



Agronomická fakulta

3. června 2015, Brno

Připravil: Ing. Petr Trávníček, Ph.D.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

TECHNIKA PRO ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ

(8)

Spalovny odpadů

Mendelova
univerzita
v Brně

- Inovace studijních programů AF a ZF MENDELU
- směřující k vytvoření mezioborové integrace
- CZ.1.07/2.2.00/28.0302



Cíle

- Poskytnout základní a ucelený pohled na problematiku spalování komunálních a nebezpečných odpadů.

Klíčová slova

- Komunální odpad, nebezpečný odpad, technologie

1. Úvod

V současné době je termické zpracování odpadů a jeho následné energetické využití v mnoha vyspělých státech nezastupitelné v systému odpadového hospodářství.

Termicky se zpracovávají následující odpady:

- Komunální odpady
- nebezpečné odpady
- plynné a kapalné odpady
- kaly.

2. Komunální odpady

Energetické využití komunálních odpadů je nedílnou součástí odpadového hospodářství mnoha zemí. Řada průmyslově vyspělých zemí technologie pro energetické využití odpadů s úspěchem využívá již desítky let. Mezi tyto země patří i Česká republika (ČR). První spalovna komunálního odpadu na území tehdejší Rakousko-Uherské monarchie vznikla totiž právě v Brně a byla postavena roku 1905. Nyní se na území České republiky nacházejí celkem tři moderní spalovny komunálního odpadu a to v Brně, Liberci a Praze, a více jak třicet spaloven nebezpečného odpadu.

2. Komunální odpady

Produkce komunálního odpadu (KO) nejen v Evropě, ale i v celém světě neustále roste, přičemž tato produkce úzce souvisí s rostoucí kupní silou obyvatel dané země. V současné době je termické zpracování odpadů a jeho následné energetické využití v mnoha vyspělých státech nezastupitelné v systému odpadového hospodářství.

Termicky se zpracovávají následující odpady:

- Komunální odpady
- nebezpečné odpady
- plynné a kapalné odpady
- kaly.

2. Komunální odpady

V následující tabulce je uveden způsob nakládání s KO ve vybraných zemích EU za rok 2008. Z uvedených čísel je patrné, že energetické využívání KO hraje v zemích EU výraznou roli. Zajímavé je také porovnat míru recyklace a energetického využití v některých zemích, např. Švédsko, Dánsko nebo Německo. Tyto země energeticky využívají velkou část své produkce KO, ale zároveň míra recyklace v těchto zemích je jedna z nejvyšších v celé Evropské unii (EU). Což je v rozporu s tvrzením některých organizací, že energetické využívání odpadů nepříznivě ovlivňuje jejich recyklaci.

Země	Produkce KO v kg na 1 obyvatele	Způsob nakládání s odpadem v %			
		Skládkování	Energeticky využito	Recyklace	Kompostování
EU	524	40	20	23	17
ČR	306	83	13	2	2
Dánsko	802	4	54	24	18
Německo	581	1	35	48	17
Slovensko	328	83	10	3	5
Francie	543	36	32	18	15
Švédsko	515	3	49	35	13
Irsko	733	62	3	32	3

*Nakládání s odpady ve vybraných zemích EU za rok
2008 podle Eurostat*

2. Komunální odpady

Zajímavá je i výhřevnost komunálního odpadu, která se pohybuje přibližně kolem 10 až 11 MJ·kg⁻¹. Výhřevnost KO je tedy obdobná jako výhřevnost méně kvalitního hnědého uhlí, kde se tato hodnota pohybuje kolem 10 MJ·kg⁻¹. Hodnotu výhřevnosti KO ovšem silně ovlivňuje skladba. Komunální odpad je heterogenní směs různých materiálů, o různé vlhkosti a tím také různé výhřevnosti.

2. Komunální odpady

Komunální odpad se skládá z těchto složek:

- Biologicky rozložitelný komunální odpad (40 – 65 %hm),
- plasty (12 – 20 %hm),
- inertní odpady (1 – 5 %hm),
- kovy (1 – 5 %hm),
- sklo (3 – 7 %hm),
- nebezpečný odpad (0,2 – 1 %hm).

2. Komunální odpady

Příčemž biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) se skládá z materiálu jako například dřevo, textil, papír či kompostovatelný odpad (např. odpady z kuchyně, zbytky zeleniny apod.). Energeticky nejvýhodnější složkou je plastový odpad, což je směs různých polymerů. Výhřevnost jednotlivých polymerů se pohybuje od přibližně $25 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ u polyethylentereftalátu (PET) až do $44 \text{ MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ u polyethylenu (PE) a polypropylenu (PP). Naproti tomu energeticky nejméně výhodnou složkou jsou biologické odpady, kde díky vysoké vlhkosti může být energetická bilance i záporná. Výhřevnost komunálního odpadu tedy v převážné míře závisí na poměru těchto dvou složek.

2. Komunální odpady

Česká republika se přijetím směrnice č.1999/31/ES stejně jako ostatní země EU zavázala k tomu, že množství BRKO, který se ukládá na skládky, bude od roku 1995 postupně snižovat. Výsledkem má být do roku 2020 snížit množství BRKO na skládkách o 65 % oproti roku 1995. Situace je ale přesně opačná a v ČR se toto množství neustále zvyšuje. Existuje několik cest k naplnění tohoto cíle:

- *Primárně omezit vznik BRKO u producentů pomocí osvětových kampaní,*
- *třídění a recyklace s využitím kompostování,*
- *energetické využití KO.*

2. Komunální odpady

První cesta osloví jen úzký okruh lidí a tím i dopad na množství BRKO v komunálním odpadu bude zanedbatelný. Pomocí druhé cesty se vytrídí jen část BRKO a to kompostovatelné odpady. Navíc výsledky třídění jsou v některých typech zástaveb diskutabilní, jedná se především o sídlištní zástavby. Zde dochází k vyššímu podílu nečistot ve sběrných nádobách a tím i k následné komplikaci při zpracování tohoto odpadu. Třetí cesta řeší problematiku BRKO komplexně, ale je nutné podotknout, že touto cestou se „ztrácí“ organický uhlík, který je důležitý pro půdní ekosystém. Aby tedy došlo k redukci BRKO ukládaného na skládky s co nejmenšími environmentálním dopadem, je nutné tyto tři cesty kombinovat.

