaci a kompostování odpadů je další operací spalování odpadů s využitím energie neboli energetické využití odpadů. ZEVO spalují odpad a vyrábí páru pro turbínu, která generuje elektřinu. Obyčejně zařízení na energetické využití odpadů vyrábí mezi 500 až 700 kWh na tunu spáleného odpadu. Spalování také snižuje objem odpadů o 90 %. Zbylých 10 % je škvára, která se využívá zejména ve stavebnictví.

Ve spalovně je odpad tepelně zpracován ve spalovacích komorách, kde se spaluje při vysokých teplotách. V této komoře se odpad pohybuje pomocí roštu, kterým proudí proud kyslíku pro lepší spalování, ale také pro chlazení roštů a snížení produkce NO_x. Provozní teplota těchto zařízení může dosáhnout až 1100 °C. Spalováním vznikají spaliny, které jsou obvykle nositelem většiny znečišťujících látek, a proto prochází několikastupňovým čištěním. Jednotlivým procesům se budeme blíže věnovat v následující kapitole. [26,27]

2.1.5 Skladování

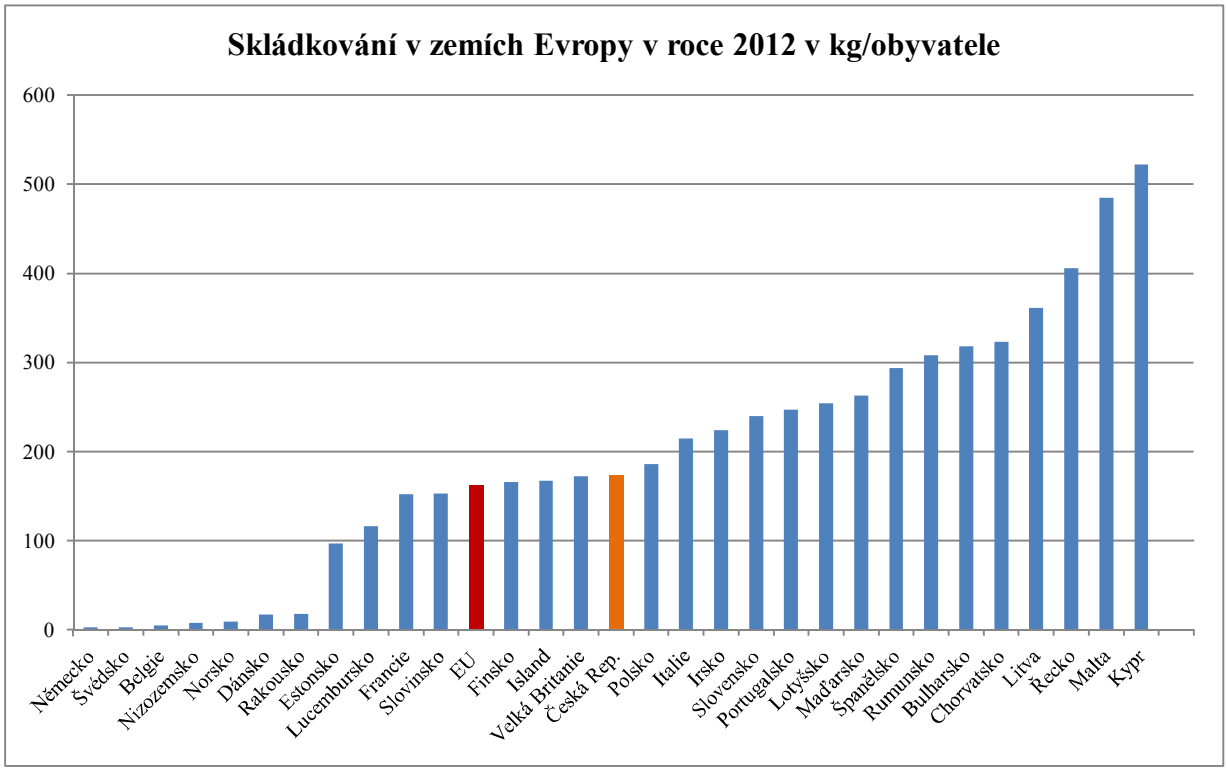
Skládky jsou nejčastější praxe ve finálním nakládání s odpadem po celém světě. Skládka je způsob likvidace odpadů bez zdravotních rizik nebo veřejného nebezpečí s využitím technických zásad omezit odpad na co nejmenším povrchu, snížit na minimální možný objem a pokrýt vrstvou zeminy na konci provozního dne. Odpad se může ukládat do otevřených prohlubní nebo nad úroveň terénu, obě možnosti lze kombinovat. Dalším způsobem jsou skládky podzemní, kde je odpad ukládán do uměle nebo přirozeně vzniklých dutin pod povrchem země. Tomuto způsobu se říká hlubinná injektáž. Skládky mají jisté ochranné vrstvy. Hlavní z nich je těsnicí vrstva, která zabraňuje úniku skládkových vod do prostředí a podzemních vod. Tato voda je drenážním potrubím odváděna do speciální jímky na skládkovou vodu. Také je odebírán skládkový plyn, který vzniká při rozkladu organických složek odpadů. Jedná se o bioplyn tvořený především metanem a oxidem uhličitým. Proto tedy každá řízená skládka musí být vybavena:

- těsnícím systémem oddělující skládku od okolního prostředí
- drenážním systémem a zařízením na zneškodňování odvedených škodlivin
- zařízením na jímání skládkového plynu
- zařízením na příjem, hutnění a ošetření odpadů.

Každá skládka je určená pouze pro určitý druh odpadů. Dle tohoto kritéria tedy rozlišujeme 3 druhy skládek:

- skládka na inertní odpady jako je stavební suť, zemina a kamení
- skládka na ostatní odpady jako je komunální odpad
- skládka na nebezpečné odpady, jako jsou odpadní barvy, chemikálie, vrtné kaly.

K dispozici je široká škála skládek, od těch nejistých a neregulovaných „otevřených skládek“ až po nejpokročilejší skládky s využitím skládkového plynu jako zdroje energie. [3,4,30]



Obr. 5 : Graf skládkování komunálního odpadu v kilogramech na obyvatele v evropských státech v roce 2012. [40]

Z grafu (obr. 5) je patrné, že Česká republika lehce zaostává za průměrnou hodnotou skládkování v Evropské unii. V Německu a Švýcarsku se skládkuje odpad minimálně. Naopak v Řecku, na Maltě a Kypru jsou hodnoty až třikrát větší než v České republice.

3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ

Zákon o odpadech č.185/2001 Sb. definuje energetické využití odpadů jako:

1. energetické využití odpadů je pouze takové spalování odpadů pokud:
   - odpad nepotřebuje pro spalování podpůrné palivo a teplo, které vzniká spalováním, se využije pro vlastní potřebu spalovny nebo dalších osob,
   - odpad je použit jako palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů za podmínek stanovených právními přepisy o ochraně ovzduší.
2. spalovny, které nesplňují podmínky ve výše zmíněném odstavci 1, jsou považovány za zařízení pro odstraňování odpadů. [29]

Vzhledem k trendům směrnic Evropské unie se stává EVO jednou z nejpoužívanější technologií při finálním nakládání s odpadem. Jelikož některé odpady mají výhřevnost podobnou například s hnědým uhlím, je využití odpadu pro výrobu tepla a elektřiny vhodné nejen vzhledem ke skládkování odpadů, ale i k omezení těžby uhlí. Odpady musí být spalovány v zařízeních pro tento účel určených, avšak nová legislativa EU povoluje spalování i v jiných zařízeních. Zejména se jedná o spalování při výrobních procesech a nazývá se spoluspalování (tj. spalování odpadů s palivy). Spoluspalování je nejběžnější v hutních provozech, cementárnách a vápenkách. Pro tato zařízení ale platí přísné podmínky pro ochranu ovzduší a vod. Spalovny jsou řazeny mezi velké a zvláště velké zdroje. Zvláště velké zdroje jsou :

