



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## TUHÁ ALTERNATIVNÍ PALIVA

REFUSE DERIVED FUEL

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Anežka Exnerová

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub Lachman

BRNO 2021



# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Energetický ústav
Studentka:	<b>Anežka Exnerová</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Jakub Lachman</b>
Akademický rok:	2020/21

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:

## Tuhá alternativní paliva

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Tuhá alternativní paliva (TAP) jsou paliva vyrobená ze směsného komunálního odpadu (SKO) tříděním, drcením, peletováním apod. Takto vyrobené palivo má oproti SKO řadu výhod, především menší obsah vlhkosti a balastu, a tedy i vyšší výhřevnost. Užití jej lze jak pro samotné spalování, tak i pro spoluspalování v teplárenských provozech nebo cementárnách. Na rozdíl od SKO, je obsah chloru v TAP výrazně vyšší, což způsobuje řadu provozních problémů. Cílem práce bude srovnat TAP s SKO z hlediska složení, vlastností a provozu spalovacích zařízení.

### Cíle bakalářské práce:

- Definovat tuhá alternativní paliva (TAP), popsat jejich složení a vlastnosti,
- Popsat proces výroby TAP,
- Porovnat TAP se směsným komunálním odpadem a uvést příklady jejich aplikace.

### Seznam doporučené literatury:

ROGOFF, Marc J. Waste-To-Energy: Technologies and Project Implementation. 2nd ed. 2011. ISBN 9781437778724.

KURAŠ, Mečislav, Vojtech DIRNER, Vladimír SLIVKA a Milan BŘEZINA. Odpadové hospodářství. Chrudim: Ekomonitor, 2008, 143 s. ; 25 cm. ISBN 978-80-86832-34-0.

TCHOBANOGLIOUS, George., Hilary. THEISEN a S. A. VIGIL. Integrated solid waste management: engineering principles and management issues. New York: McGraw-Hill, c1993. ISBN 00-706-3237-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá energetickým využitím odpadu se zaměřením na tuhá alternativní paliva. Cílem první části je popsat, co tuhá alternativní paliva jsou, jaké jsou jejich vlastnosti a složení. Z tohoto hlediska se zde také nachází porovnání se směsným komunálním odpadem. Druhá kapitola se věnuje procesu výroby. Jsou zde uvedeny možné parametry tuhých alternativních paliv a technologický proces mechanicko-biologické úpravy. Následuje část zaměřená na spalování paliv. V této kapitole jsou uvedena spalovací zařízení a emise vzniklé při spalování odpadů a tuhých alternativních paliv.

### **Klíčová slova**

Tuhá alternativní paliva, směsný komunální odpad, mechanicko-biologická úprava, energetické využívání odpadů, spalování

## **ABSTRACT**

This bachelor's thesis deals with the Waste-to-Energy topic focusing on refuse derived fuels. The aim of the first part is to describe what refuse derived fuels are, what are their properties and composition. From this point of view, we determine a comparison with municipal solid waste. Second part is about production process. Possible parameters of refuse derived fuels and the technological process of mechanical-biological treatment are presented here. Following part is focused on fuel combustion. This chapter lists combustion plants and emissions from the incineration of waste and refuse derived fuel.

### **Key words**

Refuse Derived Fuels, Municipal Solid Waste, Mechanical Biological Treatment, Waste-to-Energy, Combustion

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

EXNEROVÁ, Anežka. *Tuhá alternativní paliva* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-15]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132341>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jakub Lachman.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Tuhá alternativní paliva* vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
Anežka Exnerová

## **PODĚKOVÁNÍ**

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

## OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Klasifikace TAP .....	12
1.1 Vlastnosti a složení paliva .....	12
1.1.1 Spalné teplo .....	12
1.1.2 Výhřevnost .....	12
1.1.3 Voda .....	13
1.1.4 Popelovina.....	13
1.1.5 Hořlavina.....	13
1.2 Rozdělení TAP.....	13
1.3 TAP a směsný komunální odpad .....	14
2 Zpracování odpadu a výroba TAP.....	17
2.1 Parametry TAP .....	17
2.2 Mechanicko-biologická úprava odpadů.....	18
2.2.1 Mechanické zpracování .....	18
2.2.2 Biologická úprava .....	19
2.2.3 MBÚ v ČR .....	19
2.3 Další výrobci a dodavatelé TAP v ČR.....	20
2.3.1 Palozo .....	20
2.3.2 ASAPAL .....	20
2.3.3 Rumpold.....	20
3 Spalování .....	22
3.1 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech.....	23
3.1.1 § 35 – Energetické využití odpadu.....	24
3.2 Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší .....	25
3.3 Emise .....	26
3.3.1 Oxid uhelnatý .....	26
3.3.2 Oxidy síry .....	27
3.3.3 Oxidy dusíku .....	27
3.3.4 Tuhé znečišťující látky.....	27
3.3.5 Chlor.....	28
3.3.6 Těžké kovy .....	28
3.3.7 Halogenvodíky .....	28
3.4 Zařízení pro energetické využití odpadů.....	28
3.5 Cementárny .....	31
3.6 Monospalovny .....	33
3.7 Úprava kotlů pro spalování TAP .....	35
3.7.1 Roštové kotle.....	35

3.7.2	Práškové kotle.....	35
3.7.3	Fluidní kotle.....	36
	ZÁVĚR .....	37
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	38
	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	42
	SEZNAM TABULEK.....	43

## ÚVOD

Z důvodu značné závislosti na fosilních palivech, která jsou neobnovitelná, nepřívětivá k životnímu prostředí a nejistá v budoucích letech, se současný svět zaměřuje na využívání alternativních paliv. Alternativní paliva se vyrábějí z různých materiálů a dosahují různých kvalit. Mezi tato paliva lze zařadit např. dřevoplyn, bionafta, paliva z biomasy či odpadu.

Vzhledem ke skutečnosti, že je odpad každodenní součástí našeho života, je třeba se naučit jej třídít, zpracovávat a hledat řešení, která pomohou s jeho minimalizací či jeho následným využitím. Problematiku předcházení vzniku odpadů a snižování jejich měrné produkce v ČR řeší Plán odpadového hospodářství ČR. Jedná se o minimalizaci nepříznivých účinků odpadů na lidské zdraví a životní prostředí, přiblížení se k evropské „recyklační společnosti“, maximální využívání odpadů jako náhrady primárních zdrojů a přechod na oběhové hospodářství. [23]

Konkrétní cíle odpadového hospodářství jsou následující:

- Zvýšit do roku 2025 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 55 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území ČR.
- Zvýšit do roku 2030 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 60 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území ČR.
- Zvýšit do roku 2035 úroveň přípravy k opětovnému použití a úroveň recyklace komunálních odpadů nejméně na 65 % celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území ČR.
- Odstraňovat uložením na skládku v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 10 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území ČR.
- Energeticky využívat v roce 2035 a v letech následujících nejvýše 25 % z celkové hmotnosti komunálních odpadů vyprodukovaných na území ČR; toto množství může být navýšeno o rozdíl mezi množstvím komunálních odpadů, které mohly být uloženy na skládku, a skutečným množstvím komunálních odpadů uložených na skládku. [23]

Cílem této práce je popsat tuhá alternativní paliva, dále jen TAP, která jsou jedním z možných východisek, jak nakládat s odpady za účelem zpětného získávání energie. Důležitou charakteristikou při použití odpadu jako paliva je množství spalitelného materiálu (papír, textil, plasty, pryž, dřevo atd.) a obsah vody, kterou je nezbytné odstranit. Je nutné zajistit stálou výhřevnost paliva potřebnou pro optimální proces hoření. Dále jsou v palivu nežádoucí příměsi, je tedy důležité jejich snížení na co nejmenší možnou míru.

K výhodám TAP patří skutečnost, že zhruba dvě tuny hnědého uhlí pro výrobu stejného množství energie lze nahradit jednou tunou tohoto paliva, a to díky jeho vysoké výhřevnosti. Navíc je možné část zbytků po spálení využít k materiálovým účelům, např. ve stavebnictví. Přínosem je také snížení množství odpadu na skládkách, tím i snížení emisí skládkových plynů. [8]

Za nevýhodu se považují přidané náklady vlivem přísné legislativy a náročných požadavků na měření emisí. Odpad, ze kterého je palivo vyráběno, je velice různorodý a na to musí být celá technologie uzpůsobena. Při spalování je nutné zajistit provoz laboratoří pro trvalé sledování emisních limitů a čištění spalin od nebezpečných látek. Výsledkem jsou však spaliny, jejichž obsahy nebezpečných látek i dalších sledovaných emisí jsou menší než emise ze zdrojů spalujících uhlí. [8]

## 1 Klasifikace TAP

TAP jsou paliva z odpadů určená ke spalování v energetických zařízeních v kombinaci s jiným typem tuhého, kapalného nebo plynného paliva, které pochází převážně z přírodních zdrojů. Vstupním odpadem může být specifický odpad z výroby, tuhý komunální odpad, průmyslový odpad, obchodní odpad, odpad ze staveb a demolic, čistírenské kaly aj. [1]

### 1.1 Vlastnosti a složení paliva

TAP sestává z drcené směsi, jež obsahuje spalitelný průmyslový a tříděný komunální odpad s minimálním množstvím nebezpečných a škodlivých látek. Tuto směs tvoří spalitelné odpadové materiály – směsné plasty, papír, textil, pryž, pneumatiky, dřevo apod.

Složení paliv se určuje hrubým rozbořem a elementárním obsahem hořlaviny. U hrubého rozbořu se určuje poměrný obsah vody a popelovin, dále se stanovuje výhřevnost paliva a prchavá a neprchavá hořlavina. V elementárním obsahu hořlaviny se určují poměrné obsahy jednotlivých prvků hořlaviny – uhlík (C), vodík (H), síra (S), dusík (N), chlor (Cl), fluor (F). Poměr mezi hořlavinou (h), popelovinou (A) a vodou (W) v palivu určuje rovnice 1.1. [2]

$$h + A + W = 100 \% \quad (1.1)$$

#### 1.1.1 Spalné teplo

Spalné teplo  $Q_s$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] je takové teplo, které je uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na teplotu  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , přičemž voda ve spalinách zkondenzuje, tj. je v kapalné fázi. Určuje se laboratorně v kalorimetrech tak, že se 1 kg paliva spálí v kyslíkové atmosféře o tlaku přibližně 2,5 MPa v kalorimetrické bombě ponořené ve vodní lázni. Z ohřevu vodní lázně kalorimetru teplem uvolněným spálením vzorku se vypočte spalné teplo pomocí rovnice 1.2. [2]

$$Q_s = \frac{V \cdot \Delta T}{G} \quad (1.2),$$

kde

V [ $\text{kJ}\cdot\text{K}^{-1}$ ] – vodní hodnota kalorimetru

$\Delta T$  [K] – změna teploty vodní lázně

G [kg] – hmotnost paliva

#### 1.1.2 Výhřevnost

Výhřevnost  $Q_i^r$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na  $20\text{ }^\circ\text{C}$ , přičemž voda ve spalinách zůstává v plynné fázi. Výhřevnost se určuje ze změřeného spalného tepla výpočtem podle rovnice 1.3. [2]

$$Q_i^r = Q_s - r \cdot (W^r + 8,94 \cdot H_2) \quad (1.3),$$

kde

$Q_s$  [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] – spalné teplo

r [ $\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$ ] – výparné/kondenzační teplo vody

$W^r$  [-] – obsah vody v palivu

$H_2$  [-] – obsah vodíku v surovém palivu

Výhřevnost TAP je srovnatelná s výhřevností standardních paliv (např. kvalitního hnědého uhlí, černého uhlí či koksu) z důvodu malého množství vody. [3]



### 1.1.3 Voda

Voda v palivu je nežádoucí, jelikož snižuje výhřevnost a způsobuje řadu problémů při dopravě a spalování. Voda vyprchává ve formě vodní páry, čímž zvětšuje objem spalin. Přítomnost vody ve spalinách má za následek zvýšení rosného bodu a korozi spalinových cest. Dále pohlcuje část uvolněného tepla a snižuje spalovací teplotu. [2]