2. Komunální odpady

- Jako každá technologie pro zpracování či využití odpadů mají ale technologie pro energetické využití KO své výhody a nevýhody.
- *Mezi výhody řadíme:*
 - Radikální zmenšení hmotnostního podílu odpadu (cca o 70 %),
 - radikální zmenšení objemového podílu odpadu (cca o 90 %),
 - využití energetického potenciálu odpadu.
- *Mezi nevýhody potom řadíme:*
 - Oproti jiným technologiím vysoké investiční i provozní náklady,
 - pro řízení technologického procesu je nezbytná kvalifikovaná obsluha,
 - emise některých škodlivých plynů jsou obtížně odstranitelné.

3. Proces spalování

Spalování komunálního odpadu má oproti spalování ostatních paliv svá specifika. Průběh spalování komunálního odpadu je ale podobný jako u spalování tuhých paliv a lze jej tedy rozdělit do třech fází: vysušování, uvolnění a hoření prchavé hořlaviny, hoření uhlíku. Rozdíl ve spalovacím procesu KO oproti ostatním tuhým palivům (dřevo, uhlí atd.) je právě v heterogenitě KO. Při spalování konvenčních paliv jsou totiž fyzikální vlastnosti, jako je výhřevnost, tvar a velikost, teplota vznícení velmi podobné. Jinak tomu ale je u komunálního odpadu, kde se tyto vlastnosti mohou u jednotlivých složek velmi lišit.

3. Proces spalování

Pro spalování komunálního odpadu se nejvíce využívá spalovacích zařízení s roštem. Typy roštů mohou být následující:

- Pevné rovinné rošty s nehybnou vrstvou paliva
- Pohyblivé rošty s trvalým přemísťováním paliva

Pevné rovinné rošty jsou převážně určeny pro spalovací zařízení o malém výkonu (a to zejména z finančních důvodů). Zařízení pro energetické využití komunálních odpadů však mají výkony v řádek jednotek až desítek megawatt.

3. Proces spalování

V těchto zařízeních se již instalují pohyblivé rošty, které zajišťují trvalé přemísťování paliva. Pohyblivé rošty se dají rozdělit na:

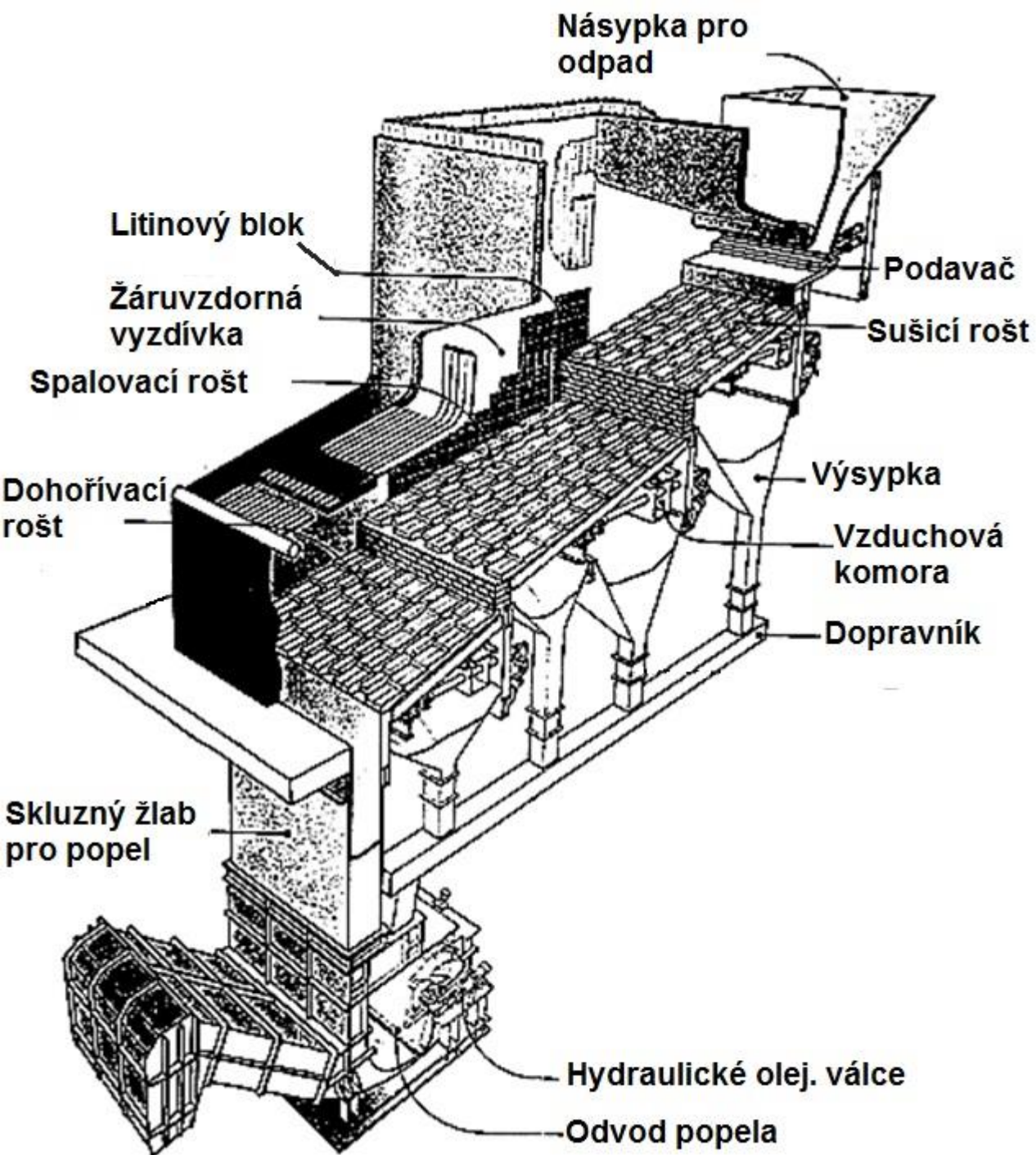
- Pásové rošty
- Posuvné rošty
- Válcové rošty

Pásové rošty se skládají z roštnic, které vytvářejí nekonečný pás (podobně jako u pásových dopravníků). Tento pás je unášen pomocí tažných řetězů a hnacího zařízení. Výhodou tohoto typu roštu je jeho jednoduchost, nevýhodou potom je, že při procesu spalování nedochází k promíchávání paliva, čímž je zapříčiněno nedokonalé prohoření paliva. Pro spalování komunálního odpadu tedy nejsou příliš vhodné.

3. Proces spalování

Posuvné rošty (nebo-li vratisuvné) jsou složeny z roštnic, jejichž plocha částečně překrývá plochu roštnice, která je umístěna pod ní. Při procesu spalování dochází k postupnému zasouvání a vysouvání roštnic, čímž dochází nejen k posunu paliva, ale také k jeho promíchávání. Tento typ roštu se v drtivé většině používá u moderních typů spaloven (SAKO Brno, TERMIZO Liberec).