- spalovna nebezpečného odpadu s kapacitou větší než 10 t za den,
- spalovna komunálního odpadu s kapacitou vetší než 3 t za hodinu,
- spalovna jiného než komunálního a nebezpečného odpadu s kapacitou větší než 50 t za den. [5]

Evropská unie rozlišuje energetické využívání odpadů a jeho spalováním. O skutečném energetickém využívání odpadů mluvíme, pokud je podstatná část použita za účelem výroby energie za těchto předpokladů:

- spalováním se získá více energie než je potřeba na vlastní spalování,
- část přebytku energie bude využita jako tepelná nebo elektrická energie,
- většina odpadu bude spotřebována pro spalování a větší část energie bude využita. [29]

3.1 Podmínky vedení spalovacího procesu

Spalováním odpadu vznikají, stejně jako u jiného spalování, emisní látky. Jejich množství je nepřímo redukováno emisními limity, které mají tendenci být stále přísnější v závislosti na dostupné technologii. Tyto limity jsou platné z nařízení vlády číslo 354/2002 Sb. Těch lze dosáhnou pomocí technologií pro čištění spalin a idealizací vedení spalovacího procesu.

Při spalování odpadů musí být v termoreaktoru splněny tyto podmínky:

- minimální teplota spalin měřená v minimální vzdálenosti od stěny je 850 °C
- koncentrace kyslíku za posledním přívodem vzduchu je minimálně 6 obj. %
- spaliny musí při této koncentraci kyslíku a teplotě zůstat po dobu minimálně 2 sekund

- jestliže spalovaný odpad obsahuje chlorované organické látky s obsahem chloru větší než je 1 hm. %, pak teplota musí být zvýšena na 1100 °C.

Tyto podmínky slouží ke správnému prohoření odpadu a dosažení emisních limitů pro oxid uhelnatý a organické látky ve spalinách. K zahájení přívodu odpadů do spalovacího zařízení může dojit jen tehdy, pokud v termoreaktoru bylo dosaženo výše zmíněných podmínek. Nejdřív se tedy termoreaktor musí uvést na správnou teplotu. Proto jsou spalovací komory vybaveny pomocnými hořáky, které se i v případě poklesu teploty v průběhu spalování odpadů samočinně zapnou. Spalovací komora musí být vybavena minimálně jedním takovým hořákem. [5]

3.2 Postup ve spalovně odpadů s energetický využitím

Odpad je před spálením ukládán v bunkru směsného komunálního odpadu. Ten slouží ke shromažďování odpadu, který je pomocí jeřábu homogenizován. Poté je odpad pomocí jeřábu přesouván do násypky roštového ohniště.



Obr. 6 : Pohled do bunkru odpadu v TERMIZO Liberec. [37]

V ohništi dochází k spalování odpadů při teplotách 850–1100 °C. Ohniště a kotel musí být sestaveny tak, aby vznikající spaliny setrvaly minimálně dvě vteřiny při teplotě 850 °C. To je podmínka pro zaručenou destrukci veškerých organických složek odpadů. Odpad prochází na roštu pěti fázemi a to zahříváním, vysoušením, zplyňováním, hořením a dohořením. Směsný odpad hoří bez přidaného paliva, ale při najíždění spalovny fungují na omezenou dobu takzvané podpůrné hořáky. Spaliny v kotli předávají teplo vodě, která se mění na páru. V kotli se kvůli redukci emisí a šetření životního prostředí do spalin přidává redukční prostředek umožňující přeměnu oxidů dusíku na molekulární dusík, což je přirozená součást ovzduší.

Spaliny prochází kotlem a postupně se ochlazují až na 220 °C. Teplo je předáváno pro výrobu páry, jež se využívá ke generaci energie v turbogenerátoru. Poté je pára vedena do soustavy zásobování teplem. Její energie je převedena do vody sloužící k vytápění obytné zástavby. Tato část spalovny je podobná běžným elektrárnám. Rozdíl je hlavně ve využívaném palivu.

Škvára z vyhořelého odpadu je dopravována z ohniště do bunkru na škváru. Ze škváry se třídí železné a barvené kovy a poté se škvára ukládá na skládku, nebo se využívá ve stavebnictví jako například podsypy při stavbě silnic.

Spaliny jsou z kotle vedeny do filtrační jednotky, jako jsou elektroodlučovač nebo tkaninový filtr. Zde jsou spaliny zbaveny tzv. tuhého úletu. Takto odfiltrovaný popílek je veden do sila popílku a poté k extrakci těžkých kovů a solí. K extrakci se používá aktivní kyselina z pračky spalin.



Obr. 8 : Strojovna turbogenerátoru v TERMIZO Liberec. [37]



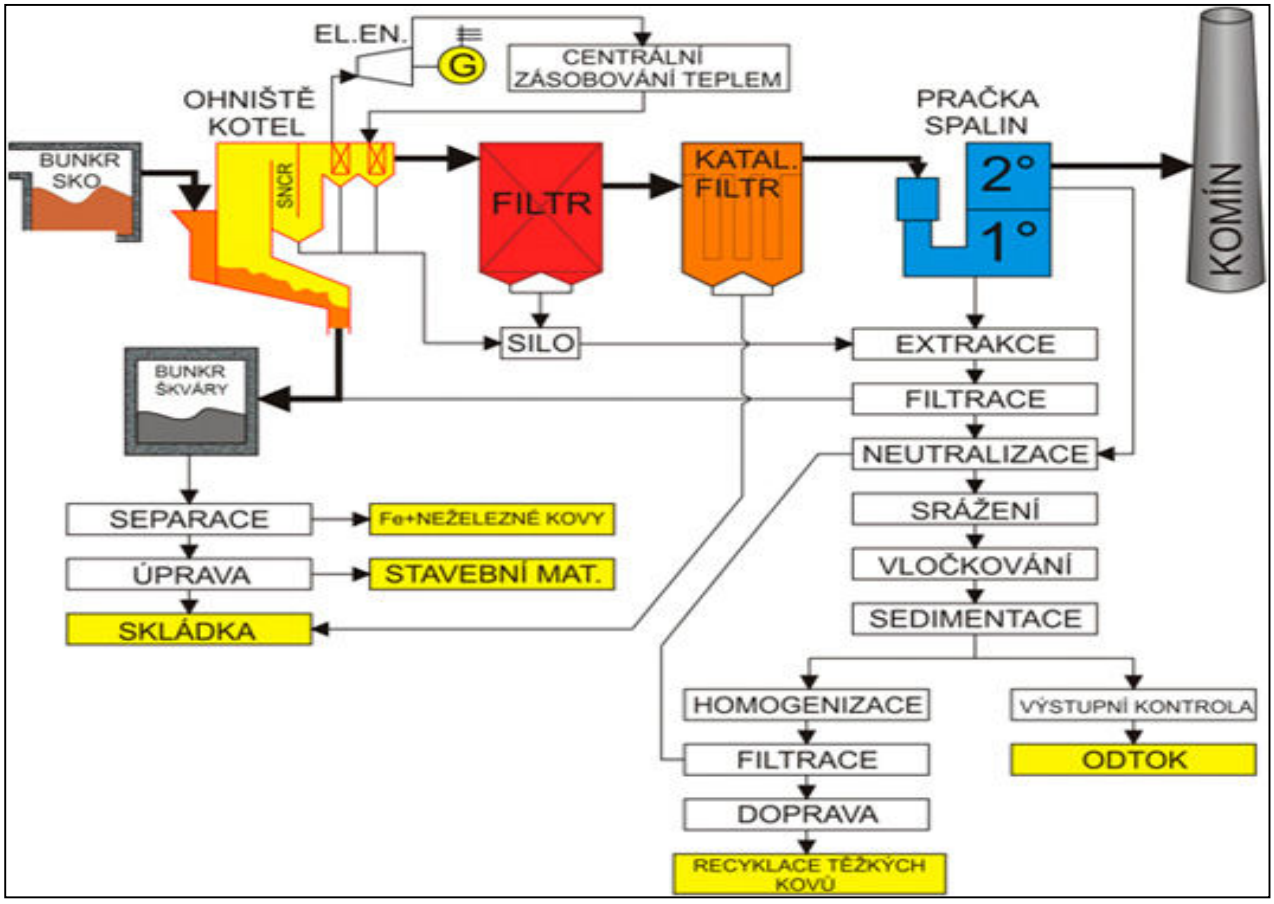
Obr. 7 : Pohled na elektrostatický odlučovač. [38]

Již upravený popílek je přiváděn do výše zmíněného bunkru škváry. Filtrát vzniklý úpravou popílku je poté společně s pracími vodami odveden k procesu úpravy pracích vod (čiření).