### 1.1.4 Popelovina

Jedná se o minerální látky obsažené v tuhém palivu před jeho spálením. Spálením vzniká tuhý zbytek, který se nazývá popel. Dalším zdrojem popele mohou být nečistoty přimíšené během těžby, transportu a skládkování. Popel odchází ze spalovací komory ve formě strusky, škváry a popílku. Pro stavbu a provoz kotlů na tuhá paliva jsou velmi důležité charakteristické teploty popele – teplota sintrace, teplota měknutí ( $t_a$ ), teplota tavení ( $t_b$ ) a teplota tečení ( $t_c$ ). Teplota měknutí  $t_a$  určuje minimální teplotu, při které dochází k nalepování popele na výhřevné plochy. Tím dojde ke zhoršení prostupu tepla ze spalin do média. Teplota tečení  $t_c$  stanovuje, kdy dojde k roztavení popele. [2]

### 1.1.5 Hořlavina

Hořlavina je ta část paliva, která je při spalování nositelkou uvolněného tepla. U tuhých a kapalných paliv se skládá z uhlíku, vodíku, síry, dusíku a kyslíku. Uhlík, vodík a síra se řadí mezi aktivní prvky hořlaviny, neboť jejich oxidací se uvolňuje teplo. Hořlavina se dělí na prchavou a neprchavou část. Prchavá hořlavina se uvolňuje na začátku spalování při teplotách nad 250 °C a podstatně napomáhá vznícování paliva v ohništi a stabilizuje spalovací proces. Neprchavá hořlavina je zbývající část v podobě tuhého uhlíku. [2]

## 1.2 Rozdělení TAP

Klasifikace podle ČSN EN 15359 je zařazení paliv do tříd. Je založena na určení limitních hodnot pro tři důležité charakteristiky. Těmi jsou průměrná výhřevnost, průměrný obsah chloru a medián a 80. percentil hodnot obsahu rtuti. Každá z uvedených charakteristik je rozdělena do pěti tříd uvedených v tabulce 1. [1]

Tabulka 1: Systém klasifikace TAP [1]

Třídící vlastnost	Statistická míra	Jednotka	Třídy				
			1	2	3	4	5
Výhřevnost	průměrná hodnota	MJ/kg	$\geq 25$	$\geq 20$	$\geq 15$	$\geq 10$	$\geq 3$
Chlor (Cl)	průměrná hodnota	hm. % v sušině	$\leq 0,2$	$\leq 0,6$	$\leq 1,0$	$\leq 1,5$	$\leq 3$
Rtuť (Hg)	medián	mg/MJ	$\leq 0,02$	$\leq 0,03$	$\leq 0,08$	$\leq 0,15$	$\leq 0,50$
	80. percentil	mg/MJ	$\leq 0,04$	$\leq 0,06$	$\leq 0,16$	$\leq 0,30$	$\leq 1,00$

Příklad označení pro třídu o průměrné výhřevnosti 21 MJ/kg, průměrném obsahu chloru 0,4 % a průměrném obsahu rtuti 0,012 mg/MJ s hodnotou 80. percentilu 0,04 mg/MJ je NCV 2; Cl 2; Hg 1. [1]

Obsah chloru je důležitý technický parametr s ohledem na tvorbu korozivní HCl a účast při tvorbě PCDD/PCDF<sup>1</sup> při spalování. Tyto látky se ve spalinách vyskytují buď ve formě páry, nebo jsou adsorbovány na částicích popílku. Korozivní účinky se projevují v reakci s alkalickými kovy a oxidem siřičitým (SO<sub>2</sub>) na povrchu výměníku tepla a dalších kovových částí zařízení. Mimoto může zvýšený obsah chloru vést ke snížení teploty měknutí popela. Ten se nalepuje na výhřevné plochy a tím zhoršuje prostup tepla ze spalin do vody a páry. [4]

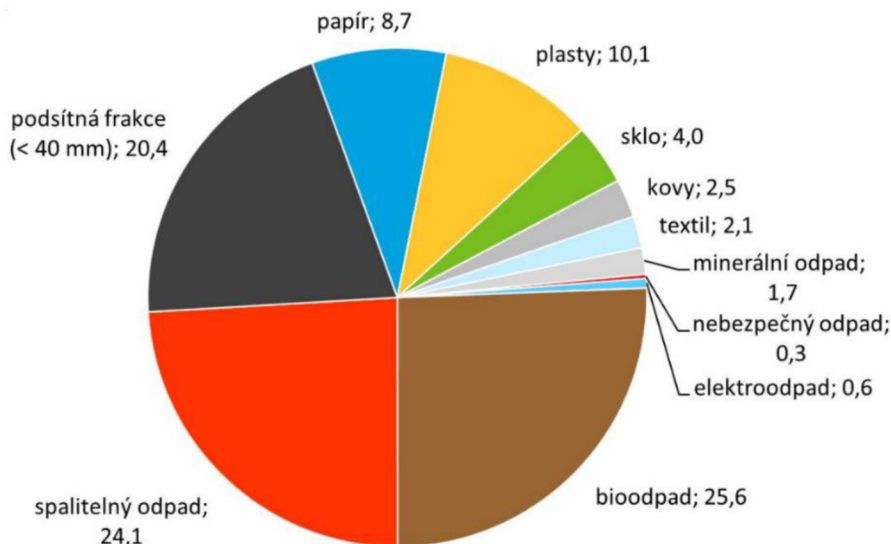
Rtuť je nejtěkavější ze všech stopových prvků. Její toxicita a relativně vysoká koncentrace může výrazně poškozovat životní prostředí (zejména v okolí zdroje emisí rtuti). Při spalování uhlí a odpadů se rtuť snadno odpařuje a přechází ve formě par do spalných plynů. Ve větších kotlích vybavených odlučovači obvykle větší podíl zkondenzuje na částicích úletového popílku a v odlučovačích je zachycen. Menší část se pak dostává do atmosféry, kde se rtuť nebo její těkavé sloučeniny dostávají do aerosolu. [5]

Nejvýznamnějším zdrojem rtuti v odpadu jsou baterie. Ty je možné ale díky jejich vysoké hustotě poměrně snadno separovat (např. gravitačními separátory) od části odpadu určeného pro produkci TAP. [9]

### 1.3 TAP a směsný komunální odpad

Směsný komunální odpad, dále jen SKO, je ta část komunálních odpadů, která zůstává po vyřídění využitelných a nebezpečných složek. Jedná se o odpady označené identifikačním kódem „C/“, což znamená, že při výrobě byly použity kombinace různých materiálů. Dále jsou zde zařazeny například mastné a silně znečištěné obaly od potravin, obaly od zubních past, dětské pleny, hygienické potřeby, papírové kapesníky či zbytky kosmetiky. [6]

Jednotlivé složky SKO znázorňuje obrázek 1. Procentuální hodnoty vychází z celkového množství SKO za rok 2018, jak jej vykázaly obce do systému EKO-KOM.



Obrázek 1: Průměrné složení SKO v ČR v roce 2018 (hm. %) [7]

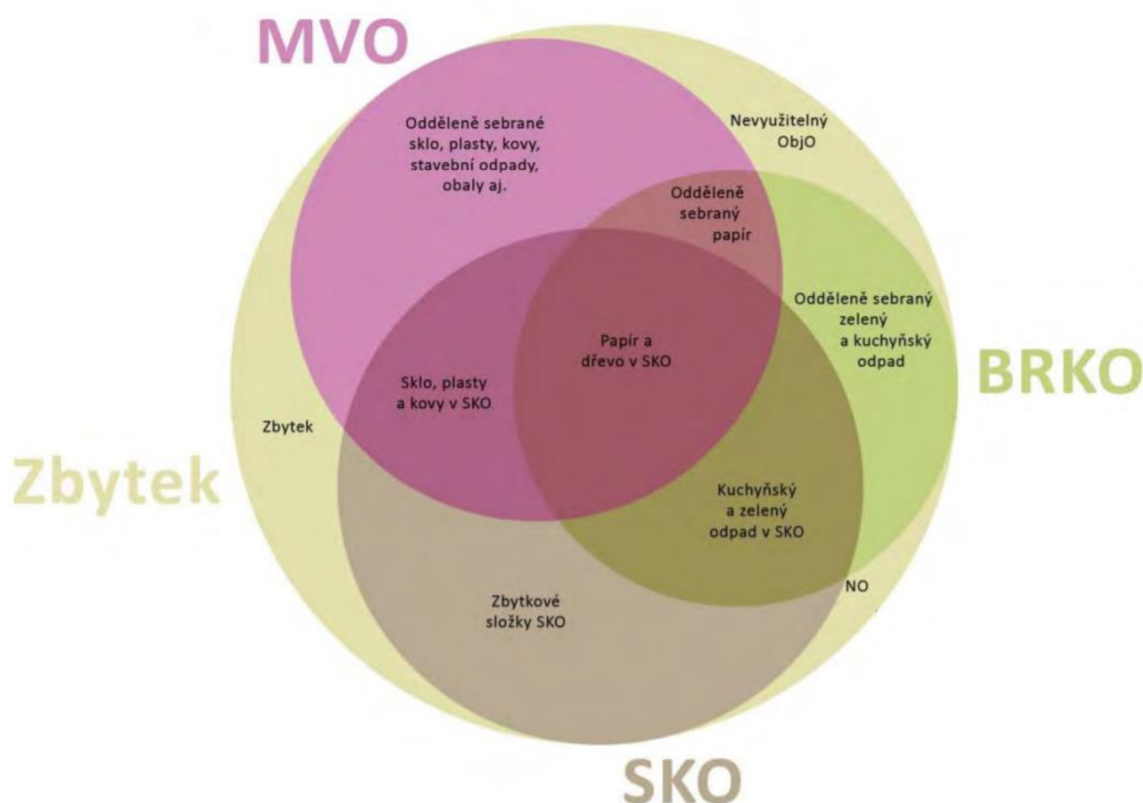
<sup>1</sup> Polychlorované dibenzodioxiny (PCDD) a polychlorované dibenzofurany (PCDF) jsou chemické sloučeniny obsahující ve svých molekulách atomy uhlíku, vodíku, kyslíku a chloru a patří do skupiny perzistentních organických látek (POP). Vznikají při hoření materiálu, jehož součástí je chlor nebo jeho sloučeniny. [48]

V tabulce 2 jsou uvedeny přibližné rozptyly prvkového složení komunálního odpadu dle BREF<sup>2</sup>.

Tabulka 2: Prvkové složení KO v sušině dle BREF [8]

Prvek	Množství [hm. %]	Prvek	Množství [mg/kg]	Prvek	Množství [mg/kg]
Uhlík	18–40	Olovo	100–2000	Kobalt	3–10
Vodík	1–5	Zinek	400–1400	Kadmium	1–15
Dusík	0,2–1,5	Měď	200–700	Rtuť	1–15
Kyslík	15–22	Mangan	250	Arsen	2–5
Síra	0,1–0,5	Nikl	30–50	Selen	0,2–15
Fluor	0,01–0,035	Chrom	40–200	Thalium	<0,1
Chlor	0,1–1	Vanad	4–11	PCB	0,2–0,4

Strukturu složení komunálního odpadu, SKO, (potenciálního) biologicky rozložitelného odpadu a (potenciálního) materiálově využitelného odpadu včetně vzájemného překrývání těchto skupin ilustruje obrázek 2. [9]



Obrázek 2: Struktura komunálního odpadu<sup>3</sup> [9]

<sup>2</sup> Cílem Referenčního dokumentu (BREF) o nejlepších dostupných technikách (BAT) je poskytnout na důkazech založenou vědeckou podporu procesu tvorby evropské politiky v různých průmyslových odvětvích. [8]

<sup>3</sup> Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) je skupina odpadů biologického původu. Obsahují rostlinné živiny a organické látky, které je možné stabilizovat a používat jako organické hnojivo.

Pro případnou produkci TAP je vhodný především jinak nevyužitelný SKO. V podmínkách České republiky je nevyužitého a skládkovaného odpadu pro výrobu alternativního paliva teoreticky dostatek. Také lze uvažovat některé části objemného odpadu a odpady (výměty) z třídících linek. V provozu je možné pro produkci paliva směšovat odpadní materiály různého původu, tedy využít komunální odpad společně s průmyslovým a živnostenským odpadem. [9]

Odpady z průmyslových výroby jsou často zdrojem homogenních materiálů a jejich kvalita bývá stálá. Komunální odpady jsou heterogenní a mají nestálé složení. Čím je vstupní materiál různorodější, tím je technologie výroby TAP složitější, tzn. v procesu výroby dochází k náročnější eliminaci nežádoucích příměsí. Na druhou stranu taková technologie pak umožňuje využívat širší škálu odpadů. [10]

Výhřevnost SKO se pohybuje mezi 8 MJ/kg až 11 MJ/kg, dosahuje tak obdobných hodnot jako méně kvalitní uhlí. Výhřevnosti jednotlivých složek komunálního odpadu představuje tabulka 3.