Válcový rošt je tvořen několika válci, které jsou řazeny sestupně. Na válcích jsou umístěny roštnice. Během procesu spalování dochází k otáčení válcových roštů (cca 1 až 12 otáček za minutu). Odpad je nejdříve vložen na nejvýše položený válec. Jak se válce pohybují, odpad postupně přepadává na válec, který je umístěn níže. Tím opět dochází k promíchávání odpadů a tím jeho lepšímu prohoření. Válcový rošt (typ Düsseldorf) je umístěn v současné době například v zařízení na energetické využití komunálního odpadu v Praze – Malešicích



Příklad spalovacího zařízení pro komunální odpad od japonského výrobce Takuma

4. Proces čištění spalin

Po spálení komunálního odpadu zbude v prostorách spalovacího zařízení popel a škvára, která je následně odváděna. Tyto vedlejší produkty jsou buď skládkovány, nebo je z nich vyráběné umělé kamenivo pro stavební účely. Polétavý popílek, který je unášen společně s proudem spalin, je poté zachycen a následně solidifikován (o procesu solidifikace viz níže). Spaliny jsou potom čištěny a dál odváděny do komína. Proces čištění spalin ze spalování komunálního odpadu je ale velmi komplikovaný. Tyto spaliny obsahují především dusík (N_2), kyslík (O_2), oxid uhličitý (CO_2) a vodní páru (H_2O). Dále do plynné fáze přecházejí plyny kyselého charakteru jako je například chlorovodík (HCl), fluorovodík (HF), oxid siřičitý (SO_2) a oxid sírový (SO_3).

4. Proces čištění spalin

Tvoří se ale i látky, které mají velmi negativní vliv na lidský organismus a to jsou chlorované uhlovodíky. Jedná se především o polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), polychlorované dibenzodioxiny (PCDD), polychlorované dibenzofurany (PCDF) a polychlorované bifenyly (PCB). Aby byly nebezpečné plyny ze spalin odstraněny, je nutné vybudovat v zařízení pro spalování odpadu systém čištění spalin. Tento systém se dá v zásadě rozdělit podle skupenství chemických reagentů, které se v daném systému využívají. Jedná se o tyto metody:

- Suché metody
- Polosuché metody
- Mokrý metody

4. Proces čištění spalin

U suché metody se používá sorbent v suchém stavu v podobě jemně rozemletého prášku. Jeho hlavní složkou je hydroxid vápenatý, který při rozptýlu ve spalinách reaguje s kyselými složkami spalin. Využívá se také hydrogenuhličitan sodný. Chemické reakce jsou potom následovné:

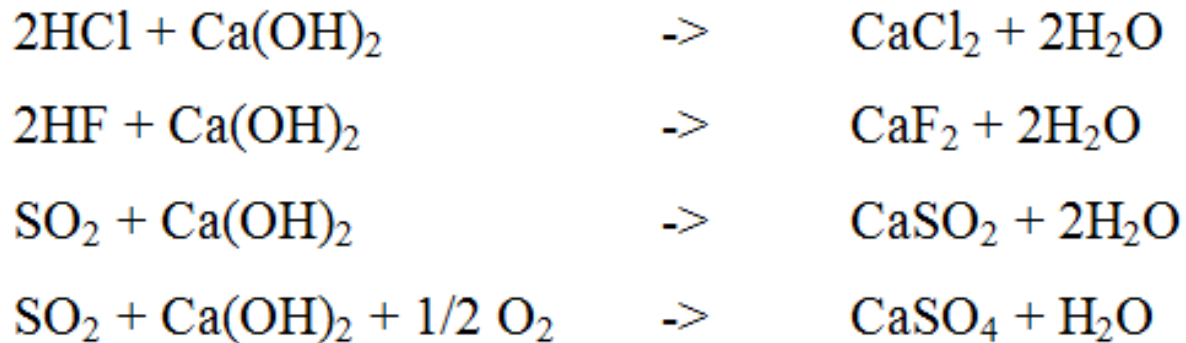


4. Proces čištění spalin

V průběhu procesu je jemný prach rozptylován do proudu spalin a to v přibližném přebytku sorbentu 1,2 až 1,4. Zreagovaný sorbent je potom zachytáván na látkovém filtru. Odpadní produkt, který je následně z těchto filtrů sejmut je nutné solidifikovat a uložit na skládku nebezpečného odpadu. Výhodou tohoto postupu je jeho jednoduchost a tím i nízké pořizovací náklady. Nevýhodou je potom poměrně nízká účinnost a také velká produkce nebezpečného odpadu.

4. Proces čištění spalin

Polosuchá metoda čištění spalin je založena na principu, kdy sorpční činidlo, jenž je rozmíchané ve vodě, je vstříkováno do proudu spalin. Jako sorpční činidlo se nejčastěji využívá podobně jako u suché metody hydroxid vápenatý případně látky na podobné bázi. Při vstříkování rozmíchaného hydroxidu vápenatého ve vodě mohou vznikat následující chemické reakce:



4. Proces čištění spalin

Pro reakci se volí teplota od 120 °C do 160 °C. Výsledným produktem je zachycený prášek, který je následně deponován. Jelikož prášek je alkalický a má schopnost těžké kovy vázat, je vyluhování těchto kovů obtížné. Výhodou tohoto procesu je zvýšená účinnost oproti suché metodě. Nevýhodou jsou potom zvýšené investiční, ale i provozní náklady.