V katalytickém filtru jsou spaliny zbaveny zbytkového popílku a probíhá zde katalyticko-oxidační destrukce dioxinů a furanů. Těchto látek vzniká při spalování odpadů nepatrné množství a to asi 1-5 $ng.m^{-3}$. Přesto je potřeba jejich odstranění. Samotná technologie spalování je navržena tak, aby těchto látek vznikalo co nejméně. Výsledkem procesu v katalytickém filtru je téměř dokonalá destrukce těchto látek.

V pračce spalin dochází k převodu spalin do prací vody pomocí chemicko-fyzikální absorpce. Prací vody z prvního stupně se využívají k extrakci těžkých kovů a solí z popílku. Posléze jsou prací vody smíchány s ostatními pracími vodami a jsou čiřeny. Čiření se provádí pomocí neutralizace, vločkovaní, sedimentace a filtrace. Takto upravená voda se odvádí do kanalizace nebo do vodoteče a zachycováním pevných částí vzniká filtrační koláč. Tento koláč obsahuje asi 20 % zinku, který lze dále využívat. Vyčištěné spaliny jsou vedeny komínem do atmosféry. [6,37]

Některé technologie ve výše zmíněném postupu nemusí byt univerzální a mohou být zaměněny jinými. Například použitím jiného typu ohniště nebo způsobu čištění spalin.



Obr. 9 : Příklad technologického řetězce. [37]

3.3 Emise ve spalinách a jejich čištění

Spalováním odpadu vnikne spoustu nebezpečných látek, jež nesmí byt vypouštěny do ovzduší nebo odpadních vod. Nejnebezpečnější jsou dioxiny (PCDD) a furany (PCDF), které jsou rakovinotvorné, poškozují hormonální a imunitní systém a negativně ovlivňují nervovou soustavu lidí a dalších živočichů. V důsledku nedokonalého spalování vznikají též polycyklické aromatické uhlovodíky, které na lidský organizmus působí přibližně jako kouření cigaret. Další látkou je rakovinotvorný formaldehyd dráždící spolu s ostatními aldehydy a kyselinou chlorovodíkovou oči a plíce. Benzen a styren jsou také karcinogenními látkami,

navíc styren způsobuje poškození očí a sliznice a při dlouhém vystavení ovlivňuje nervový systém, což způsobuje bolesti hlavy, deprese, slabosti a únavu. Pro tyto látky jsou v nařízení vlády č. 354/2002 Sb. stanoveny emisní limity. Toto čištění je velmi nákladné a představuje 30–50 % z investičního nákladu na spalovací zařízení. Množství a druh toxických látek vzniklých spalováním je závislé na tom, co za odpad je spalováno.

Při spalování plastů vzniká nejvíce jedovatých látek. Spalováním PET lahví a plastových folií vznikají toxické polyaromatické uhlovodíky. Spalováním polystyrenu se uvolňuje nebezpečný styren a při spalování PVC vznikají dioxiny a sloučeniny chloru.

Spalováním celobarevných letáků a časopisů se uvolňují těžké kovy, které jsou součástí tiskařských barev. Navíc hromadné spalování papíru je nesmyslné, recyklací papíru se totiž ušetří více energie, než se získá jeho spálením.

Z chemicky ošetřeného dřeva, jako jsou staré pelety, dřevo z demolic, nábytek a natřená prkna, se mohou spalováním uvolňovat formaldehyd a dioxiny a to až 500× více než z palivového dřeví. [7]

Tab. 1 : Emisní limity pro různé druhy paliv.[8]

	Směrnice o spalování odpadů	**Biomasa**	**Tuhé palivo v ostatních topeništích**	**Tuhé palivo ve fluidním topeništi**	**Kapalné palivo**	**Plynné palivo**
	mg.m^{-3}					
Tuhé emise	10	250	100	67	56	3
Organický uhlík	10	-	-	-	-	-
SO_x	50	2500	1667	1000	944	19
NO_x	200	650	433	333	250	111
NH_3	50	-	-	-	-	-
CO	50	650	267	200	97	56
HCl	10	-	-	-	-	-
HF	1	-	-	-	-	-
PCDD a PCDF	0,1	-	-	-	-	-
Hg	0,05	-	-	-	-	-
Cd	0,05	-	-	-	-	-
Ostatní těžké kovy	0,5	-	-	-	-	-

Všechny tyto látky samozřejmě vznikají i při spalování odpadů v profesionálních zařízeních, jako jsou spalovny. Avšak ve spalovnách je již technologie samotného spalování nastavená tak, aby nevznikaly toxiny například z důvodu nedokonalého spalování. Ostatní nebezpečné látky jsou filtrovány pomocí speciálních technologií pro čištění spalin. Nejvíce nebezpečných látek je vázáno na tuhou složku spalin, kterých je po opuštění spalin dohořívacího prostoru cca 4 $g.m^{-3}$. Obsah těžkých kovů v plynné fázi, jako je kadmium, rtuť, olovo, zinek a další, se pohybuje podle obsahu spalovaného odpadu řádově kolem $mg.m^{-3}$. Další nebezpečné látky v plynné fázi jsou chlorovodík (600–1500 $mg.m^{-3}$), fluorovodík (3–30 $mg.m^{-3}$), oxid siřičitý (200–-500 $mg.m^{-3}$), oxidy dusíku (200–500 $mg.m^{-3}$) a nespálené uhlovodíky (v $mg.m^{-3}$). Škodlivé látky se vyskytují jak v tuhé, tak plynné fázi spalin. Větší část se vyskytuje navázaná na prachové částice a menší v plynné fázi. Proto k převážnému odstranění škodlivin dochází odstraňováním tuhých znečišťujících látek ze spalin. Při spalování odpadů vzniká velké množství těchto látek, a proto je důležité je maximálně redukovat. Dostatečné redukce nelze dosáhnout pouze správnou technologii spalování, proto existují další opatření pro redukci nebezpečných látek, která můžeme rozdělit na:

- primární: vztahující se k samotnému spalování
- sekundární: odstraňování emisních látek ze spalin

Primární opatření redukující množství vzniklých škodlivých látek jsou:

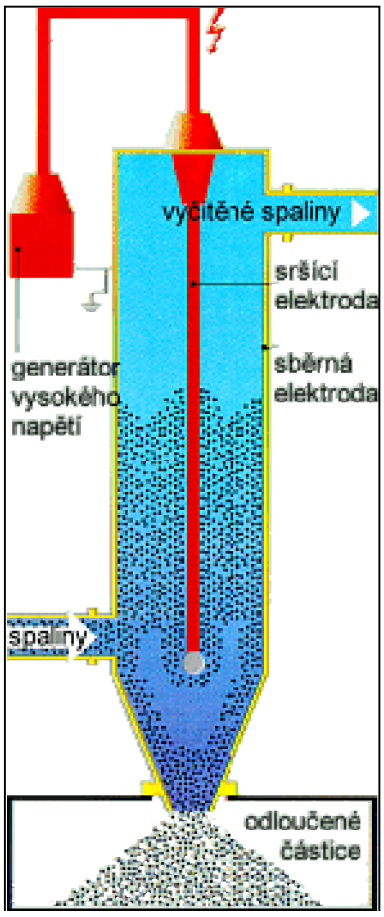
- seznámení se složením odpadu
- třídění a předběžné zpracování odpadu
- výběr spalovací technologie a její optimalizace.