Tabulka 3: Výhřevnost jednotlivých složek KO [8]

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

Vlastnosti SKO se od TAP liší především svým nestálým složením. Vzhledem k tomu, že se samotný SKO pro spalování neupravuje, mění se jeho výhřevnost podle složek, které v daný okamžik obsahuje. Složení se může měnit například v závislosti na lokalitě, odkud je odpad odebírán, nebo ročním obdobím. TAP lze jako upravený výrobek rozdělit do výše uvedených tříd, a tím zajistit stálou a také vyšší výhřevnost. Dále je zajištěn stabilnější provoz, snadnější a rychlejší odstavování a uvádění do provozu. Díky slisování TAP do formy briket či pelet je umožněna snazší manipulace a je možné jej dlouhodobě skladovat. Jeho nevýhodou oproti SKO je zvýšené množství chloru a jeho sloučenin, které se projevuje korozivními účinky nebo nápeky. Chlorová koroze napadá teplosměnné plochy trubkových systémů přehříváků a může negativně ovlivnit provozní spolehlivost a životnost kotlů.

## 2 Zpracování odpadu a výroba TAP

TAP jako směs spalitelných odpadů vzniká separací a úpravou materiálu. Tento materiál je zpracován a hotový produkt ve formě pelet či briket, jak ilustruje obrázek 3, je použit pro energetické účely.



Obrázek 3: TAP v neupravené a peletované formě [11]

### 2.1 Parametry TAP

Při výrobě TAP je důležité věnovat pozornost kritériím týkajících se snadné manipulace s materiálem a dodržení norem. Zde zahrnujeme kód třídy, původ, tvar a velikost částic, zrnitost, obsah vody a popela, výhřevnost, chemické vlastnosti. Granule by měly být nelepivé, sypké a biologicky stabilizované.

Příklad obecných požadavků na TAP pro cementárny je následující:

- zrnitost
  - nejdelší hrana zrna max. 15 mm
  - nejdelší strana fólií max. 25 mm
  - podíl fólií s nejdelší stranou nad 25 mm max. 15 % hmotnosti dodávky
  - délka nejdelší hrany max. 40 mm
  - objemová hmotnost min. 200 kg/m<sup>3</sup>
- výhřevnost, obsah vody a popela
  - výhřevnost min. 15 MJ/kg, doporučená hodnota 24-32 MJ/kg
  - obsah vody max. 20 %, doporučená hodnota 0-10 %
  - obsah popela max. 20 %, doporučená hodnota 0-10 %
- obsah síry a chloru
  - Cl max. 1 %, doporučená hodnota do 0,5 %
  - S max. 8 %, doporučená hodnota do 3 %
  - alkálie max. 1,2 %, doporučená hodnota do 1 %
- obsah těžkých kovů a dalších znečišťujících látek
  - PCB<sup>4</sup> max. 30 ppm (stanovuje se 4x ročně)
  - TI max. 10 ppm
  - Hg max. 2 ppm
  - Pb max. 0,2 %
  - Zn max. 1 % [12]

<sup>4</sup> Polychlorované bifenylly (PCB) jsou skupinou POP vznikajících chlorací bifenylů. Jedná se o syntetické, organické látky, u nichž jsou vodíkové atomy nahrazeny atomy chloru v různém měřítku. [47]

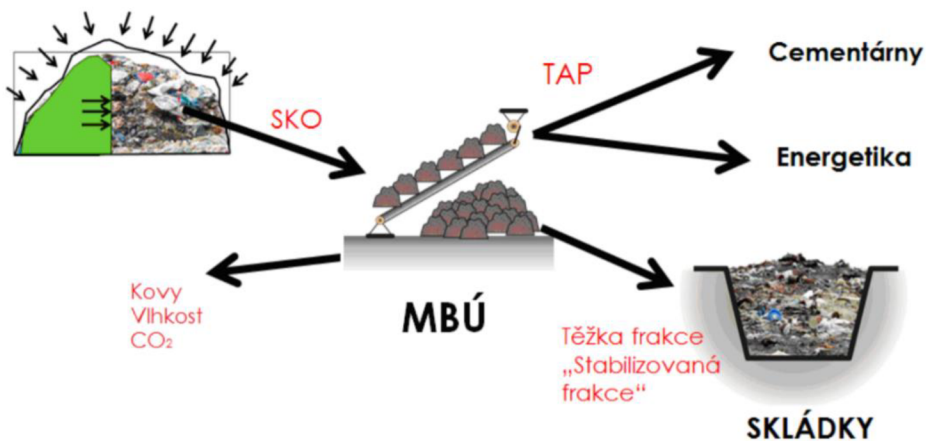


## 2.2 Mechanicko-biologická úprava odpadů

Mechanicko-biologická úprava odpadů, dále jen MBÚ, je technologický proces, jehož cílem je zpracování SKO pomocí mechanických a biologických úprav, které vedou ke snížení objemu a ustálení organických složek. Zpracovaný materiál dále slouží k materiálovému či energetickému využití a stabilizaci a redukci odpadu. Jedná se zejména o výrobu náhradního paliva z lehkých organických frakcí.

Na lince MBÚ jsou odpady nejprve mechanicky roztrženy pomocí sít, magnetických, optických či vzduchových separátorů na lehkou a těžkou frakci. Nadsítná (lehká) frakce představuje nejvíce výhřevnou složku SKO a používá se na výrobu TAP. Podsítná (těžká) frakce obsahuje především biodegradabilní (rozložitelné) materiály. Tato frakce je stabilizována biologickými metodami obdobně jako kompostování. Stabilizované odpady na skládce nepodléhají biologickému rozkladu, a tak dochází k minimální tvorbě skleníkových plynů, zápachu či nebezpečných výluhů. [15]

Proces zpracování SKO pomocí MBÚ zobrazuje obrázek 5.



Obrázek 4: Proces MBÚ [8]

### 2.2.1 Mechanické zpracování

Mechanickým zpracováním se rozumí především rozdělení složek v SKO dle fyzikálních vlastností, kterými jsou např. rozměr (granulometrie), měrná hmotnost nebo magnetické vlastnosti. Linka roztrženy odpad dále dle výše uvedených vlastností upravuje drcením na požadovanou velikost vyplývající z následného využití. Výstupem z mechanické části jsou kovové materiály, nadsítná frakce obsahující zejména papír, plasty, dřevo a textil a podsítná frakce SKO, ve které je obsažena většina biologicky rozložitelného odpadu, dále pak např. kusy cihel, kameny, hlína, sklo. [16]

### Separace a třídění

Je nutné vyřadit nežádoucí předměty a roztržít odpad, který je pro spalování vhodný či nikoliv. Směs odpadů zbavená magnetických kovů prostřednictvím magnetických separátorů, případně indukčních separátorů na oddělení nemagnetických kovů, je pásovým dopravníkem transportována do rotačního bubnového síta. Rotační bubnové síto je zařízení určené k oddělení jednotlivých frakcí s využitím gravitačního principu podle zrnitosti použitého síta. Vhodná velikost

je určena předchozí zrnitostní analýzou oddělovaných složek pro dosažení co nejpřesnějšího dělení lehké a těžké frakce. Pohybuje se v rozmezí od 20 do 120 mm. [17]

Aplikace vzduchové separace je vhodná u odpadů s rozdílnou objemovou hmotností. Lehká frakce je proudem vzduchu unášena do určeného prostoru k dalšímu zpracování. Odpady s větší objemovou hmotností, zejména anorganické odpady sestávajících ze skla, keramiky, kamení apod., které z důvodů velikosti nepropadly na bubnovém sítu, propadají do přistaveného kontejneru. [17]

Třídí se i kompostovatelné složky, které jsou použity pro další etapu úpravy.

### **2.2.2 Biologická úprava**

Vytříděná biodegradabilní frakce je biologicky rozložena a stabilizována pomocí aerobní či anaerobní fermentace, popř. jejich kombinace. Za biologicky rozložitelné složky lze považovat rostlinné a organické odpady, odpady z chovu zvířat nebo čistírenské kaly.

Alternativou je technologie biologického vysoušení. Jejím cílem je připravit tzv. suchý stabilizát, který vzniká v uzavřených boxech aerobním rozkladem za velmi intenzivního vzdušnění. Proces trvá týden, rozkládají se jen snadno rozložitelné látky. Výsledkem je suchý materiál s mírně sníženým obsahem organického uhlíku a ztráta výhřevnosti je velmi malá. [18]

#### **Aerobní fermentace**

Aerobní fermentace neboli aerobní kompostování je proces, který zabezpečuje mikrobiologickou přeměnu organických látek odpadů na stabilní humusové látky. Účelem je co nejrychleji a nejehospodárněji odbourat organické odpady a převést je na stabilní látky podobné půdnímu humusu, který je prospěšný rostlinám. Během procesu se zhodnocuje organický odpad pomocí aerobních mikroorganismů (zejména bakterií a hub) za přístupu kyslíku, který slouží jako živina a zdroj energie. [19]

Při odbourávání organických odpadů pomocí mikroorganismů dochází ke zvyšování okolní teploty. Při kompostování odpadů je tento ohřev žádoucí ze dvou důvodů – dochází ke změně skladby mikroorganismů, tedy k rychlejšímu odbourávání často značně složitých organických substancí, a dále dochází vedle transformace antibiotik pomocí aktinomycet k termické dezinfekci materiálu. [19]

#### **Anaerobní fermentace**

Anaerobní fermentace, též anaerobní digesce, spočívá v mikrobiální přeměně organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu a digestátu. Při tomto procesu rozkládá směs mikroorganismů biologicky rozložitelnou organickou hmotu. Teplota prostředí je volena v závislosti na kultuře mikroorganismů, které jsou použity pro uskutečnění procesu. Nejčastěji jsou využívány tzv. mezofilní teploty (tj. okolo 35 °C). Tato úprava odpadu je využívána zejména v bioplynových stanicích. [19]

### **2.2.3 MBÚ v ČR**

V České republice bylo postaveno první zařízení na MBÚ v roce 2020 u Vřesové na Sokolovsku. Jedná se o spolupráci společnosti Sokolovská uhelná a firmy SUEZ CZ. Technologie by mohla být schopna zpracovat 60 000 tun odpadu za rok, což představuje přibližnou kapacitu

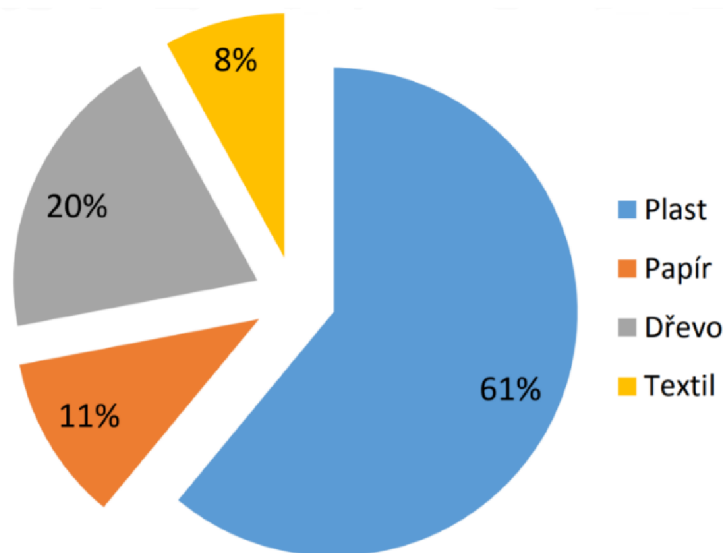
produkce odpadu v Karlovarském kraji. Provozní zkoušky nové třídící technologie začaly na přelomu září a října a na základě jejich výsledků bude rozhodnuto o zapojení energetické části projektu. [20]

### 2.3 Další výrobci a dodavatelé TAP v ČR

V současné době se v České republice nachází několik zařízení vyrábějící TAP především z průmyslových odpadů, a to z ekonomických důvodů. Poplatky za skládkování komunálních odpadů stále poměrně nízké, nevyplatí se proto s nimi jinak nakládat. Níže jsou uvedena vybraná paliva, která jsou produktem českých výrobců.