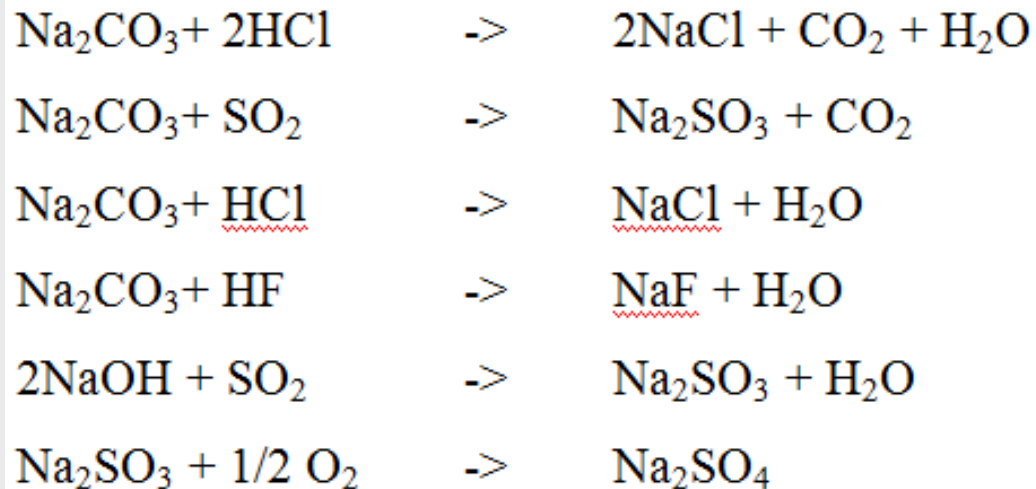
Poslední metodou je mokrý postup. Zde je pro účel odstraňování škodlivých látek využíváno fyzikálně-chemických procesů. Konkrétně se potom jedná o absorpci a chemisorpci. Výhodou je, že pomocí mokrého postupu se zajistí za prvé odloučení prachu, který je obsažen ve spalinách, ale zároveň i ostatních škodlivin.

4. Proces čištění spalin

Principem metody je rozptylování kapalného sorpčního činidla do proudících spalin. Tím však dochází k prudkému ochlazení spalin, což má za následek kondenzaci par a částice prachu se tím tak dostávají do styku s mnohem většími částicemi vody. Prach ulpívá na těchto částicích (kapkách) a současně s nimi je pak odlučován. Během tohoto procesu potom zároveň dochází také k absorpci a chemickým reakcím mezi plynnými škodlivinami a vzniklým roztokem. Jako sorpční činidlo se nejčastěji používají látky na bázi různých louhů, sody nebo vápenného mléka.

4. Proces čištění spalin

V průběhu rozptylu činidla do proudu spalin dochází k těmto chemickým reakcím:



4. Proces čištění spalin

Proces čištění spalin pomocí mokré metody se dělí do několika stupňů.

V prvním stupni dojde ke snížení na pH 2 až 3. V tomto prvním stupni dochází k odloučení prachu, halogenidů (HCl a HF) a těžkých kovů. V dalším stupni se pomocí zásaditých roztoků (louh sodný, vápenné mléko) pH zvýší na 6 až 7. Zde dochází k odloučení převážně kyselých plynů (zejména SO_2). V případě, že vstupní koncentrace škodlivin jsou velmi vysoké, zařazuje se i 3. stupeň, tzv. dočišťující. Odpadní produkty z čištění se musí dále zpracovávat. Mokrý metoda patří mezi metody neúčinnější, avšak také mezi finančně nejnáročnější.

4. Proces čištění spalin

Ve spalovnách komunálních odpadů jsou však spalovány i materiály, které obsahují chlor. Jedná se především o polymer s názvem polyvinylchlorid (PVC). Při spalování těchto látek vznikají plyny, které jsou velmi toxické, přičemž mezi nejvíce diskutované toxické plyny patří již zmíněné PCDD a PCDF (souhrnný název „dioxiny“). U těchto plynů sice dochází při vysokých teplotách (které jsou běžně dosahovány ve spalovenských kotlích) k rozpadu, nicméně při snížení teploty spalin dochází k opětovné rekombinaci. Proto je nutné těmto plynům při čištění spalin věnovat zvláštní pozornost.

4. Proces čištění spalin

- V procesu čištění spalin se využívají následující technologie pro odstraňování dioxinů:
 - Adsorpční metody
 - Selektivní katalytická oxidace dioxinů
 - Katalytická filtrace a další
- U adsorpčních metod se využívá sorbentů s velkým vnitřním povrchem. Typickým zástupcem je například aktivní uhlí. Selektivní katalytická oxidace dioxinů je v převážné míře spojena i se selektivní katalytickou redukcí oxidů dusíku (NO_x). Tato metoda pracuje na principu vstřikování roztoku amoniaku (NH_3) do proudu spalin v teplotním rozmezí přibližně $250\text{ }^\circ\text{C}$ až $350\text{ }^\circ\text{C}$, kde dochází ke snížení koncentrace NO_x až o 90 %. Aby došlo i k oxidační reakci dioxinů (případně furanů) je nutná přítomnost katalyzátoru. Nejčastěji využívaný katalyzátor je oxid titaničitý (TiO_2).

4. Proces čištění spalin

Další metodou je katalytická filtrace spalin, která je například realizována v zařízení pro energetické využití komunálního odpadu TERMIZO Liberec. Zde je využito speciálního filtračního materiálu, který zachytává jednak tuhé znečišťující látky (TZL) a v němž zároveň dochází ke katalytické oxidaci dioxinů. Katalyzátor (převážně vzácné kovy) je v tomto případě nanesen přímo na materiál, ze kterého je vyroben základ filtrační tkaniny (např. expandovaný polytetrafluorethylen). Na povrchu filtračního rukávce je ještě potom membrána, která má za úkol odstraňovat TZL.

4. Proces čištění spalin

Existují však i jiné metody, které jsou zaměřeny primárně pro odlučování TZL. Jedná se o tyto zařízení:

- Mechanické odlučovače suché/mokrý (cyklony)
- Elektrické odlučovače
- Filtry látkové a keramické

Mechanické odlučovače se v případě spalování KO pro svoji nízkou účinnost běžně nepoužívají. Velmi účinné jsou však elektrické odlučovače. Tato metoda funguje na principu odlučování TZL pomocí přitažlivých sil mezi nabitými částicemi a opačně nabitou sběrací elektrodou. Účinnost zde dosahuje více než 99 %.

5. Zpracování produktů po spalování

Ve škváře, strusce nebo popelu, který je odvod ze spalovacího prostoru, je obsažen určitý podíl železných kovů. Tyto kovy jsou magneticky separovány. Následně je materiál skládkován nebo je podroben certifikaci a následně využíván pro stavební účely jako umělé kamenivo. Tuhé znečišťující látky, které se nacházejí v proudu spalin a jsou následně zachytávány, obsahují nebezpečné látky. Z tohoto důvodu je polétavý prach solidifikován. Pro solidifikaci jsou využívány následující metody:

- Cementace
- Bitumenace
- Vitrifikace

5. Zpracování produktů po spalování

Při cementaci je odpadní popílek obsahující nebezpečné látky smíchán se speciálním cementem a vodou. Tato směs je poté na skládky ukládána ve formě cementové „kaše“ nebo jsou z tohoto materiálu odlévány cementované bloky, které jsou deponovány až po vytvrnutí.

Bitumenace spočívá v zatavení odpadu do bitumenu (živice). Tento odpad je poté plněn do sudů či kontejnerů a následně deponován.