Přes tato opatření spaliny obsahují nemalé množství emisních látek, proto je pro splnění emisních limitů potřeba uskutečnit sekundární opatření realizovaných technologiemi pro odstranění tuhé a plynné složky emisí ve spalinách. [10]

3.3.1 Čištění tuhé složky spalin

Elektrostatické odlučovače

Elektrostatické odlučovače jsou nejčastěji využívanou technologií pro odstraňování popílku ze spalin. Do proudu spalin jsou vloženy dva druhy elektrod. První je sršící elektroda, která je napojena na záporný pól zdroje stejnosměrného proudu. Druhá je sběrná elektroda o velké ploše zapojená na kladný pól. Elektrický proud vysokého napětí (55–75 kV) vytváří elektrické pole mezi sršícími a sběrnými elektrodami. Na povrchu sršících elektrod vzniká tzv. korona (modrofialový výboj), produkující velké množství iontu pohybujícího se ke kladné sběrné elektrodě. Stabilita korony je podmíněna velmi malým povrchem sršící elektrody. Tím jsou spaliny přitahovány k sběrným elektrodám, kde jsou již mechanicky odstraňovány. To se děje pomocí kladiv umístěných na hřídeli s výstředníkem. Elektrostatické odlučovače mohou být použity pro plyny s teplotou do 350 °C. Největší výhodou je nízký odpor průtoku spalin, tudíž i nižší spotřeba energie než mají tkaninové filtry. [5,9,31]



Obr. 10 : Princip elektrostatického odlučovače. [9]

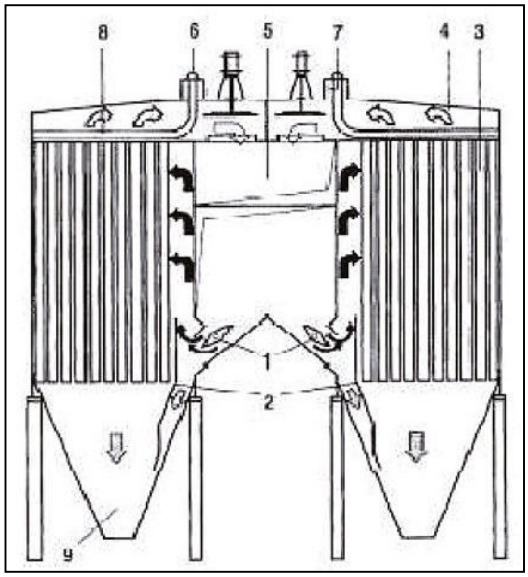
Tkaninové filtry

Tkaninové filtry jsou po elektrostatickém odlučovači nejčastěji používanou technologií pro čištění spalin ve spalovnách odpadů. Jde o velice účinnou metodu, která markantně snižuje hodnotu emisí. Tyto filtry musí mít vhodnou tepelnou, fyzikální a chemickou odolnost. K filtraci se používají nejčastěji vláknité vrstvy, ale někdy také zrnité nebo porézní hmoty. Tkaniny mohou být z přírodních i syntetických vláken. Nejčastěji jsou filtry tvořeny z vlny nebo bavlny. Pokud jsou z plastu tak z polyamidu, polyesteru, e-PFTE, skla a jiných. Jako porézní látky slouží plasty nebo kovy. Hlavním důvodem variability materiálů je jejich rozdílná teplotní odolnost, cožje znázorněno v tabulce (Tab. 2). [5]

Tab. 2 : Druhy vláken vhodné pro tkaninové filtry a jejich teplotní odolnost. [5]

Materiál	Teplota [°C]
PVC	40–50
Bavlna	75–85
Vlna	80–90
Polyamid, polypropylen	150
Polyester	200–280
Teflon	250–280
Skelná vata	250–300
Kovová vlákna	> 300

Princip tohoto typu filtrování spalin spočívá v tom, že větší částice neprojdou tkaninou a zachytí se na jejím povrchu. Tím vzniká na povrchu filtrační koláč, který i sám o sobě tvoří filtrační vrstvu. Filtrace odpadních plynů se dělí na filtraci vzduchu a na filtraci průmyslovou. Usazováním částic na filtru během provozu nastává tlaková ztráta na filtru, která je odstraňována regenerací filtru. Regenerace filtru probíhá pomocí zpětného toku plynu, tlakovým rázem či oklepáním. Filtr je vyměňován po dosažení životnosti nebo v případě poškození. Potřeba výměny filtrového rukávu je kontrolována pomocí odchylky tlaků, vizuální kontrolou, mikroskopickou analýzou nebo zvýšenými emisemi. Tkaninové filtry kladou odpor proudícím plynům, což se projeví na spotřebě energie pohonů ventilátorů. Také jsou náročnější na údržbu a investice než elektrostatické odlučovače. [5,31]



Obr. 11 : Princip tkaninového filtru. 1.vstup surového plynu, 2.deskové překážky, 3.pytlové filtry, 4.prostor pro vyčištěný plyn, 5.vedení vyčištěného plynu, 6.ventil s membránou, 7.zásobník stlačeného vzduchu, 8.trubková tryska, 9.výsypka prachu. [41]

Cyklony a multicyklony

Cyklony a multicyklony využívají k odstranění částic odstředivých sil. Multicyklony se skládají z velkého množství cyklonových jednotek. Prachové částice jsou vlivem odstředivé síly zachytávány na stěny cyklonu. Cyklony nejsou dostatečně účinné a pouze s jejich pomocí se nedá dosáhnout emisních limitů. Mohou být tak použity k předběžnému čištění spalin před ostatními stupni čištění. [31]

Keramické filtry

Keramické filtry jsou vhodné pro předběžné čištění spalin při vysokých teplotách. Například se tak čistí spaliny vycházející přímo ze spalovacího prostoru. Keramické filtry odstraňují pouze velké částice a mají nízkou účinnost. [32]

Venturi pračky

Venturi pračky se používají pro odstranění submikroskopických částic. Odstraňují částice o velikosti až do řádově desetin mikrometru. Princip spočívá ve shlukování prachu s aerosoly vody. Odlučivost závisí na tlakové ztrátě. Pokud je ztráta moc velká nebo naopak moc malá odlučivost klesá. Většinou se používají odlučovače s větším množstvím sériových Venturiho trubic malého průměru se společným odlučovačem kapek. [5]

3.3.2 Čištění plynné složky spalin

3.3.2.1 HCl, HF a SO_2

K odstraňování HCl, HF a SO_2 se nejčastěji využívají suché nebo mokré procesy. Suché procesy zachytávají tyto látky na pevných sorbentech jako $NaHCO_3$ a CaO. Mokré procesy absorbují tyto plyny alkalickými reagujícími roztoky nebo suspenzemi jako NaOH a $Ca(OH)_2$.[5,33]

Mokré postupy

Vypírání pomocí $Ca(OH)_2$ nebo NaOH se spaliny adiabatickým odpařováním ochlazují na teplotu absorpce. Současně se ve vodě zachytí podíl HCl a HF. Pak spaliny pokračují do dvoustupňové alkalické vypírky. Zde dochází k odloučení zbytku HCl, HF a větší části SO_2. Spaliny musí byt zbaveny únosu v odlučovači kapek. Při vypírání spalin vodou lze získat desorpcí HCl. Odpadní vody je nutné vyčistit v čistírně odpadních vod. [5,33]