#### 2.3.1 Palozo

Výrobou TAP pod značkou Palozo se zabývá OZO Ostrava s.r.o., která na své lince používá dvoustupňové drcení a optotřídění PVC. Vstupní surovinu tvoří ze 40 % nerecyklovatelná spalitelná frakce ze separovaného sběru a z 60 % průmyslové odpady. Průměrné materiálové složení je patrné z obrázku 4. Alternativní palivo je již od roku 2000 dodáváno do cementárny v Hranicích, kde je využíváno jako částečná náhrada za černé uhlí v rotační peci. [13]



Obrázek 5: Materiálové složení paliva Palozo [13]

Z materiálových frakcí odpadu jsou pro výrobu kvalitního TAP nejžádanější plasty (bez PVC) a kartonové nápojové obaly (s hliníkovou fólií i bez ní), protože tyto frakce obsahují malé množství nežádoucích prvků a mají vysokou výhřevnost. [6]

#### 2.3.2 ASAPAL

ASAPAL je obchodní název společnosti .A.S.A., spol. s r.o., která na trh dodává alternativní palivo vyráběné úpravou spalitelných nerecyklovatelných odpadů jako jsou směsi obalových materiálů, směsné plasty z komunální sféry, směsný textil, odpady pryže z průmyslu, dřevěné obaly a nevyužitelné zbytky z třídění a recyklace plastů a papíru. [13]

#### 2.3.3 Rumpold

Společnost Rumpold s.r.o. se zabývá výrobou tuhých alternativních paliv již několik let. První výrobní linka byla zřízena v roce 2001 v provozně Kamenné Žehrovice. O několik let později



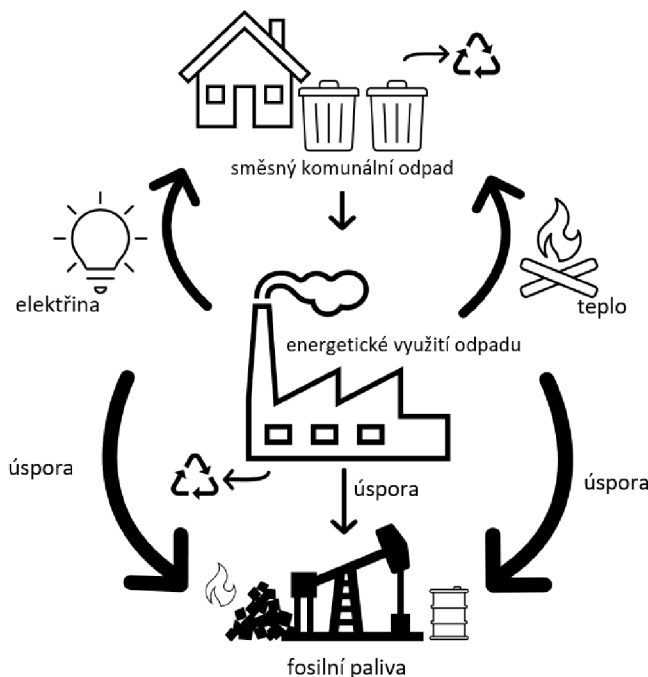
byl provoz z kapacitních důvodů přesunut. V průmyslové zóně Mýta v Čechách společnost Rumpold s.r.o. vystavěla závod specializující se pouze na výrobu alternativních paliv. [14]

Nejvíce odpadů proudí na výrobní linku z automobilového průmyslu, nemalý podíl ve skladbě zpracovávaných odpadů zaujímá rovněž skartace zboží zabaveného orgány Státní správy (např. padělky značkových výrobků). Ročně byla linka schopna při dvousměnném celoročním provozu zpracovat zhruba 15 000 tun odpadu. Společnost se však z kapacitních důvodů rozhodla na přelomu roku 2017/2018 provést stavební úpravy výrobní linky a umožnit tak zpracování až 30 000 tun odpadu za rok. [14]

### 3 Spalování

Spalování je oksyločování paliva až na konečné produkty reakce. Je to fyzikálně-chemický děj s uvolňováním tepla. Z chemického hlediska se jedná o exotermickou oxidaci. Pracovními látkami spalovacího procesu jsou palivo, oksyločovací látka a produkty spalovacího pochodu. Palivem rozumíme jakoukoliv hořlavou látku s dostatečnou výhřevností a aktivitou oksyločovacích pochodů. Oksyločovací látka obsahuje kyslík (nejčastěji se využívá vzduch). Mezi produkty spalovacího pochodu patří teplo, plynné spaliny (směs plynů  $H_2O$ ,  $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $SO_2$ ,  $CO$ ,  $Ar$ ) a kapalný nebo tuhý zbytek (struska, škvára, popílek). Tyto produkty vznikají reakcí mezi palivem a oksyločovací látkou. [3]

Cílem spalování odpadů je snížit množství organických kontaminantů v odpadech, omezit celkové množství odpadů na skládkách a zakonzervovat těžké kovy v zachycovaném popílkou. Kromě úspory fosilních paliv je další možnou výhodou spalování odpadů jeho energetické využití, jak je uvedeno na obrázku 6. Vzniklé teplo při spalování je pozitivním a dnes již nezbytným vedlejším jevem, není to však hlavní důvod pro volbu tohoto způsobu nakládání s odpady. Spalovat by se mělo tehdy, pokud již nelze odpad využít jako druhotnou surovinu. [18]



Obrázek 6: Cyklus energetického využití odpadu. Převzato a upraveno z [21]

Nevýhodou spalování lehké frakce jsou možné problémy technického a technologického rázu, na které nemusí být spalovací zařízení uzpůsobeno. Tyto problémy souvisejí především s relativně vysokým obsahem chloru, který je přítomen ve větších koncentracích než v SKO. Jak již bylo zmíněno v kapitole 1, spalování této frakce probíhá vlivem vyšší výhřevnosti i při vyšších teplotách. Vyšší obsah chloru může způsobovat nápeky a vysokoteplotní chlorovou korozi přehříváku a teplosměnných ploch kotle. [17]

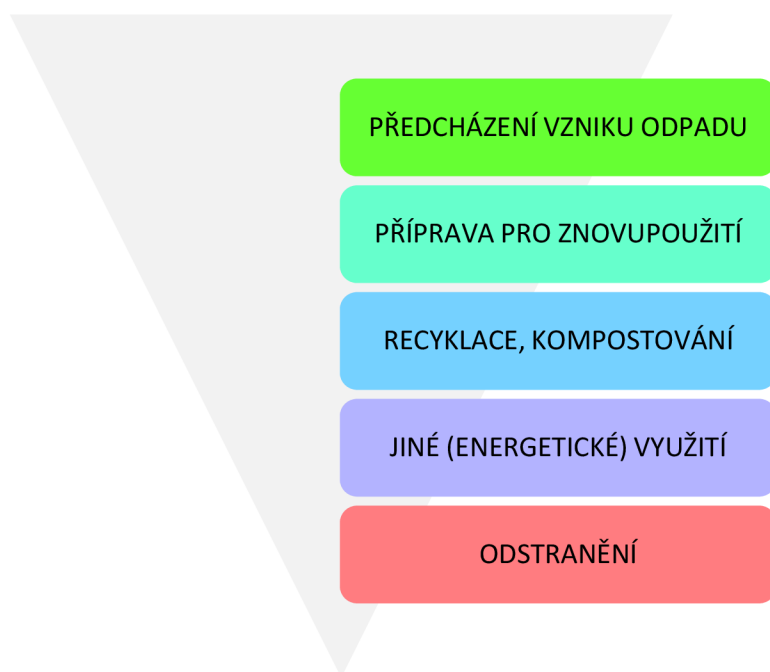
Značnou překážku způsobují náročné legislativní požadavky. Paliva z odpadů musí být spalována pouze v zařízeních, která mají příslušná povolení k tepelnému zpracování odpadů v souladu se zákonem o ochraně ovzduší. Jedná se o schválené spoluspalování v zařízeních primárně určených ke spalování odpadu, ale kde je odpad/palivo z odpadů energeticky využíváno jako

náhražka nebo doplnění standardních paliv. Mezi zařízení schopná energeticky využívat TAP lze zařadit monospalovny, cementárny, teplárny nebo elektrárny využívající spoluspalování zároveň s uhlím. [22]

Zákony týkající se energetického využití odpadů v ČR jsou uvedeny v několika následujících podkapitolách.

### 3.1 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

Účelem tohoto zákona je zajistit vysokou úroveň ochrany životního prostředí a zdraví lidí a trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů předcházením vzniku odpadů a nakládáním s nimi v souladu s hierarchií odpadového hospodářství znázorněnou na obrázku 7 za současné sociální únosnosti a ekonomické přijatelnosti tak, aby bylo dosaženo stanovených cílů odpadového hospodářství k tomuto zákonu a umožněn přechod k oběhovému hospodářství. [23]

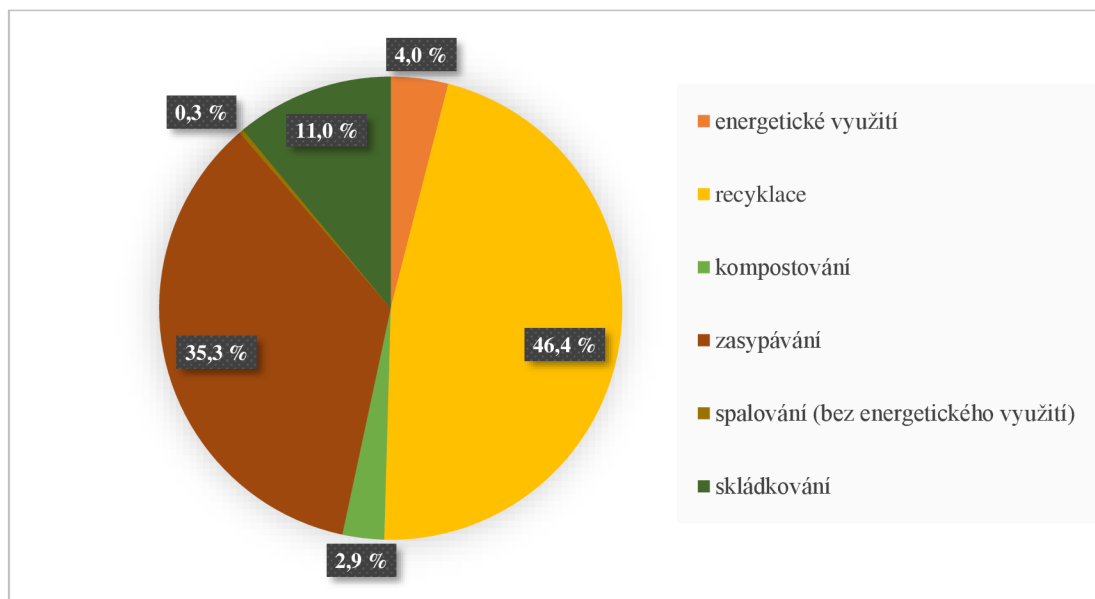


Obrázek 7: Hierarchie nakládání s odpady. Upraveno z [23]

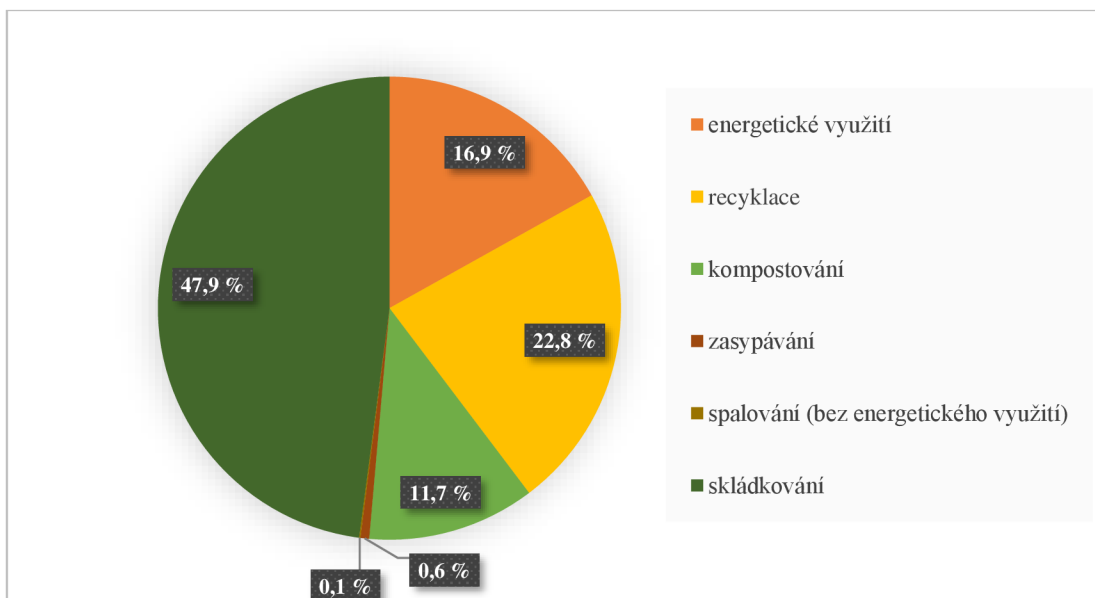
Při uplatňování hierarchie odpadového hospodářství je zohledněno:

- celý životní cyklus výrobků a materiálů, zejména s ohledem na snižování vlivů nakládání s odpady na životní prostředí a zdraví lidí
- zásada předběžné opatrnosti a udržitelnosti
- technická proveditelnost a hospodářská udržitelnost
- ochrana zdrojů, životního prostředí, zdraví lidí a hospodářské a sociální dopady
- cíle, zásady a opatření Plánu odpadového hospodářství ČR [23]

Příklad využití odpadů v roce 2019 znázorňují obrázky 8 a 9.