Vitrifikace je metoda, která je určena pro odloučené popílký, které mají vysoký obsah toxických látek a vysoký obsah těžkých kovů. Při této metodě dochází nejdříve k roztavení popílků (teplota přibližně 1 500 °C) a následnému vzniku skelného kmene. Tento produkt je velmi těžko vyluhovatelný a za splněných podmínek lze tento odpad ukládat na skládky typu O-O.

6. Nebezpečné odpady

Nebezpečné odpady vznikají v mnoha průmyslových odvětvích a jejich energetické využití bývá často jedinou možností, jak tyto látky účinně převést do formy, která již nebude pro životní prostředí nebezpečná a nebo její nebezpečnost bude radikálně snížena. Nebezpečný odpad může pocházet z různých odvětví lidské činnosti:

- chemický průmysl
- zdravotnictví
- průmysl zpracování ropy
- výroba plastů
- farmaceutický průmysl
- a další.

6. Nebezpečné odpady

Pro spalování nebezpečných odpadů lze využít několika způsobů a technologií. Pozornost bude věnována následujícím technologiím:

- rotační pece
- muflové pece
- etážové pece
- spalování ve fluidním loži
- termální desorpce
- spalování v plazmovém oblouku

6. Nebezpečné odpady

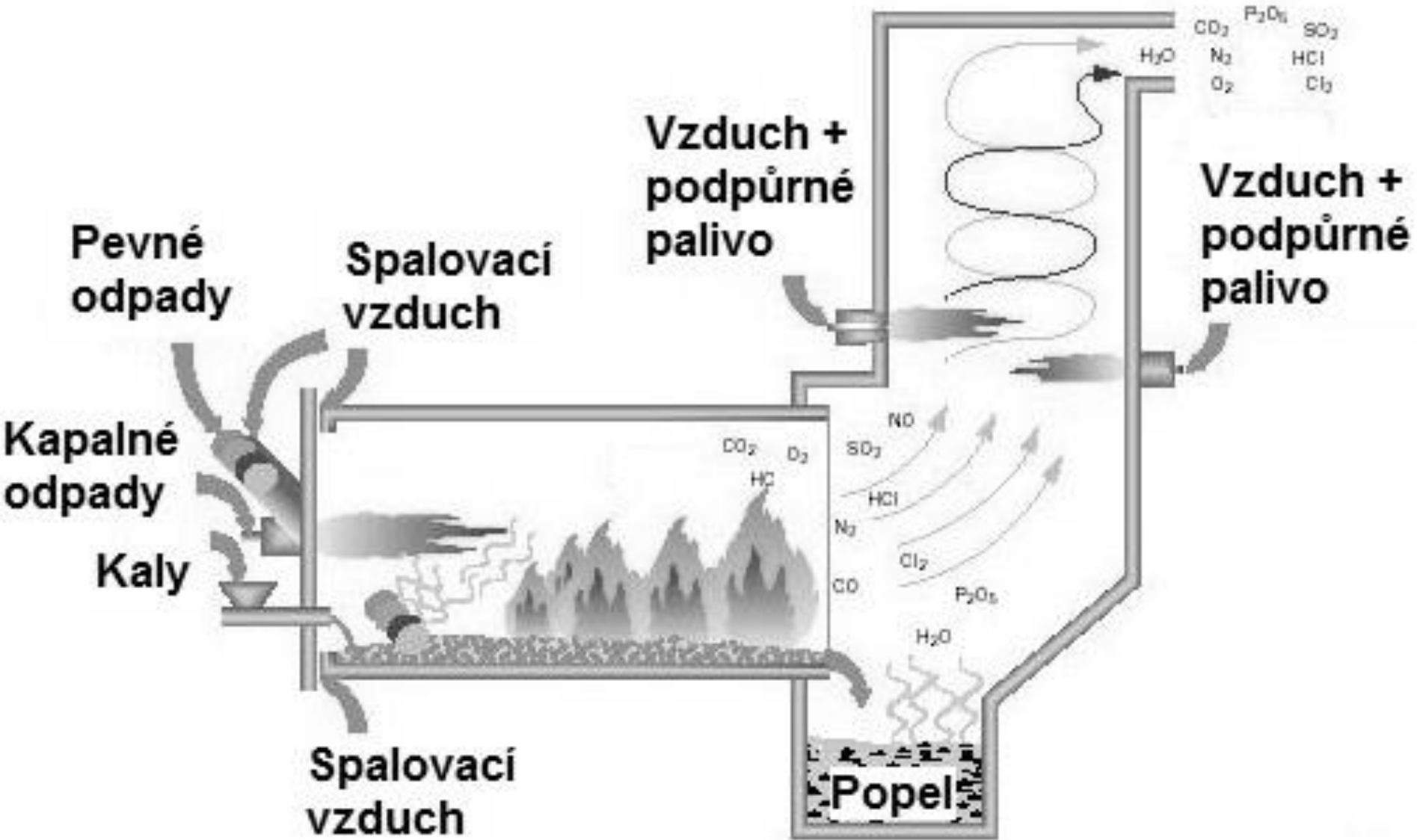
6.1 Rotační pece

Tato technologie je nejčastěji používanou technologií pro spalování nebezpečných odpadů. Rotační pec je válcového tvaru o přibližné délce 10 až 12 m a o průměru přibližně 4 m. Válec je také pro lepší posun materiálu mírně nakloněn. Úhel naklonění bývá přibližně 3 °. Dávkování odpadu probíhá čelem zařízení. Při provozních teplotách okolo 1000 °C bývá vnitřek rotační pece vyzděn šamotovými cihlami. V případě spalování mimořádně nebezpečných látek, jako například chlorovaných aromatických uhlovodíků, se operační teplota pohybuje okolo 1300 °C. V tomto případě vyzdívku tvoří přibližně z 60 až 70 % cihly na bázi oxidu hlinitého. Tento materiál má vysokou žáruvzdornost a je také odolný vůči alkalickým tavidlům a vlivu oxidů železa.

6. Nebezpečné odpady

6.1 Rotační pece

V případě vyšších teplot (1480 – 1600 °C) se pro vyzdívání spalovacího prostoru musí použít pevný roztok oxidu chromitého a oxidu hlinitého. Doba zdržení materiálu v peci závisí na typu spalovaného materiálu. Obvyklá doba zdržení materiálu v peci je až několik hodin. Na následujícím obrázku je zobrazena rotační pec s dopalovací komorou.