Polosuché postupy

Provádí se nástřikem vápna do rozprašovací sušárny. Při tomto procesu dochází k ochlazování spalin adiabatickým odparem vody a k reakci mezi $Ca(OH)_2$ s HCl, HF a SO_2 a to při teplotách 120–180 °C. Pevný produkt je zachytáván v tkaninových nebo elektrostatických odlučovačích. Při přidání aktivního uhlí čipolokoksu lze dosáhnout odlučování dioxinů a furanů. Při tomto postupu se netvoří odpadní vody. [5,33]

Suché postupy

Dochází k sorpci kyselých plynů ve fluidním nebo úletovém reaktoru. Poté je pevný odpad filtrován na tkaninovém filtru. Tímto procesem vzniká velké množství pevného odpadu, podobně jako u polosuchých postupů. [5,33]

Tab. 3 : Tabulka rozdílu jednotlivých postupů čištění HCl, HF a SO_2. [5]

	Suché	**Polosuché**	**Mokré**
Koncentrace nečistot ve vyčištěných spalinách ($mg.m^{-3}$) : **HCl** **HF** **SO_2**	 5–10 < 1 20–50	 5–10 < 1 20–50	 1–5 < 1 5–20
Stechiometrické množství přídavného činidla	2–4	1,2–2,0	cca 1
Reakční produkt	pevná fáze	pevná fáze	rozpustné soli nebo kyseliny
Využitelnost zbytků z čištění	problematická	problematická	potenciálně možná
Množství produktu (kg na 1 tunu KO)	25–45	15–35	10–15

3.3.2.2 NO_x

Oxidy dusíku vznikají při spalování dusíku v odpadech a také oxidací vzdušného dusíku při vysokých teplotách. Pokud jsou dodrženy podmínky spalování opadů, tak vysokoteplotní NO_x nevzniká. Proto jsou pro redukci vzniku těchto látek důležité určité principy. Mezi základní pravidla patří redukce přebytku vzduchu kvůli přebytečné oxidaci vzdušného dusíku a omezení vysokých teplot při spalování. Pouhá prevence vzniku těchto oxidů však nestačí, a proto se nejčastěji využívají dvě důležité technologie:

- selektivní nekatalytická redukce amoniakem nebo močovinou
- selektivní katalytická redukce amoniakem. [5,33]

Selektivní nekatalytická redukce

Tato metoda spočívá vstřikování amoniaku nebo močoviny do dohořívací komory v pásmu teplot 800–1000 °C. Chemická reakce se řídí rovnicemi 1-2:

$$4\,NO + 4\,NH_3 + O_2 \rightarrow 4\,N_2 + 6\,H_2O \qquad (1)$$

$$2\,NO + 4\,CO(NH_2)_2 \rightarrow 4\,N_2 + CO_2 + 2\,H_2O \qquad (2)$$ [5,33]

Selektivní katalytická redukce

Oxidy se redukují amoniakem na katalyzátoru s oxidy vanadu a wolframu na nosiči oxidu titaničitého a to v teplotním rozmezí 300–350 °C. Technologie může být realizována i na katalyzátorech typu zeolitů. Oproti selektivní nekatalytické redukci má katalytická redukce výhodu v nízké zbytkové koncentraci NH_3 ve spalinách. Koncentrace se pohybuje mezi 2.10^{-7}–

2.10^{-6} obj. %. Další předností je, že se dá selektivní katalytická redukce využít i pro rozklad dioxinů a furanů ve spalinách. Selektivní katalytická redukce se řídí rovnicemi 3-6.

$$4\,NO + 4\,NH_3 + O_2 \rightarrow 4\,N_2 + 6\,H_2O \qquad (3)$$

$$6\,NO + 4\,NH_3 \rightarrow 5\,N_2 + 6\,H_2O \qquad (4)$$

$$6\,NO_2 + 8\,NH_3 \rightarrow 7\,N_2 + 12\,H_2O \qquad (5)$$

$$2\,NO_2 + 4\,NH_3 + O_2 \rightarrow 3\,N_2 + 12\,H_2O \qquad (6)$$ [5,33]

3.3.2.3 Dioxiny a furany

Při spalování dochází k rozkladu organických sloučenin na bázi chloru, ale při ochlazení spalin dochází k jejich opětovnému vzniku. Jelikož jde o velmi karcinogenní látky a to i ve velmi malých koncentracích, je stanoven emisní limit 0,1 $ng.m_n^{-3}$. K odstranění těchto nebezpečných látek slouží sorpční metody s použitím aktivních uhlíkových materiálů nebo katalytické procesy. [5,33]

Procesy sorpční

Nejrozšířenější technologií pro odstraňování dioxinu je jejich absorpce na aktivním koksu. Používá se nákladný černouhelný koks, ale i levnější polokoks z hnědého uhlí. Existují filtry pro zachycení dioxinu s pevným ložem sorbentu, se sunoucím ložem sorbentu nebo s dávkováním absorbentu před tkaninový odlučovač. Pevné lože je běžné pro malé spalovny, pro ty velké je běžnější sunoucí lože. Kromě dioxinu se touto metodou také zachycují některé těžké kovy a to zejména rtuť a kadmium. [5,33]

Katalytické filtry

Katalytický filtr vychází z často používané technologie selektivní katalytické redukce NO_x sloužící k odstranění oxidu dusíku, dioxinů a furanů ze spalin. Jedná se o tkaninové filtry, které mají na vnitřním povrchu katalytickou vrstvu odbourávající dioxiny a furany. Pracovní teplota katalytického systému je 180–260 °C a trvanlivost filtru je minimálně 5 let. [5,33]

Selektivní katalytická redukce

Jak bylo již výše zmíněno, při selektivní katalytické redukci nedochází pouze k odstraňovaní NO_x, ale i k likvidaci dioxinu a furanu. [5,33]

3.4 Druhy odpadů použitelných pro spalování

Spalováním můžeme zneškodňovat různé druhy odpadů, jako jsou tekuté kaly, tuhé odpady a plynné odpady. Některé spalovny dokážou spalovat i různé druhy současně. Odpady jsou obecně vzato považovány za méně hodnotná paliva a jejich spalování je doprovázeno problémy a to zejména u komunálního odpadu. Spalovací pece musí být uzpůsobeny řadě rozdílným a často odporujícím si požadavkům. Například rozvolněný papír hoří velmi rychle, ale balík časopisů velmi pomalu. Hliník se při spalování taví a může způsobit zalepování roštnice. Proto je odpady třeba homogenizovat a mísit k zaručení trvalého hoření směsi. Kvalita paliva je určována obsahem hořlavin, popelovin a vody. Výhřevnost komunálního odpadu je mezi 4000–10000 $kJ.kg^{-1}$.