Obrázek 8: Využití odpadu v roce 2019 [24]



Obrázek 9: Využití komunálního odpadu v roce 2019 [24]

### 3.1.1 § 35 – Energetické využití odpadu

Spalování odpadu se za energetické využití odpadu uvedené pod kódem R1 považuje pouze tehdy, jestliže použitý odpad nepotřebuje po vlastním zapálení ke spalování podpůrné palivo a vznikající teplo se použije pro potřebu vlastní nebo dalších osob za podmínek stanovených jinými právními předpisy nebo se odpad použije jako palivo nebo jako přídatné palivo v zařízeních na výrobu energie nebo materiálů za podmínek stanovených jinými právními předpisy. [23]

Odděleně soustřeďované komunální odpady vhodné k opětovnému použití nebo recyklaci, zejména papír, plasty, sklo, kovy, textil a biologický odpad, nesmí být předány ke spalování v zařízení na energetické využití odpadu, s výjimkou odpadu vznikajícího při jejich zpracování,

který splňuje kritéria stanovená vyhláškou ministerstva tak, aby spalování takto vzniklých odpadů v zařízení na energetické využití odpadu přinášelo nejlepší výsledek z hlediska životního prostředí v souladu s hierarchií odpadového hospodářství. [23]

O tom, zda se nakládání s odpady považuje za energetické využití, rozhoduje účinnost energetického využití odpadů uvedená v rovnici 3.1.

$$\eta = \frac{E_p - (E_f + E_i)}{0,97 \cdot (E_w + E_f)} \quad (3.1),$$

kde

$E_p$  (GJ/rok) – roční množství vyrobené energie ve formě tepla nebo elektřiny (energie ve formě elektřiny se vynásobí hodnotou 2,6 a teplo vyrobené pro komerční využití hodnotou 1,1)

$E_f$  (GJ/rok) – roční energetický vstup do systému z paliv přispívajících k výrobě páry

$E_i$  (GJ/rok) – roční dodaná energie bez  $E_w$  a  $E_f$

0,97 – činitel energetických ztrát v důsledku vzniklého popela a vyzařování

$E_w$  (GJ/rok) – roční množství energie obsažené ve zpracovávaných odpadech vypočítané za použití nižší čisté výhřevnosti odpadů [23]

Zavedené energetické ekvivalenty 2,6 a 1,1 odpovídají účinnosti kondenzační výroby elektrické energie 38,5 % a monovýrobě tepla 91 %. Požadavkem na dosažení alespoň 60% energetické účinnosti u starších resp. 65% účinnosti u nových zařízení a činitelem energetických ztrát 0,97 se pak redukuje kritérium účinnosti energetického využití odpadů při kondenzační výrobě elektřiny na 23,8 % resp. 25,8 % a u monovýroby tepla na 56,2 % resp. 60,9 %, což již jsou hodnoty v praxi dosažitelné. [26]

Nejnižší požadovaná výše energetické účinnosti pro využívání odpadů způsobem R1 je definována takto:

- pro zařízení, která získala souhlas k provozu zařízení před 1. lednem 2009 - 0,60
- pro zařízení, která získala souhlas k provozu zařízení po 31. prosinci 2008 - 0,65

Zařízení, které nesplní prahovou hodnotu energetické účinnosti je kategorizováno jako zařízení pro odstranění odpadů a je na něj takto nahlíženo i z pohledu hierarchie nakládání s odpady. Stejně jako skládkování se jedná o nejméně preferovanou formu, která nepřispívá ke splnění regionálních i národních cílů v oblasti využití odpadů. [27]

### 3.2 Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší

Ochranou ovzduší se rozumí předcházení znečištění ovzduší, snižování úrovně znečištění tak, aby byla omezena rizika pro lidské zdraví způsobená znečištěním ovzduší, snížení zátěže životního prostředí látkami vnášenými do ovzduší a poškozujícími ekosystémy a vytvoření předpokladů pro regeneraci složek životního prostředí postižených v důsledku znečištění ovzduší. [28]

Dle platné legislativy na úseku ochrany ovzduší je spoluspalování TAP kategorizováno jako spoluspalování odpadu. Legislativa v této oblasti vychází ze směrnice Evropského Parlamentu a Rady 2010/75/EU o průmyslových emisích. [9]

### 3.3 Emise

Při spalování odpadů vznikají látky, které dle platné legislativy o ochraně ovzduší patří mezi znečišťující látky. Pro tvorbu škodlivin při spalování jsou ve velké míře rozhodující podíly frakci SKO, které obsahují prekurzory škodlivin. [9]

Jedná se o následující látky:

- oxid uhelnatý – CO
- oxidy síry – SO<sub>2</sub> a SO<sub>3</sub>
- oxidy dusíku – NO<sub>x</sub> (NO, N<sub>2</sub>O, NO<sub>2</sub>)
- tuhé znečišťující látky (TZL)
- organické látky, POP, které zahrnují polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU), PCB, PCDD/PCDF
- těžké kovy
- halogenovodíky – HF, HCl, HBr [29]

Konkrétní hodnoty emisních limitů pro spoluspalovací zařízení jsou stanovovány pomocí tzv. směšovacího pravidla, viz rovnice 3.2, ve kterém jsou dány do poměru objemy spalin vzniklé spálením TAP a základního paliva a mezní hodnoty emisí pro odpad a základní palivo. [9]

$$C = \frac{V_{odpad} \cdot C_{odpad} + V_{proc} \cdot C_{proc}}{V_{odpad} + V_{proc}} \quad (3.2),$$

kde

- C [-] – celkové mezní hodnoty emisí průmyslové činnosti a znečišťující látky  
V<sub>odpad</sub> [m<sup>3</sup>] – objem odpadního plynu vzniklého spalováním odpadu  
C<sub>odpad</sub> [-] – mezní hodnoty emisí pro zařízení na spalování odpadu  
V<sub>proc</sub> [m<sup>3</sup>] – objem odpadního plynu vznikajícího v zařízení při procesu, včetně spalování úředně povolených paliv v zařízeních běžně používaných  
C<sub>proc</sub> [-] – mezní hodnoty emisí pro některé průmyslové činnosti [9]

Jako podstatné se z investičního hlediska jeví především nutnost opatření pro kontrolu emisí těžkých kovů, rtuti a dioxinů, pro které směšovací pravidlo neplatí a během spoluspalování platí tak i stejné podmínky jako pro energetické využití SKO. Nároky těchto opatření na materiálovou a energetickou spotřebu odpovídají náročnosti procesu přímého spalování neupraveného SKO v jednotkách pro energetické využití odpadů. [9]

#### 3.3.1 Oxid uhelnatý

Oxid uhelnatý (CO) je hořlavý a prudce jedovatý bezbarvý plyn bez zápachu, který je hlavním produktem nedokonalého spalování materiálů s obsahem uhlíku. Jedná se vesměs o procesy založené na spalování uhlikatých paliv (dnes všech paliv vyjma čistého vodíku) za nízké teploty a nedostatku spalovacího vzduchu resp. kyslíku, kdy nedochází k úplné oxidaci uhlovodíků (příp. uhlíku) na oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>) a vodní páru. CO v atmosféře reaguje fotochemickými reakcemi s jinými látkami, zejména s hydroxylovým radikálem, čímž se rozkládá. Tyto reakce zvyšují koncentrace methanu a především škodlivého přízemního ozonu v ovzduší (fotochemický smog). Doba setrvání CO v ovzduší je odhadována na 36–110 dní. [30]

### 3.3.2 Oxidy síry

Spalováním sirných látek vzniká oxid siřičitý ( $\text{SO}_2$ ), jehož část může již ve spalovacím prostoru reagovat s anorganickými podíly a vytvářet siřičitany a sírany, které přecházejí do tuhých zbytků. Obvykle však vázání  $\text{SO}_2$  na anorganické podíly nepřevažuje a většina vytvořeného  $\text{SO}_2$  (60 až 95 %) zůstává v proudu spalin. Doprovodným jevem souvisejícím s přítomností  $\text{SO}_2$  je výrazné zvýšení teploty rosného bodu spalin oproti hodnotě rosného bodu vztaženého pouze k parciálnímu tlaku vodní páry ve spalinách. [29]

### 3.3.3 Oxidy dusíku

Oxidy dusíku ( $\text{NO}_x$ ) vznikají v průběhu spalovacího procesu, a to buď slučováním dusíku přítomného v palivu s kyslíkem v rámci plamene, nebo slučováním atmosférického dusíku a kyslíku ve spalovacím vzduchu. [32]

Jejich odstranění je u zařízení malého výkonu poměrně komplikované. U zařízení velkého výkonu je eliminace možná podstechiometrickým spalováním s přívodem vzduchu v několika úrovních. Pro eliminaci termických  $\text{NO}_x$  je důležité zamezit vzniku oblastí s vysokou teplotou a nadměrnému přebytku vzduchu v místě ohniště. [31]

Hlavní dopad oxidu dusného ( $\text{N}_2\text{O}$ ) na životní prostředí spočívá jeho schopnosti absorbovat infračervené záření zemského povrchu, čímž se řadí mezi skleníkové plyny. Oproti oxidům dusíku se však jedná o látku považovanou za neškodnou. Jeho průměrné koncentrace v ovzduší se pohybují mezi  $0,24 \cdot 10^{-4} \%$  až  $0,29 \cdot 10^{-4} \%$ . [33]

Oxid dusičitý ( $\text{NO}_2$ ) společně s kyslíkem a těkavými organickými látkami (VOC) přispívá k tvorbě přízemního ozonu a vzniku fotochemického smogu. Vysoké koncentrace přízemního ozonu poškozují živé rostliny včetně mnohých zemědělských plodin. [34]

Oxid dusnatý ( $\text{NO}$ ) je také jedním ze skleníkových plynů. Kumuluje se v atmosféře a společně s ostatními skleníkovými plyny absorbuje infračervené záření zemského povrchu, které by jinak uniklo do vesmírného prostoru. Přispívá tak ke vzniku skleníkového efektu a následně ke globálnímu oteplování planety. [34]

Emise  $\text{NO}_x$  se liší podle toho, jaký pecní proces je použit. Kromě teploty a obsahu kyslíku (činitele přebytku vzduchu) může být tvorba  $\text{NO}_x$  ovlivněna tvarem a teplotou plamene, geometrií spalovací komory, reaktivitou a obsahem dusíku v palivu, vlhkostí, možnou reakční dobou a konstrukcí hořáku. [32]

### 3.3.4 Tuhé znečišťující látky

Tuhé znečišťující látky (TZL) tvoří mnoho různých materiálů, které se vyskytují ve formě malých pevných částic nebo malých kapiček obsažených v atmosféře. Chemické složení těchto částic se může lišit v závislosti na jejich zdroji. Většina těchto částic vyskytujících se přirozeně v přírodě je větší než 1 mm, zatímco částice vyprodukované při spalování jsou v rozmezí od 0,1 do 1 mm. [45]