Rotační pec

6. Nebezpečné odpady

6.2 Muflové pece

Muflové pece jsou pece bezroštové. Uvnitř zařízení je umístěna vana nebo keramická podložka na níž je umístován nebezpečný odpad. Odpad se do zařízení ukládá vrchním plnicím otvorem a nebo boční vstupní šachtou. Ve spalovacím prostoru je umístěn hořák, který může mimo spalování pevných odpadů sloužit také pro spalování kapalných odpadů. Spaliny, které vzniknou spálením odpadu dále proudí do dohořivací komory, kde jsou zbylé neshořelé částice spáleny. Do dohořivací komory je pro tento účel zaveden i přívod sekundárního vzduchu. Zařízení pracuje periodicky.

6. Nebezpečné odpady

6.2 Muflové pece

Do pece je nejdříve zavezen materiál, který je poté pomocí stabilizačního hořáku zahřát na potřebnou teplotu. Po ukončení spalování je zbylý popel a škvára odstraněna a pec připravena pro spalování další vsázky materiálu. Tento typ pece se často používá pro spalování zdravotnických odpadů, rozpouštědel, zbytků z výroby barev a laků.

6. Nebezpečné odpady

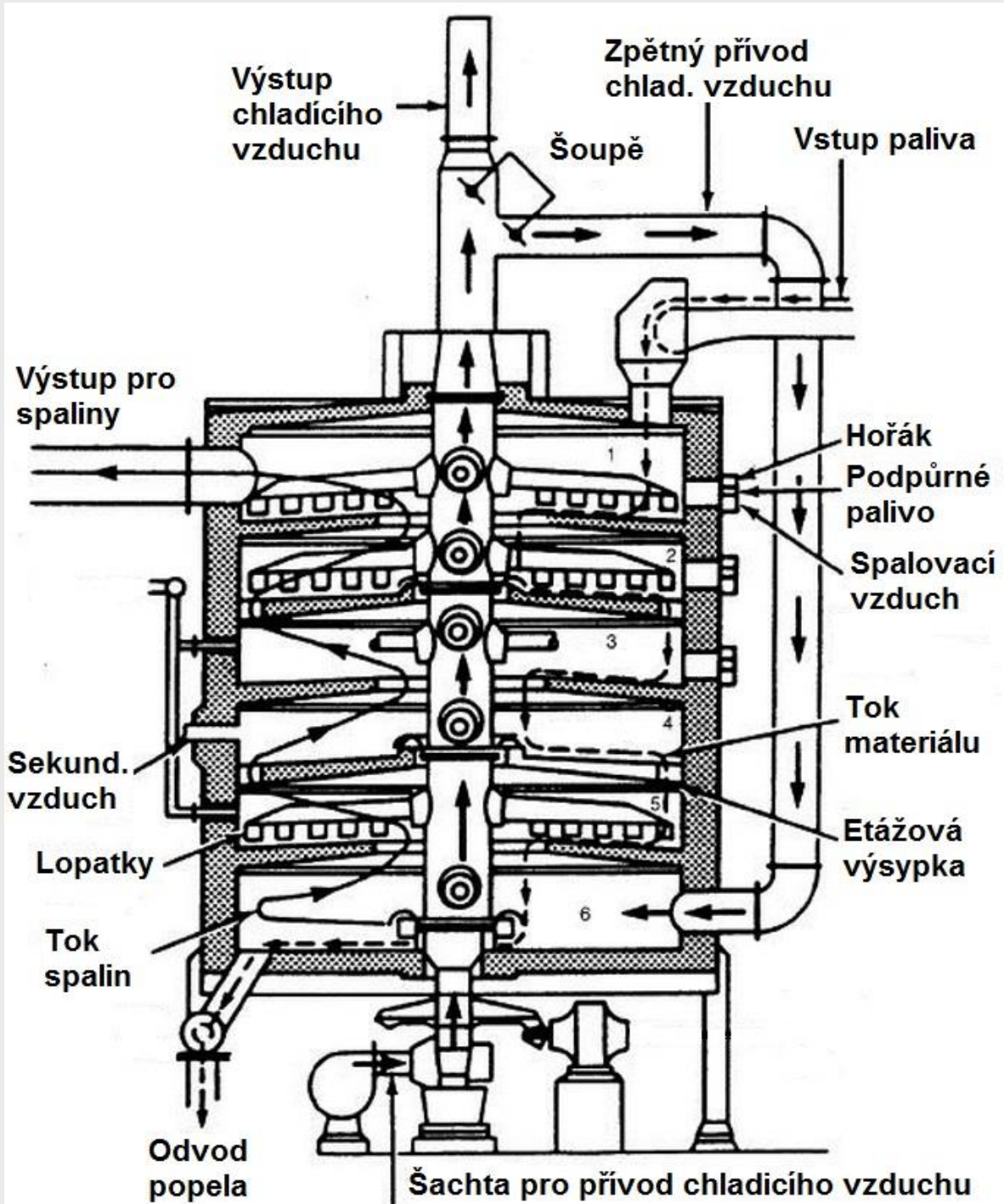
6.2 Etážové pece

V angličtině je tato technologie nazývána Multiple Hearth Furnace (MHF) a využívá se i pro jiné aplikace než spalování nebezpečných odpadů, jedná se například o pražení biomasy nebo uhlí. Na rozdíl od této aplikace však teplota horkého vzduchu, který pecí prostupuje směrem vzhůru je až 900 °C. Jedná se o pec válcového tvaru, která je rozdělena do jednotlivých etáží. Pec je opatřena žáruvzdornou vyzdívkou a osou pece je vedena ocelová, chlazená hřídel. Hřídel je opatřena lopatkami, které zasahují do jednotlivých etáží.

6. Nebezpečné odpady

6.2 Etážové pece

Odpad, který je dávkovaný z horní části pece je tak pomocí těchto lopatek posunován směrem k výsypce, kde materiál propadne do další etáže. Proti toku odpadu proudí spaliny ze spalovací části pece. V důsledku výše uvedeného je zajištěna relativně dlouhá doba zdržení odpadu. Z tohoto důvodu je tento způsob spalování vhodný pro materiál o vysoké vlhkosti (například kaly). Nákres etážové pece pro spalování kalu je uvedena na následujícím obrázku.



6. Nebezpečné odpady

6.3 Spalování ve fluidním loži

Fluidizace je obecně děj, v němž je soubor pevných látek udržován ve fluidní vrstvě ve vznosu proudem tekutiny. Fluidní vrstva tvoří disperzní systém, který se vytváří průtokem plynu vrstvou částic nasypaných pod pórovité dno – tzv. fluidní rošt. Náplň fluidní vrstvy tvoří palivo (odpad) aditivum pro stabilitu fluidní vrstvy (inertní materiál – např. písek).