Na obsahu jednotlivých chemických prvků jsou závislé chemické charakteristiky odpadu:

- Výhřevnost neboli množství tepla uvolněného spálením jedné hmotnostní jednotky spalované látky. Výhřevnost záleží pouze na chemickém složení.
- Obsah vody neboli vlhkost ovlivňuje spalování tím, že spotřebovává teplo pro ohřátí a vypařování a také mění rovnovážné podmínky. [29]

3.5 Druhy spalovacích pecí a topenišť

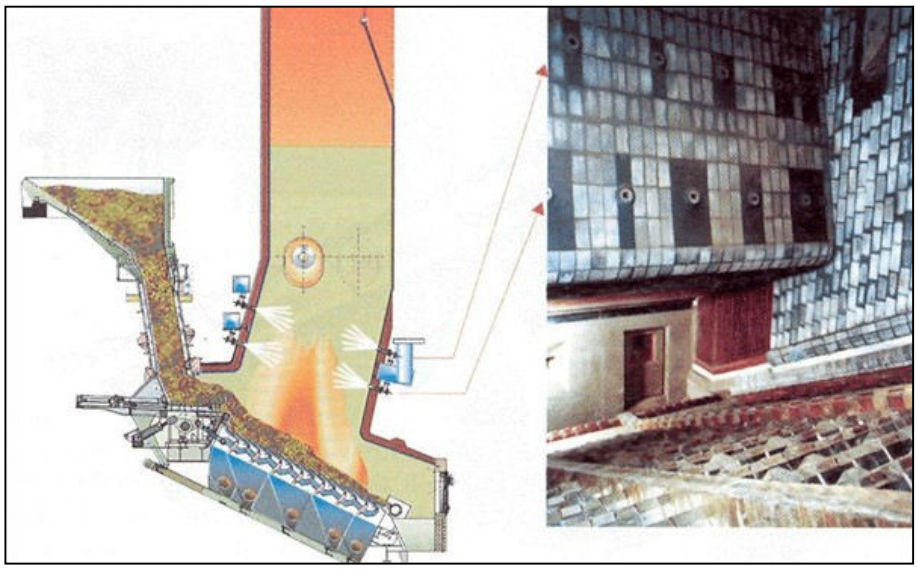
Rotační pece

Jde o pomalu se otáčející vyzděné válce s mírným sklonem. Rotací je zajištěno mísení odpadů. Převádění tepla probíhá všemi třemi způsoby, tj. sáláním plamene na odpady, sáláním spalin na odpady a vedením tepla z vyzdívky. Rotační pece jsou vhodné pro směs průmyslových i komunálních odpadů. Rotační pece bývají obvykle užívány ve dvojstupňovém provedení. V prvním stupni probíhá spalování nebo pyrolýza za teplot kolem 800–900 °C. Druhý stupeň je reprezentovaný dohořívací komorou, v níž je typicky teplota nad 1200 °C. Tento typ pecí je vhodný pro širokou škálu tuhých, kapalných i plynných odpadů. Také mají velmi dobrou přizpůsobivost měnícím se podmínkám. [29,11]

Roštová ohniště

Roštová ohniště představují běžnou praxi ve spalovnách odpadu. Spalovací prostor má na dně pohyblivý rošt s palivovou výsypkou, škvárovými výsypkami a se zařízením pro regulování vzduchu. Nevýhodou je nízká intenzita spalování a nehomogenní hoření odpadu. Výhodou je, že není vyžadováno mletí nebo homogenizace paliva, jde o tzv. objemové hoření. Problém představuje zpracování neslinuté škváry. V praxi se používá několik typů roštových ohnišť:

- ohniště s válcovým roštem
- ohniště s protivratným roštem (obr. 12)
- ohniště s předsuvným roštem. [11]



Obr. 12 : Ohniště s protivratným roštem. [11]

Fluidní topeniště a pece

Pro spalování ve fluidních pecích je důležité rozmělnění odpadu na stejnorodou zrnitost. Do paliva je velkou rychlostí a tlakem vháněn plyn a tím dojde k zvíření zrn. Přitom dochází k spalování v celé vrstvě ohniště. Moderní fluidní ohniště obsahují na výstupu spalovacího prostoru horký cyklón odlučující větší částice, které vrací zpátky do spalovacího prostoru. Tím dochází k lepší kvalitě spalování. Nevýhodou fluidních pecí je citlivost na charakter vstupního paliva a také nákladnost provozu. [3,29]

Etážové pece

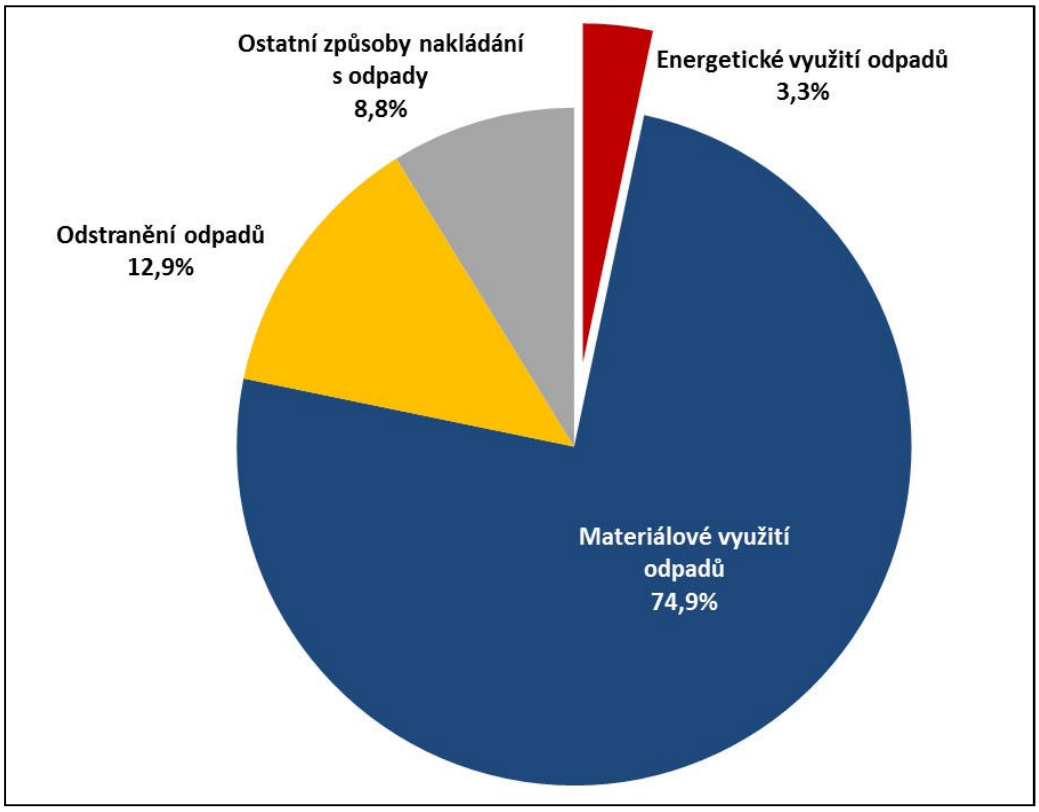
Etážové pece mají tvar ocelového válce, jehož stěny jsou pokryty žáruvzdorným materiálem. Vnitřní část válce je zaplněna soustavou etáží. Středem válce jde hřídel s rameny prohrabávající odpad a posouvající ho směrem do středu válce. Tam odpad propadne do nižšího patra. V nižším patře se odpad prohrabává opačným směrem. Nejvyšší etáž je nejčastěji sušící. Další jsou již spalovací s obvyklou teplotou 900 °C. Pece jsou často vybaveny dohořívací komorou. [3,29]

Komorové pece

Jedná se o statické pece vhodné pro spalování kapalných nebo pastovitých odpadů, které potřebují k odstranění vysoké teploty. Jedná se o soustavu spalovací a dohořívací komory. Pomocí mechanických ramen je prováděno dávkování, přehrabování a vyhrabování zbytků. Často se tímto způsobem spalují celé sudy odpadu. Tento způsob spalování odpadních látek je běžný pro chemické závody. [3,29]

4 ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ V ČR

Česká republika má v současné době pouze tři spalovny s možností využití tepelné energie. Nejstarší z nich je již zmíněná spalovna v Brně, která byla dostavěna do současné podoby v 80. letech minulého století. Zařízení na energetické využití odpadů v Praze Malešicích se začalo stavět v roce 1988, ale dokončeno bylo až v roce 1996. A jako poslední byla uvedena do provozu spalovna v Liberci a to v roce 1999. [12]



Obr. 13 : Podíl energetického a materiálového využití odpadů, odstranění odpadů a dalších způsobů nakládání s odpadem v České Republice v roce 2011.[42]