Typ spalovacího procesu má významný vliv na podíl popela unášeného ve spalinách z kotlů. Např. kotle s pohyblivým roštem vytvářejí relativně malé množství popela (20–40 %

celkového množství popela), zatímco kotle spalující práškové uhlí vytvářejí výrazné množství popele (80–90 %). [35]

Úroveň emisí se pohybuje v širokých mezích a je srovnatelná s fosilními palivy, avšak pro paliva tvořených z větší části jemnou frakcí je u větších zařízení vhodné použít odlučovače nebo filtry. [31]

### **3.3.5 Chlor**

Z pohledu podílu chloru jsou nejproblematictější součástí odpadu plasty, jejichž nejpodstatnějším zástupcem je PVC. Separace PVC od výhřevné frakce je technologií MBÚ prakticky neproveditelná. I v případě použití NIR (Near InfraRed) třídících systémů, které umožňují separaci PVC od ostatních plastů, v odpadu zůstane chlor, který není součástí PVC. Ten stále tvoří velkou část přítomného chloru v odpadu. [9]

Sloučeniny chloru mohou negativně ovlivňovat životnost tlakových celků kotle i životní prostředí. Z hlediska emisí přítomnost chloru při spalování podporuje vznik POP, kam patří PAU (cca při 700 °C), PCB, PCDD/PCDF (již v rozsahu 250–400 °C). [36]

### **3.3.6 Těžké kovy**

Těžké kovy v ovzduší představují závažnou potenciální zátěž ostatních složek životního prostředí. Pojem těžké kovy je v oblasti ochrany životního prostředí používán pro skupinu kovů a metaloidů (nekovové prvky mající některé vlastnosti kovů - např. arsen, křemík) se specifickou hmotností prvku větší než 4 g/cm<sup>3</sup>. Do této skupiny se řadí rtuť, kadmium, thallium, arsen, kobalt, nikl, chrom, olovo, měď, mangan, antimon, vanad. [29]

Obecně je tvorba atmosférických emisí těžkých kovů spojena s vysokoteplotními procesy vzniku par kovů nebo těkavých sloučenin těchto prvků a jejich kondenzace a případně následná chemická transformace. Jde většinou o kovy s relativně nízkými teplotami tání i varu a nízkým výparným teplem. [29]

### **3.3.7 Halogenvodíky**

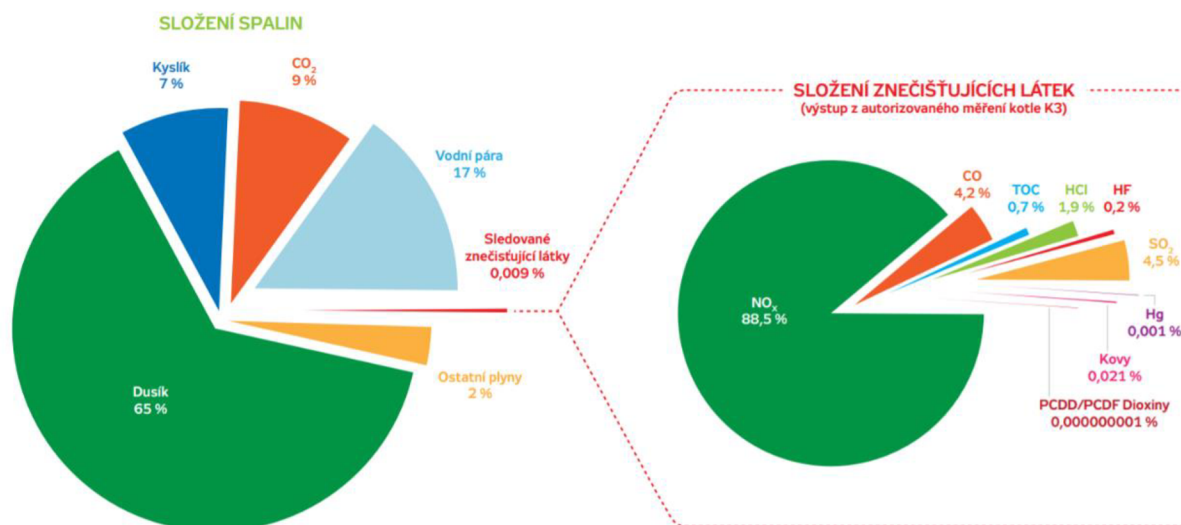
Velká spalovací zařízení nepoužívající technologii odsiřování spalin (FGD) jsou považována za hlavní zdroj průmyslových emisí chlorovodíku (HCl) a fluorovodíku (HF) do ovzduší. Emise HCl jsou zapříčiněny stopovými množstvími chloridu v palivech. Při spalování dochází k uvolňování malých množství chloridu. Určitá část tohoto chloridu se následně slučuje s vodíkem a vytváří chlorovodík. Za přítomnosti atmosférické vlhkosti dochází k přeměně chlorovodíku na aerosol kyseliny chlorovodíkové, která vede k problémům s acidifikací. Během pohybu atmosférou dochází k jejímu zředění. Totéž platí i pro emise HF. [35]

## **3.4 Zařízení pro energetické využití odpadů**

Zatímco běžné spalovny slouží pouze k likvidaci odpadů, v zařízeních pro energetické využívání odpadu, dále jen ZEVO, dochází spalováním odpadů k výrobě tepelné a elektrické energie. Kromě spalování odpadů se zaměřují i na dotřídění jednotlivých složek odpadu. Hmotnost odpadu lze díky těmto zařízením snížit na 25 % původních hodnot. Redukce objemu je možná až o 90 % původních hodnot, což představuje desetinásobné prodloužení životnosti skládky.



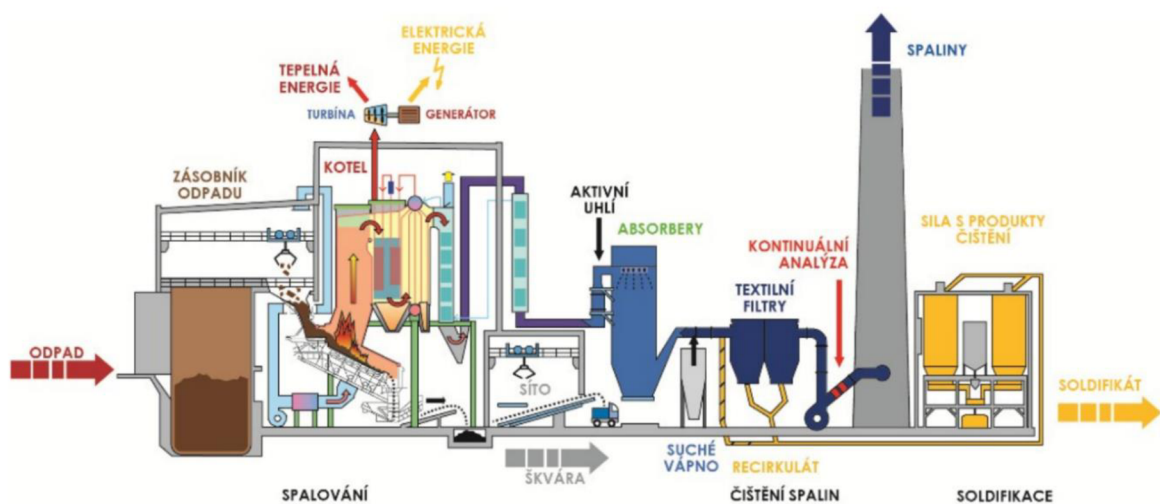
Energetické využívání odpadu v současné době představuje efektivní a k přírodě poměrně šetrný způsob, jak využít tisíce tun směšného a průmyslového odpadu. Přibližné složení spalin při spalování odpadu v ZEVO je znázorněno na obrázku 10. [39]



Obrázek 10: Emise při spalování v ZEVO [37]

V České republice jsou v současné době provozována čtyři ZEVO s povolenou kapacitou 791 000 t/rok.

První moderní ZEVO bylo vybudováno na konci 80. let minulého století v Brně-Komárov pod názvem SAKO Brno, jehož schéma je ilustrováno na obrázku 11. Jeho stávající kapacita je asi 248 000 tun odpadu ročně při výhřevnosti 11 MJ/kg a maximálně 244 000 t/rok při výhřevnosti 8-9 MJ/kg. Zařízení je napojeno na síť CZT města Brna, jehož teplárenská soustava je vytápěna převážně zemním plynem. Navrhovaný provozní režim počítá s dodávkou tepla 580 000 GJ/rok a elektrické energie 70 000 MWh/rok, což představuje pokrytí roční spotřeby tepla pro 40 000 domácností a elektřiny pro 20 000 domácností. V současnosti probíhají práce na projektové přípravě výstavby dalšího kotle. Po jeho zprovoznění bude ZEVO schopné energeticky využít až 370 000 tun odpadů. [38]



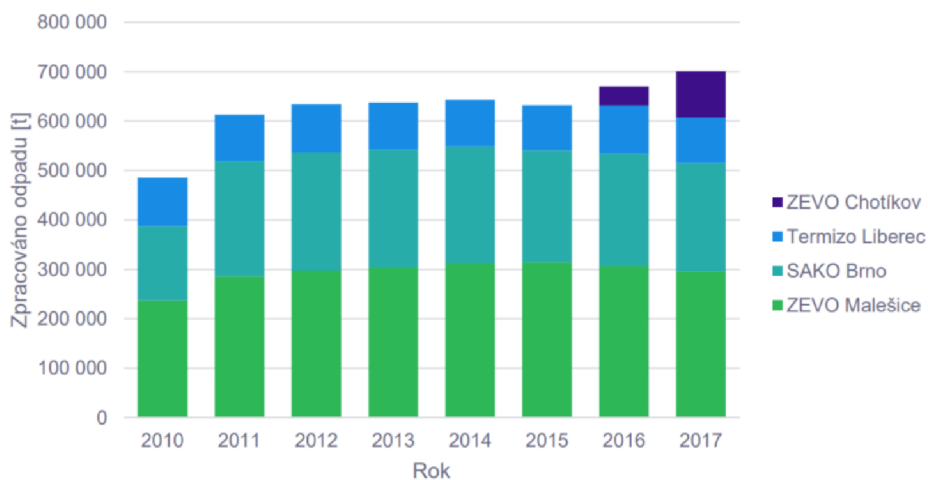
Obrázek 11: Schéma zařízení pro energetické využití odpadu SAKO Brno [39]

Zařízení v Praze-Malešicích bylo zprovozněno v roce 1998. Příjem odpadů v ZEVO Malešice je 310 000 tun ročně, z toho 300 000 tun tvoří SKO. Zařízení je napojeno na síť CZT s roční dodávkou cca 850 000 GJ tepla. Maximální výkon turbíny je 18 MW. Vyrábí teplo a elektřinu pro 20 000 domácností. Po rekonstrukci, jejíž dokončení je naplánováno v roce 2022, bude kapacita navýšena na 330 000 tun ročně. [38]

TERMIZO Liberec s roční kapacitou 96 000 tun funguje od roku 1999. Elektrický výkon se pohybuje v rozmezí 125–985 kW. Roční dodávka tepelné energie je cca 720 000 GJ/rok. Vyrobené teplo pokryje roční spotřebu 13 000 domácností, množství elektřiny dodané do sítě odpovídá roční spotřebě 3 000 domácností. [38]

V roce 2016 bylo do provozu uvedeno ZEVO v Chotíkově u Plzně. Má roční kapacitu 95 000 tun odpadu. Elektrická energie se primárně spotřebovává pro vlastní spotřebu a zbytek generované elektrické energie je vyveden do distribuční sítě 22 kV. Horká voda o parametrech 135 °C/70 °C je dodávána do sítě CZT Plzeňské teplárenské. V ZEVO Chotíkov je instalovaný maximální tepelný výkon 31,65 MW a s předpokládanou roční dodávkou tepla přibližně 400 000 GJ/rok. Instalovaný výkon generátoru je 10,5 MW. Vlastní spotřeba elektrické energie činí cca 18 000 MWh/rok a do sítě se předpokládá dodávka zhruba 36 000 MWh/rok. [38, 40]

Na obrázku 12 je zobrazeno energetické využití odpadu uvedených ZEVO za období 2010-2017. Množství spáleného odpadu v letech 2017-2019 pak uvádí tabulka 4.