Vznik a základní vlastnosti fluidní vrstvy jsou následující: Při ustáleném toku tekutiny svislou nádobou směrem vzhůru, ve které jsou na vodorovné pórovité přepážce uloženy částice, jejichž měrná hmotnost je větší než měrná hmotnost tekutiny, je možno docílit několika stavů směsi. Tyto stavy jsou závislé na rychlosti toku tekutiny, složení částic pevné fáze, tvaru a měrné hmotnosti částic, tvaru a velikosti nádoby, velikost a typu pórovité přepážky (fluidního roštu), fyzikálních vlastnostech tekutiny a dalších činitelích.

6. Nebezpečné odpady

6.3 Spalování ve fluidním loži

Při zvětšování rychlosti tekutiny roste i tlaková ztráta tekutiny ve vrstvě a při určité rychlosti tekutiny vyrovnává sílu, kterou působí na vrstvu zemská přitažlivost. Tento stav se nazývá práh fluidizace a příslušná rychlost tekutiny ve volném průřezu nádoby bez částic prahová rychlost fluidizace. Částice tuhé fáze se vznášejí v tekutině a navzájem se promíchávají. Fluidizovaný materiál teče, udržuje víceméně zřetelnou hladinu a má hydrostatický tlak. Objem fluidní vrstvy při prahu fluidizace je větší než objem nehybné vrstvy.

6. Nebezpečné odpady

6.3 Spalování ve fluidním loži

Výhodou fluidního spalování je vysoká účinnost tohoto druhu spalování naopak nevýhodou je náročnost na granulometrii paliva. Z tohoto hlediska se tímto způsobem dají spalovat jen ty druhy nebezpečných odpadů, u kterých lze zajistit konstantní velikost pevných částic, což například u komunálních odpadů, jejichž složení je velmi různorodé, nelze zajistit. Z tohoto důvodu jsou tedy spíše preferovány jednodruhové odpady, které se spíše vyskytují v oblasti průmyslu než v komunální sféře.

Existují dva základní typy kotlů pro *fluidní spalování*:

- *Atmosférické fluidní kotle se stacionární bublinkující vrstvou (AFB)*
- *Atmosférické fluidní kotle s cirkulující fluidní vrstvou (CFB)*

6. Nebezpečné odpady

6.3 Spalování ve fluidním loži

Pro účely spalování nebezpečného odpadu se převážně využívají technologie spalování s cirkulující fluidní vrstvou. Tyto technologie se zavádí poprvé v 70. letech 20. století, nejdříve pro účely spalování uhlí, avšak v poslední době čím dál častěji pro účely spalování nebezpečných odpadů.

Principem kotlů s cirkulující fluidní vrstvou je cirkulace částic fluidní vrstvy (paliva i aditiva) mezi spalovací komorou a cyklonem, ze kterého jsou vráceny zpět do fluidního ohniště. Společným znakem těchto kotlů je prostup všech spalin z ohniště přes cyklony.

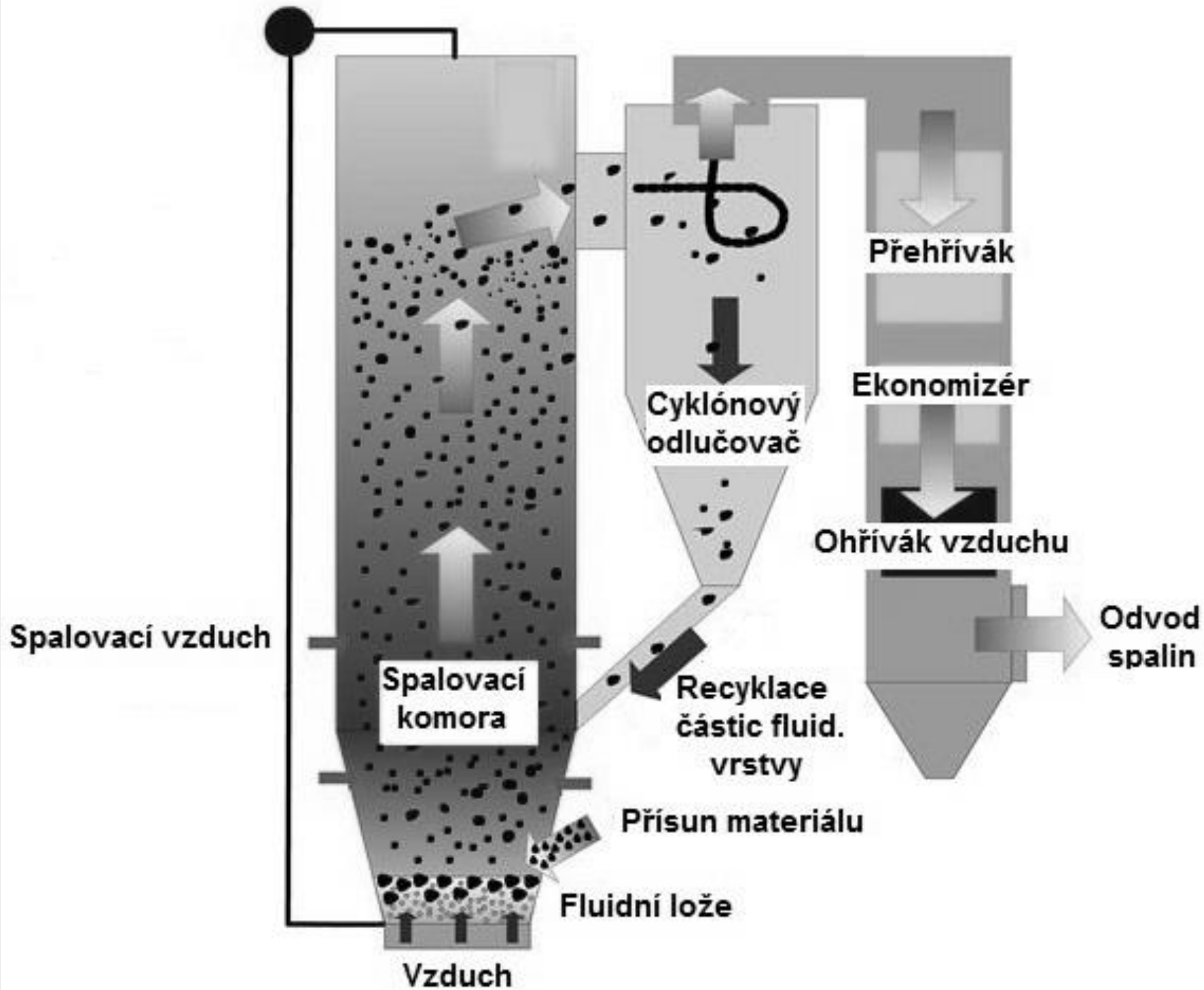
6. Nebezpečné odpady

6.3 Spalování ve fluidním loži

Výhodou je delší pobyt částic ve spalovacím prostoru, který vede k lepšímu vyhoření částic (snížení ztráty mechanickým nedopalem). Tyto kotle se staví pro vyšší výkony než kotle s bublinkující (výkony 50–700 MWt).