4.1 SAKO Brno

SAKO Brno je sice nejstarší spalovnou na území České republiky, ale díky několika inovacím za poslední roky se jde o zařízení s nejmodernější technologií EVO u nás. Jedná se zejména o rekonstrukci z let 2008–2010. Šlo o investici v hodnotě 94,2 milionu eur a projekt byl spolufinancován Evropskými fondy. V Brně je za rok spáleno přes 200 tisíc tun odpadu. Samotná společnost se skládá ze tři divizí, a to správa, svoz a spalovna. [13,15]



Obr. 14 : Pohled na spalovnu SAKO v Brně Židenicích. [13]

Technické parametry spalovny [14]:

- kapacita spalovny: 224 000 t/rok komunálního odpadu
- dva spalovací kotle s roštovým ohništěm typu MARTIN
- provozní rozsah: 8,4–16 t/h
- jmenovitý parní výkon: 52,3 t/h
- parametry páry: teplota 400 °C, tlak 4,1 MPa
- nominální výkon turbíny (Siemens): 22,7 MWe
- využití tepla pro výrobu páry, horké vody a elektrické energie
- pětistupňové čištění spalin

Tab. 4 : Emise vypuštěné do ovzduší v SAKO Brno 2014. [8]
(TOC: celkový organický uhlík, TZL: tuhé znečišťující látky)

Látka	**Emise [mg/m^3]**		Limit [mg/m^3]
	kotel K2	**kotel K3**	
SO_2	18	21,8	50
NO_2	159,4	167,6	200
HCl	3,5	4	10
TZL	0	0	8
TOC	0	0,2	8
CO	5,9	2,5	50

4.2 ZEVO Malešice

Výstavba ZEVO Malešice byla zahájena v září 1988 a její provozy jsou neustále inovovány. Ročně je zde spáleno 200 tis. tun směsného komunálního odpadu (230 nákladních aut denně), což odpovídá 130 000 tunám hnědého uhlí nebo 80 000 tunám černého uhlí. Odpad je pálen při teplotách vyšších než 900 °C. Spalovna je vybavená čtyřmi kotli s válcovými rošty a několikastupňovým čistěním spalin. Každý kotel má kapacitu až 15 tun odpadu za hodinu a vyrábí 36 tun páry o teplotě 235 °C a tlaku 1,37 MPa. Provoz spalovny je nepřetržitý. Dovážený odpad je kontrolován speciálním detekčním zařízením na zdroje ionizující záření, vážen a evidován. V současné době pokryje potřebu tepla a teplé vody pro 25 000 domácností ročně. [19]



Obr. 15 : Pohled na spalovnu ZEVO v Praze Malešicích. [17]

Technické parametry spalovny [18]:

- kapacita: 310 000 tun/rok komunálního odpadu
- tepelný výkon: 34 MW, 850 000 GJ/rok tepla
- výkon turbíny: 17,4 MWe
- dodávka elektřiny: 35 000 MWh/rok
- teplota páry: 235°C; tlak páry: 1,37 MPa
- jmenovitý parní výkon: 40 tun/h
- provozní rozsah jednoho kotle: 15 t/h odpad

Tab. 5 : Emise vypuštěné do ovzduší v ZEVO Malešice. [16]
(TOC: celkový organický uhlík, TZL: tuhé znečišťující látky)

Látka	Emise [t/rok]	Limit [t/rok]
SO_2	0,867	200
NO_2	176,286	400
HCI	0,052	60
TZL	4,616	30
TOC	0,831	20
CO	29,367	100

4.3 TERMIZO Liberec

Spalovna v Liberci byla postavená roku 1999 a je využívaná k spalování komunálního odpadu, výrobě tepla, teplé vody a elektřiny. Ročně je v Termizo Liberec spáleno na 96 000 tun odpadů a je schopno zajistit teplenou energii pro 17 000 domácností. Turbíny vyrobí dostatek energie pro provoz spalovny a navíc dodávají do sítě 13GWh. V roce 2000 byla stavba vyhlášena Stavbou roku 2000 za vytvoření objektu pro náročnou průmyslovou funkci. [34]



Obr. 16 : Pohled na spalovnu v Liberci.[20]

Technické parametry spalovny [36]:

- kapacita: 96 000 tun/rok komunálního odpadu
- tepelný výkon: 38,3 MW, 700 000 GJ/rok
- výkon turbíny: 3,5 MW + 1 MW
- dodávka elektřiny: 2 – 3 MW , 13 000 MWh/rok
- zbytky po spalování: 32 000 tun škváry
- zbytky po čištění spalin: 1 200 tun filtračního koláče
- 13 000 MWh/rok

Tab. 6 : Emise uvolněné do ovzduší v TERMIZO Liberec. [35]
(TOC: celkový organický uhlík, TZL: tuhé znečišťující látky)

Látka	Emise [t/rok]	Limit [t/rok]
SO_2	8,9	200
NO_2	131	400
HCI	0,12	60
TZL	0,01	30
TOC	0,58	20
CO	24	100

ZÁVĚR

Odpadní hospodářství by se mělo řídit zavedenou hierarchií, ale i při jejím dokonalém dodržovaní zůstane část komunálního odpadu, jež nebude moci být kompostována nebo recyklována. Částečným řešením může být právě energetické využití odpadů. EVO je nejen možností řešení problémů odpadního hospodářství, ale také problému s nedostatkem fosilních paliv využívaných pro výrobu elektrické energie a tepla. Samozřejmě odpad jako palivo nemá tak kvalitní energetické parametry jako například uhlí, ale na druhou stranu je ho na rozdíl od uhlí přebytek.

Likvidace odpadů v ZEVO má oproti jiným způsobům nakládání s odpadem množství výhod. Odpad je nejprve spalován při vysokých teplotách, čímž je minimalizován jeho objem a to až o 90 %. Tento proces je například oproti kompostování velmi rychlý a efektivní. Teplo uvolněné spalováním je využito pro výrobu páry, která je vedena do turbogenerátoru ke generování elektrické energie nebo jako zdroj tepla do obytných oblastí. Výroba tepla je hlavní výhodou spaloven odpadů. Palivo se nemusí kupovat, naopak za jeho zneškodnění je spalovna placena. To má příznivý efekt na cenu tepla v domácnostech, v jejichž rozvodné síti centrálních zdrojů tepla se takové zařízení nachází. Tím se i zmenšuje závislost na fosilních palivech, jejichž těžba (např. povrchová těžba hnědého uhlí) má často devastující vliv na životní prostředí. Spaliny prochází několika stupni čištění a díky tomu opouští spalovnu spaliny s minimálním obsahem emisních látek. Škvára zbylá po spalování je stabilní a sterilní materiál, z kterého lze extrahovat kovy a je také vhodná k využití ve stavebnictví.

Častý argument proti spalování odpadů představují emise vzniklé při tomto procesu. Ovšem tyto emise jsou díky čistícím technologiím minimální a emisní limity nastavené pro spalovací zařízení jsou mnohem přísnější než pro konvenční elektrárny a spalovny. Tyto limity jsou stále zpřísňovány a spalovny jsou pravidelně testovány na obsah emisí ve spalinách. Opravdovou nevýhodou je nákladnost a náročnost tohoto čištění. Technologie čištění spalin mohou dosáhnout až 50 % z celkových investičních nákladů. Navíc popílek zachycený na filtrech je většinou toxický, proto musí být uložen na speciální skládky. Část škváry, která nebude využita, musí být také skládkována. Kvůli nákladům na dopravení odpadu a zejména dostatečnému množství bezprostředních odběratelů tepla, je budováni ZEVO omezeno na lokality v blízkosti větších měst. Případné vedení tepla do vzdálenějších oblastí by se projevilo nezanedbatelnými ztrátami při přenosu. Pokud by spalovna neměla odběr tepla a teplo by pouze využívala ke generaci elektrické energie, nebyl by vzhledem k současným nízkým výkupním cenám elektrické energie její provoz příliš ekonomicky výhodný.