Obrázek 12: Historie energetického využití odpadu v ZEVO v ČR [25]

Tabulka 4: Spalování odpadu v ZEVO v ČR [41]

Provozovna	Kapacita (t/rok)	Množství spáleného odpadu (t/2017)	Množství spáleného odpadu (t/2018)	Množství spáleného odpadu (t/2019)
SAKO Brno, a.s.	248 000	220 653	223 047	233 060
Pražské služby, a.s. ZEVO Malešice	330 000	294 899	272 211	277 943
TERMIZO, a.s.	96 000	91 755	82 679	79 559
Plzeňská teplárenská, a.s. ZEVO Plzeň	95 000	93 755	90 933	93 204

### 3.5 Cementárny

Využívání alternativních nebo náhradních paliv a odpadů v cementářských pecích se datuje od první poloviny 80. let 20. století, kdy bylo v rotačních pecích cementáren v Mokré a Čížkovicích zahájeno spalování pneumatik. K výraznějšímu zájmu o využívání netradičních paliv v cementárnách došlo po roce 1991. Nejprve bylo zahájeno využívání kapalných alternativních paliv a rozšiřováno používání drcených pneumatik a pryže. Postupně byla zařazována další alternativní paliva z odpadů (TAP, TTS, ASAPAL, ASAKALOR, RUMPOLD, PALOZO), paliva vyrobená při likvidaci starých ekologických zátěží (Kormul, SNO, paliva z ostravských lagun), masokostní moučka, kafilerní tuk a další. [27]

Alternativní paliva v cementárnách a vápenkách začala být využívána z důvodu vysoké produkce CO<sub>2</sub>. Nahrazují uhlí, které tyto látky při spalování uvolňuje podstatně více. Celkové emise při spalování v cementárnách udává tabulka 5. [42]

Tabulka 5: Průměrné emise cementáren spoluspalujících TAP v ČR [46]

Znečišťující látka	Emisní limit dle legislativy	Průměrné emise typické cementárny v ČR	Podíl z emisního limitu
	mg/m <sup>3</sup>	mg/m <sup>3</sup>	%
TZL	30	2,581	9
SO <sub>2</sub>	400	0,211	0,05
NO <sub>x</sub>	800	455,4	91
CO	nestanoven	58,03	-
TOC	50	27,386	55
Hg	0,05	0,028	56
Cd + Tl	0,05	0,00186	4
TK9 <sup>5</sup>	0,5	0,00559	1
PCDD/PCDF	0,0000001	0,000000011	11

Cementářské pece pracují při teplotách vyšších než 1 400 °C s dlouhým zádržným časem spalin, čímž dochází k dokonalé likvidaci materiálu a maximálnímu využití energie a popelovin. Další výhodou spalování TAP v cementárnách je možná recyklace zbytkového popele, který díky podobnému chemickému složení nahrazuje část vstupního materiálu – vápence či jílu. Popel se tak stává součástí slinku, který je základní surovinou při produkci cementu. [42]

Použití odpadů v procesu výpalu slinku může změnit koncentrace kovů v cementových výrobcích. V závislosti na celkovém vstupu prostřednictvím surovin a paliv se mohou koncentrace jednotlivých prvků ve výrobcích v důsledku zpracování odpadů zvýšit nebo snížit. Vzhledem k tomu, že cement se smíchává s kamenivem, např. šterkem a pískem, a vyrábí se z něj beton nebo malta, pro posouzení vlivů odpadů použitých v procesu výpalu slinku na životní prostředí je nakonec rozhodující chování kovů v daném stavebním materiálu. [32]

V tabulce 6 je uvedeno množství spáleného odpadu ve vybraných českých cementárnách v letech 2017-2019.

<sup>5</sup> TK9 představuje sumární koncentraci vybraných těžkých kovů – As, Co, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, V.

Tabulka 6: Spalování odpadu v cementárnách v ČR [41]

Provozovna	Kapacita (t/rok)	Množství spáleného odpadu (t/2017)	Množství spáleného odpadu (t/2018)	Množství spáleného odpadu (t/2019)
Českomoravský cement, a.s. Závod Králův Dvůr – Radotín	88 000	9 267	17 079	16 294
Lafarge Cement, a.s.	100 000	86 000	90 000	100 000
CEMEX Czech Republic, s.r.o., dříve Holcim (Česko), a.s.	85 000	86 225	82 294	82 258
Českomoravský cement, a.s. Cementárna Mokrá	113 800	60 119	71 707	84 088
Cement Hranice, a.s.	80 000	29 871	38 615	45 941

Tabulka 7 uvádí souhrnnou spotřebu alternativních paliv v energetice nebo cementárnách a vápenkách, zpracování ve formě grafu ilustruje obrázek 13. V případě energetiky se jedná o TAP. V případě cementáren se mezi alternativní paliva zahrnují také další tuhá aditivní paliva, pneumatiky, kapalná paliva a částečně také obnovitelné zdroje. Od roku 2019 přesahuje roční spotřeba alternativních paliv a odpadů v cementárnách a vápenkách 450 000 tun. [27]

Tabulka 7: Historie využití alternativních paliv a odpadů v cementárnách a vápenkách [27]

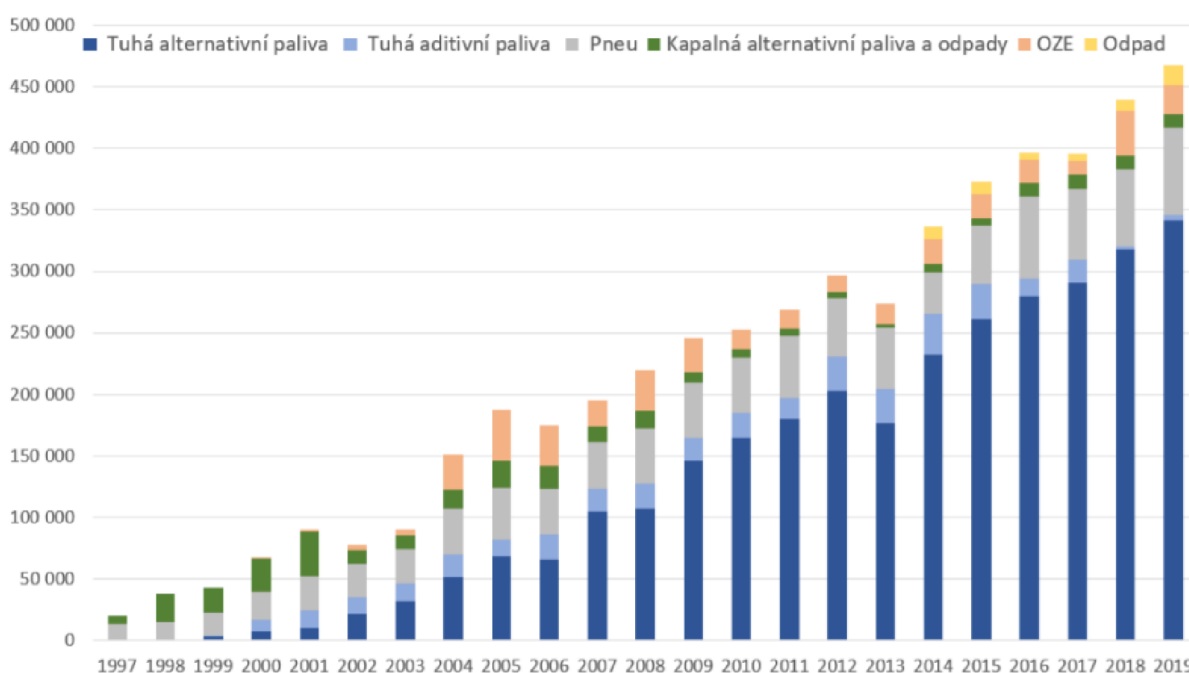
	Tuhá alternativní paliva	Tuhá aditivní paliva	Pneu	Kapalná alternativní paliva a odpady	OZE	Odpad	Celkem	Celkem energie v palivu
rok	tuny	tuny	tuny	tuny	tuny	tuny	tuny	TJ
1997	70	0	13 709	6 815	0	0	20 594	561 618
1998	75	0	15 316	22 433	0	0	37 824	1 036 236
1999	3 489	1 069	18 242	20 312	0	0	43 112	1 148 205
2000	7 191	9 829	22 517	26 939	21	0	66 497	1 721 110
2001	9 856	15 029	27 640	36 387	1 574	0	90 486	2 345 216
2002	22 211	14 579	27 101	10 979	4 110	0	77 980	1 901 382
2003	31 850	14 521	27 918	11 101	5 144	0	90 534	2 201 627
2004	51 537	18 562	36 796	15 458	29 015	0	151 368	3 535 648
2005	68 704	12 923	42 893	21 703	41 283	0	187 504	4 445 136
2006	66 111	19 780	37 319	18 842	32 657	0	174 708	4 199 668
2007	104 510	18 711	38 127	12 512	21 045	0	194 904	4 556 955
2008	107 131	20 620	44 411	14 870	32 732	0	219 764	5 025 604
2009	146 142	18 844	44 902	8 128	27 528	0	245 543	5 597 459
2010	165 010	19 680	45 537	6 130	16 351	0	252 708	5 531 634
2011	180 307	16 406	50 756	5 837	15 246	0	268 552	5 662 907
2012	203 198	27 447	47 252	5 247	13 332	0	296 476	5 885 365
2013	176 260	28 655	49 064	2 678	17 485	0	274 142	5 575 666
2014	232 674	32 479	34 134	6 713	20 273	10 385	336 658	6 975 079
2015	261 021	29 044	46 892	5 791	19 422	10 336	372 506	7 781 882
2016	279 822	14 227	66 977	10 995	18 196	6 552	396 769	8 938 830
2017	290 983	18 136	57 702	11 824	11 329	5 213	395 187	8 709 818
2018	317 496	2 745	62 818	104 741	36 780	9 468	439 781	10 489 698
2019	341 739	4 122	71 203	10 422	23 706	16 048	467 239	11 052 607



Rozdělení alternativních paliv<sup>6</sup> zařazených ve statistice:

- Kapalná alternativní paliva a odpady: ZPO; surový odpadní benzín; SLO; OXO; OSB; odpadní ředidla; odpadní oleje; KAP; ETO 10; ETO; Energooil; AROL aj.
- OZE: MKM; kafilerní tuk; Lipix; čistírenské kaly aj.
- Pneu: Pneumatiky celé i drcené; TAP Pryž; Paltas; ALTPAL MP05 aj.
- Tuhá aditivní paliva: Kormul; kaly; SNO; TPS NATUR; odpady z lagun aj.
- Tuhá alternativní paliva: ASAPAL; ASAKALOR; RUMPOLD; TTS O; Lafarge; Palozo; Palozo II; S.E.R.B.– REKLA; nerozlišená TTS; dovozová TAP aj.
- Odpad – deklarováný průmyslový odpad a jinam nezařazený odpad [27]

Cementárny a vápenky - Množství využitých alternativních paliv a odpadu (tuny)



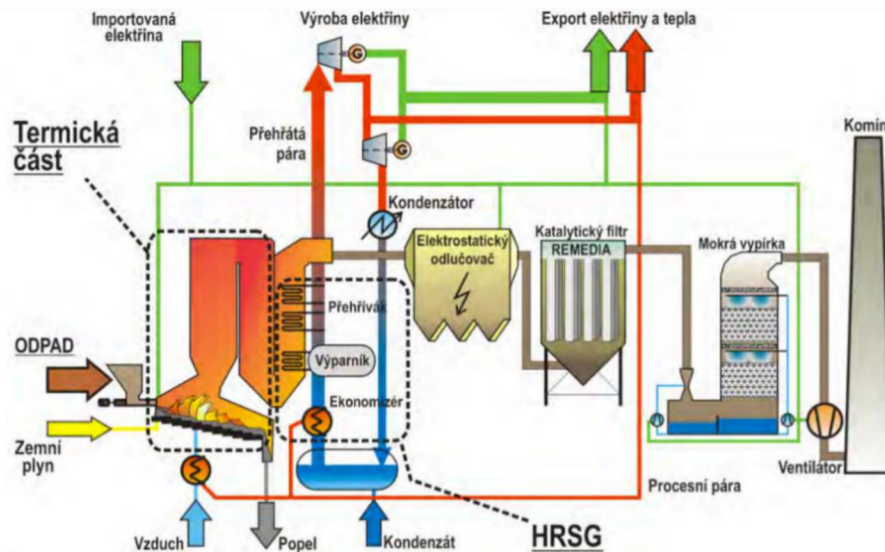
Obrázek 13: Využívání alternativních paliv a odpadů v cementárnách a vápenkách [27]

### 3.6 Monospalovny

Specifickým případem zařízení pro primární využití TAP jsou monospalovny. Monospalovny jsou zařízení koncepčně odpovídající běžným ZEVO, rozdíly jsou v použitých materiálech a v návrhu a provozním režimu termické části. Důvodem je vyšší výhřevnost TAP. Použití monospalovny se jeví jako výhodné díky menší produkci popele a prachových částic. Také je zde vysoký stupeň využití kalorického potenciálu paliva. Narozdíl od klasické spalovny neupraveného SKO je však nutno počítat v případě spalování TAP s vyšší měrnou produkcí spalin a zároveň je zapotřebí řešit problematiku dále nevyužitého SKO. [9]

Schéma typického uspořádání spalovací jednotky na TAP popisuje obrázek 14. Systém čištění spalin umožňuje řadu uspořádání. Znázorněno je řešení založené na mokré absorpci kyselých složek, elektrostatickém odloučení tuhých částic, nekatalytické redukci oxidů dusíku a katalytické filtraci dioxinů ze spalin. [9]

<sup>6</sup> Ve statistice jsou alternativní paliva uvedena pod obchodními názvy.