Na rozdíl od kotlů AFB není u těchto kotlů zřetelná hladina fluidní vrstvy, která expanduje do prostoru ohniště. V důsledku cirkulace přes sifon se pevné částice vrací zpět do ohniště. Uvádí se, že průměrně velká částice paliva cirkuluje 10–15× než dojde k jejímu vyhoření.

Zjednodušené schéma systému CFB je uvedeno na následujícím obrázku.



6. Nebezpečné odpady

6.4 Termální desorpce

Technologie termální desorpce byla vyvinuta pro účely dekontaminace půd, sedimentů a kalů. Využití této technologie je často spojena s požadavkem dekontaminace území v oblastech, kde se nacházejí rafinerie, zařízení na zplyňování uhlí, centrální střediska vozové techniky (například pro armádní vozidla), a další zařízení, kde dochází ke skladování ropných produktů, nakládání s odpady apod.

Technologií termální desorpce dochází k odstranění těkavých látek a to jejím zahříváním tepelnou energií. Těkavé látky jsou zahřívány nad bod varu, tím dochází k urychlení procesu uvolňování z nosné matrice.

6. Nebezpečné odpady

6.4 Termální desorpce

Uvolněné páry znečišťující látky jsou poté buď přímo spalovány nebo zachycovány kondenzací. Tato technologie bývá klasifikována jako:

- nízkoteplotní (90 – 320 °C)
- vysokoteplotní (320 – 560 °C)

Podle místa, kde dochází k dekontaminaci se tyto technologie dělí na:

- termickou desorpci „in situ“
- termickou desorpci „ex situ“

6. Nebezpečné odpady

6.4 Termální desorpce

Metoda „in situ“ spočívá v dekontaminaci zeminy přímo na místě vzniku. Principem metody je ohřev materiálu na území, kde ke kontaminaci došlo. Zemina se ohřívá buď pomocí ocelových sítí, které jsou pomocí topných tyčí. Teplota topných tyčí je až 820 °C (tzv. metoda kobercového uspořádání). V případě, že je zemina kontaminována ve větších hloubkách jak 1 m, zemina se ohřívá pomocí soustavy vrtů (tzv. metoda vrtů).

Naopak metoda „ex situ“ se zakládá na odtěžení zeminy ze zájmové lokality, následné mechanické předúpravě, kde je tento materiál tříděn, zbavován kovových částí, následně drcen a ohříván. Ohřev je zajištěn v rotační nádobě (případně míchané nádobě) zvané desorbér.

6. Nebezpečné odpady

6.5 Spalování v plazmovém oblouku

Pevné, pastovité nebo tekuté odpady jsou speciálním zařízením dávkovány do prostoru plazmového reaktoru, kde nastává účinkem vysokovýkonného plazmového hořáku rychlá destrukce škodlivin obsažených v odpadu. Plazmový hořák pracuje na principu elektrického oblouku a je napájen stejnosměrným proudem.

Samotná plazma je ionizovaný vodivý plyn o teplotě 4000 – 5000 °C (jsou dosahovány i teploty 20 000 °C). Jedná se o energeticky náročný proces. Jsou známa zařízení s relativně malým prosazením speciálních (brizantních) odpadů (cca 0,1 – 1,0 t za hodinu).

6. Nebezpečné odpady

6.5 Spalování v plazmovém oblouku

Plazmových hořáků může být instalováno více – např. hlavní a podpůrný hořák. Instalovaný výkon hořáku se může pohybovat kolem 1500 kW. Tento údaj umožňuje představu o vysoké energetické náročnosti plazmové technologie na zpracování relativně malého množství odpadů.

Anorganické podíly odpadu vytvářejí strusku v tekutém stavu (teplota může dosáhnout hodnot vysoko přes 1500 °C), která je ze spodní části reaktoru odpouštěna a po ochlazení tvoří inertní zbytkový materiál se skelnou strukturou (vitřifikace). Tento materiál je vhodný k dalšímu použití či ke konečnému uložení na skládku.

6. Nebezpečné odpady

6.5 Spalování v plazmovém oblouku

Organické podíly odpadu jsou rozloženy na jednotlivé elementy. Tento procesní krok nastává v redukčním prostředí a vzniklý syntézní plyn může být pomocí kyslíku či směsi vzduchu a kyslíku v oxidační části plazmového reaktoru oxidován.

Takto upravené spaliny o teplotě přes 1000°C mohou být v následně zařazeném kotli využity k výrobě páry, která v kogeneračním procesu produkuje energii. Vystupující plyn je průchodem kotlem ochlazen na teplotu kolem 200 °C a posléze podroben několikastupňovému standardnímu komplexnímu čištění. (Např. omezování emisí tuhého úletu, anorganických kyselin, těžkých kovů a aerosolů.).

6. Nebezpečné odpady

6.5 Spalování v plazmovém oblouku

Dále může být zařazen proces katalytické redukce oxidů dusíku na molekulární dusík a vodu s následným procesem katalyticko – oxidační destrukce látek typu PCDD/F. Provozní teplota katalytického stupně (cca 300 °C) je dosažena patřičně dimenzovaným zařízením k přesunu tepla. Výstupní emisní hodnoty dosahují zlomků zákonných emisních limitů.

6. Nebezpečné odpady

6.5 Spalování v plazmovém oblouku

Prací kapalina z procesu čištění vystupujících plynů je rovněž podrobena standardní komplexní úpravě (neutralizace, vložkování, srážení, sedimentace, filtrace), jejímž cílem je výstup vyčištěného média do lokálního vodoteče či do kanalizace a koncentrace odloučených škodlivin (hlavně těžkých kovů) do tzv. filtračního koláče, který může být předán plazmovému procesu nebo postoupen dalšímu látkovému využití.

Principy čištění spalin stejně jako principy zpracování produktů po spalování jsou u nebezpečných odpadů obdobné jako v případě odpadů komunálních. Systém čištění i způsob zpracování vždy závisí na druhu spalovaného nebezpečného odpadu a jeho složení.