Zařízení pro energetické využití odpadu jsou v České republice zatím pouze tři a to ZEVO Malešice s kapacitou 310 000 t/rok odpadu, Termizo Liberec s kapacitou 96 000 t/rok odpadu a SAKO Brno s kapacitou 248 000 t/rok odpadu. Ty však zdaleka nestačí na kompletní pokrytí produkovaného komunálního odpadu. Proto je potřeba zlepšit jak technologické, tak i legislativní podmínky našeho odpadního hospodářství. EVO má řadu výhod i nevýhod, většina nevýhod je však svázána s lokalitou spalovny. Pokud by nové projekty vznikaly pouze v ekonomicky výhodných lokalitách, klady by jistě převážily negativa.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] Historie spalování. 2012. *SAKO* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/142/historie-spalovani/

[2] Recyklace. 2013. *Vítejte na Zemi* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=recyklace&site=odpady

[3] 1994. KURAŠ, Mečislav. Odpady, jejich využití a zneškodňování. Praha: VŠCHT, ISBN 80-85087-32-4.

[4] Jak je to s často opakovanými mýty okolo skládkování. 2013. *Odpadové fórum: odborný měsíčník o odpadech a druhotných surovinách* [online]. Praha: České ekologické manažerské centrum, (12) [cit. 2015-05-04]. ISBN 978-80-85990-18-8. ISSN 1212-7779. Dostupné z: http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/odpadove-forum-jak-je-to-s-casto-opakovanymi-myty-okolo-skladkovani.html

[5] 2003. VEJVODA, Josef. Technologie ochrany ovzduší a čištění odpadních plynů. Praha: VŠCHT, s. 50-60. ISBN 80-7080-517-x.

[6] Technologický proces. 2013. *SAKO* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/62/technologicky-proces/

[7] Jaké škodliviny vznikají pálením komunálního odpadu především plastů v domácích kamnech a kotlích? 2014. *STEP: síť ekologických poraden* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.ekoporadna.cz/wiki/doku.php?id=znecisteni:jake_skodliviny_vznikaji_palenim_komunalniho_odpadu_predevsim_plastu_v_domacich_kamnech_a_kotlich

[8] Ekologické limity. 2013. *SAKO* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/91/ekologicke-limity/

[9] Snižování tuhých emisí. 2007. *Skupina ČEZ* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.cez.cz/edee/content/file/static/encyklopedie/encyklopedie-energetiky/02/snizovani_5.html

[10] 1990. STRAKA, František. Metody likvidace a energetického využití odpadů. Vyd. 1. Praha: Ca Publ., ISBN 80-851-2207-3.

[11] Ohniště a kotel spalovny. 2015. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/proces/ohniste-a-kotel-spalovny

[12] Kde se u nás vyrábí energie z odpadu. 2015. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/vyroba-energie/zarizeni-evo-v-cr/kde-se-u-nas-vyrabi-energie-z-odpadu

[13] Spalovna - zařízení na energetické využívání komunálního odpadu. 2013. *SAKO* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/256/spalovna-zarizeni-na-energeticke-vyuzivani-komunalniho-odpadu/

[14] Odpady se v Brně zpracovávají ekologicky a energeticky. 2011. *All for power* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.allforpower.cz/clanek/odpady-se-v-brne-zpracovavaji-ekologicky-a-energeticky/

[15] O společnosti. 2013. *SAKO* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.sako.cz/stranka/cz/8/o-spolecnosti/

[16] Monitoring emisí. 2015. *Pražské služby* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/monitoring-emisi/

[17] Exkurze v ZEVO Malešice. 2014. *Střední průmyslová škola sdělovací techniky, Praha* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.panska.cz/exkurze-v-zevo-malesice

[18] Z odpadu vyrábíme elektrickou energii. 2010. *Pražské služby* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.psas.cz/index.cfm/aktualni-informace/prac5beske-sluc5beby-partnerem-farmac599skc3bdch-trhc5af-na-c5a1estce1/

[19] Zařízení na energetické využití odpadu - ZEVO. 2007. *Pražské služby* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/energeticke-vyuzivani-odpadc5af/

[20] Kellner prodává spalovnu odpadů v Liberci, kupuje ji sousední teplárna. 2011. *IDnes* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://liberec.idnes.cz/kellner-prodava-spalovnu-odpadu-v-liberci-kupuje-ji-sousedni-teplarna-1z2-/liberec-zpravy.aspx?c=A110701_1612825_liberec-zpravy_oks

[21] Růst spotřeby a počtu obyvatel. 2013. *Vítejte na Zemi* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=rust_spotreby_a_poctu_obyvatel&site=spotreba

[22] Jak to bylo s odpady? 1999. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/historie/jak-to-bylo-kdysi-s-odpady

[23] 19. století - mezník pro odpady. 1999. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/historie/19-stoleti-meznik-pro-odpady

[24] První spalovna odpadů byla v Brně. 1999. *Odpad je energie* [online]. [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/historie/prvni-spalovna-odpadu-byla-v-brne

[25] 2012. FIEDOR, Jiří. Odpadové hospodářství I. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, s. 7-8. ISBN 978-80-248-2573-1.

[26] GANFER, Natali. *RECOVERING ENERGY FROM WASTE*. 2011. PhD Thesis. Columbia University.

[27] KHAN, Abdul Samad. *Feasibility of waste-to-energy recovery technoligies in Lahore, Pakistan*. 2011.

[28] Waste minimisation. 2001-. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation [cit. 2015-05-04]. Dostupné z: http://en.wikipedia.org/wiki/Waste_minimisation

[29] KIZLINK, Juraj. 2007. *Nakládání s odpady*. Vyd. 1. Brno: VUT FCH, 283 s. ISBN 978-80-214-3348-9.

[30] Skládkovaní. 2012. *Vítejte na Zemi* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=skladkovani&site=odpady

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

[32] MSEK: Systém pro čištění spalin při spalování biomasy. 2014. *InfoPortály.cz* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://infoportaly.cz/pr-clanky/17187-msek-system-pro-cisteni-spalin-pri-spalovani-biomasy-

[33] BÉBAR, L., PUCHÝŘ, R.: Dioxiny a technologie pro jejich odstraňování. Skalský Dvůr, 2003, 16 s.

[34] Základní informace. 2014. *Termizo* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.termizo.mvv.cz/o-spolecnosti/zakladni-informace/

[35] Výroční zprávy. 2014. *Termizo* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.termizo.mvv.cz/o-spolecnosti/vyrocni-zpravy/

[36] Základní technické informace. 2014. *Termizo* [online]. [cit. 2015-05-09]. Dostupné z: http://www.termizo.mvv.cz/technologie/zakladni-technicke-informace/

[37] Jak to chodí ve spalovně odpadů? *KIC odpady* [online]. 2003 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.kic-odpady.cz/jak-to-chodi.html

[38] Odlučování popílku. *Aireko* [online]. 2010 [cit. 2015-05-25]. Dostupné z: http://www.aireko.cz/sluz_odluc.php

[39] Úvod. *Prevence vzniku odpadů* [online]. 2015 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://pvo.arnika.org/

[40] *Český statistický úřad* [online]. 2012 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: https://www.czso.cz/

[41] Odstranění prašných částic. *Vítej na Zemi* [online]. 2010 [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=odstraneni_prasnych_castic&site=energie

[42] Energetické využití odpadů. *Vítejte na Zemi* [online]. 2011 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=energeticke_vyuziti_odpadu&site=odpady

[43] Směrnice o skládkách odpadu. *Odpad je energie* [online]. 2000 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: http://www.odpadjeenergie.cz/legislativa/smernice-o-skladkach-odpadu-31-99-es

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Jednotka	Popis
EU	[-]	Evropská unie
EVO	[-]	Energetické využití odpadů
KO	[-]	Komunální odpad
TOC	[-]	Celkový organický uhlík
TZL	[-]	Tuhé znečišťující látky
ZEVO	[-]	Zařízení na energetické využití odpadů