Obrázek 14: Schéma spalovacího procesu v monospalovně [9]

V následující tabulce 8 je uveden příklad srovnání investičních nákladů monozdroje o zpracovatelské kapacitě 278 kt/rok s produkcí vysokotlaké páry 180 t/h a investičních nákladů jednotek EVO se stejnou zpracovatelskou kapacitou a produkcí páry. Pro výše uvedené parametry monobloku byl také uvažován případ výstavby zařízení v rámci areálu provozujícího teplárenského zdroje. Zpracování bylo provedeno na základě výzkumu Ústavu procesního inženýrství VUT v Brně. [9]

Tabulka 8: Uvažované investiční náklady volené pro monospalovnu na základě investic pro modelové jednotky EVO. Převzato a upraveno z [9]

	Monoblok	Monoblok (synergie s teplárnou)	ZEVO (stejná produkce páry)	ZEVO (stejná zpracovatelská kapacita)
Výhřevnost paliva [MJ/kg]	17	17	10	10
Produkce páry 4 bar, 400 °C [t/h]	180	180	180	108
Zpracovatelská kapacita [kt/rok]	278	278	435	278
Export elektřiny při maximální dodávce tepla [MW]	8,7	-	6,6	4
Export tepla maximální [MW]	385	-	372,9	224,6
Export elektřiny při minimální dodávce tepla [MW]	23,7	-	21,3	12,8
Náklady	[mil. Kč]		[mil. Kč]	[mil. Kč]
Stavba	1567	862	1881	1254
Turbína a generátor	358	0	358	239
Energocentrum	127	0	127	85
Čištění spalin	460	460	460	306
Příjem, skladování a úprava odpadu	243	243	457	304
Spalovací zařízení a utilizace tepla	638	638	765	510
Pomocné provozy	96	0	144	96
Odvod spalin, spalinovody	348	348	348	232
Elektro, měření a regulace	496	486	745	496
Ostatní	1563	1563	1875	1250
Celkem [mld. Kč]	6	4,6	7,2	4,8

### 3.7 Úprava kotlů pro spalování TAP

TAP je možné spalovat ve stávajících zařízeních. V úvahu se bere spíše spoluspalování s uhlím a aby nedocházelo k provozním problémům, dochází zde ke konstrukčním úpravám, kterými jsou např. instalace samostatných dopravních tras či hořáků.

#### 3.7.1 Roštové kotle

Účelem roštového kotle, který je zobrazen na obrázku 14 výše, je zajistit postupné vysušení, zahřátí na zápalnou teplotu a následné dokonalé vyhoření přiváděného odpadu. Toho je dosaženo udržováním vrstvy odpadu potřebné tloušťky při zachování dobré prodyšnosti a nízkého úletu lehčích frakcí. Další nezbytné funkce roštu zahrnují přívod spalovacího vzduchu do jednotlivých míst tak, aby spalování probíhalo s optimálním součinitelem přebytku vzduchu, odvod tuhých zbytků a regulaci dle požadovaného výkonu kotle. Je-li součástí ohniště hnací ústrojí, pak mluvíme o mechanickém roštu. V opačném případě se jedná o rošt pevný. [13]

Roštová ohniště představují klasickou koncepci spaloven. Využívají se především pro spalování SKO, jelikož není třeba zabývat se stejnorodostí a jemností vstupního materiálu. Tímto způsobem je v rámci EU spalováno SKO v 90 % případů. [13]

Spoluspalování TAP s uhlím na roštu je principiálně možné a nutné úpravy spalovacího zařízení jsou v převážné většině případů nepatrné. V závislosti na způsobu přívodu uhlí na rošt je možné TAP do uhlí přisypávat nebo přimíchávat již během dopravy ze skládky do kotelny. Oddělený přívod TAP do kotle není tedy nutný. Podíl TAP ve směsi s uhlím by mohl být vysoký (cca do 30 %), omezení vyplývá z přípustného maximálního tepelného zatížení roštu, které lze velmi hrubě charakterizovat směsnou výhřevností do 20 MJ/kg při spoluspalování s hnědým uhlím. [43]

#### 3.7.2 Práškové kotle

Práškové kotle pro spoluspalování TAP mohou být upraveny dodatečnou instalací samostatných hořáků, do kterých je upravený odpad přiváděn samostatnou dopravní cestou ze zásobníku a do prostoru ohniště je rozptylován pneumaticky nebo mechanicky. Převážná část odpadu shoří v letu v prostoru spodní části ohniště a výsyvky. Vzniká však riziko, že větší a hmotnější částice v nevyhořelém stavu spadnou do výsyvky ohniště, odkud jsou odváděny spolu se škvárou a mohou zvýšit podíl nespálených látek v tuhých zbytcích nad přijatelnou mez pro jejich další využití. Je proto nezbytné doplnit do výsyvky granulačního ohniště dohořivací rošt, na kterém nevyhořelé zbytky mohou dohořet. K tomu je zapotřebí pod rošt přivést určité množství spalovacího vzduchu. Podíl spoluspalovaného paliva z odpadu může být 5 až 15 % tepelného příkonu. [44]

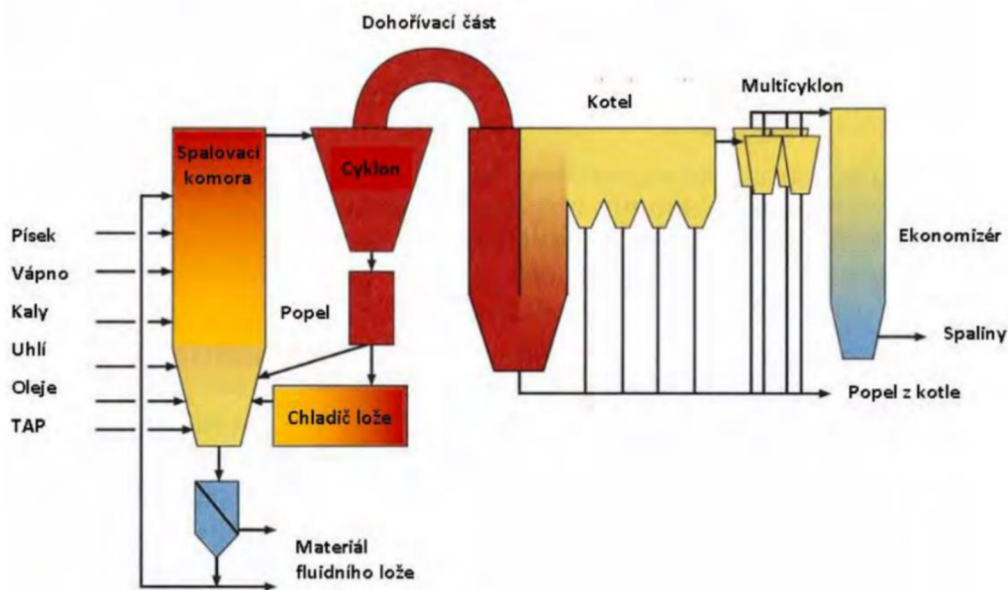
V druhém případě není odpad rozptylován do prostoru výsyvky, nýbrž je přiváděn přímo na rošt umístěný na dno výsyvky, kde vyhořívá ve vrstvě. Odpadá tedy nutnost instalovat samostatné hořáky, současně je však třeba zvětšit velikost roštu. [44]

Obě možnosti jsou z hlediska aplikovatelnosti ekvivalentní. Volba konkrétního způsobu spoluspalování se v konkrétních případech rekonstrukcí stávajících kotlů řídí především dispozičními a konstrukčními možnostmi. [44]

### 3.7.3 Fluidní kotle

Fluidní spalování je technologie při níž je palivo spodním proudem vzduchu uvedeno do vznosu (fluidace) a v tomto stavu vyhořívá. K vytvoření stabilní fluidní vrstvy je zapotřebí většího množství materiálu, než je hmota paliva, proto je fluidní lože tvořeno z větší části inertním materiálem, kterým může být popel z paliva nebo uměle dodávaný materiál (např. písek o různé zrnitosti, keramzit apod). Nízká koncentrace paliva ve fluidní vrstvě, která se pohybuje v řádu jednotek procent, umožňuje vést spalování při velmi nízké teplotě kolem 850 °C. Intenzivní směšování paliva s oksyličovadlem a dlouhá doba setrvání ve vrstvě při tom zajišťuje kvalitní spalování s minimální produkcí CO a NO<sub>x</sub> a velmi dobré vyhoření paliva. Výhodou spalování při nízké teplotě je možnost provádění tzv. aditivního odsiřování. Přímo do vrstvy lze dávkovat rozemletý vápenec CaCO<sub>3</sub>, který se termickou kalcinací mění na vápno CaO, s nímž reaguje oxid siřičitý SO<sub>2</sub> na sádrovec CaSO<sub>4</sub>. Z odpadů je nezbytné odstranit kovové a skleněné předměty, které způsobují slinování fluidní vrstvy. [18, 43]

Podle chování fluidní vrstvy rozlišujeme kotle se stacionární (bublinkovou) fluidní vrstvou a kotle s cirkulující fluidní vrstvou. Kotle se stacionární vrstvou se vyznačují nižší rychlostí fluidační tekutiny, menší expanzí (výškou) vrstvy a tepelnými výkony do 100 MW. V praxi se již při instalovaném výkonu nad 50 MW upřednostňuje cirkulující fluidní vrstva. Kotle s fluidním ohništěm bývají menší než rotační pece nebo kotle s roštovým ohništěm při srovnatelném tepelném výkonu, jsou však technicky a provozně náročnější a mají vyšší spotřebu vzduchového ventilátoru. Schéma fluidního kotle je uvedeno na obrázku 15. [13]



Obrázek 15: Schéma fluidního spalovacího zařízení [9]

Důvodem pro rozvoj této technologie je kromě již zmíněné možnosti aditivního odsiřování menší citlivost na změnu kvality paliva, která umožňuje jednodušší aplikaci multipalivového programu než např. u práškových kotlů. Díky této výhodě již bylo možné u většiny fluidních kotlů v minulosti přejít na spoluspalování biomasy, a to s minimálními nároky na úpravu stávající technologie a bez výraznějších dopadů na provozní ukazatele kotlů. [43]

Úprava zařízení spočívá ve zřízení samostatné dopravní trasy ze skladu až do kotle, jelikož dosavadní zkušenosti prokázaly, že není vhodné palivo s uhlím míchat a dopravovat do kotle společně. Způsob jejího zaústění do kotle je třeba řešit individuálně. [44]



## **ZÁVĚR**

Vzhledem k dlouhodobému růstu množství odpadu na skládkách, což je nejméně žádaný způsob nakládání s odpady, se jeví produkce TAP jako vhodná alternativa, a to i z důvodu postupného navyšování poplatků za skládkování a jeho omezení do roku 2030. Objem skládkovaného odpadu lze díky energetickému využití odpadů snížit až desetinásobně. Navíc může použití TAP v energetických zařízeních nahradit neobnovitelné fosilní zdroje.

TAP se mohou vyrábět z SKO pomocí linek MBÚ. Odpad je zde roztríděn na jednotlivé složky podle následného využití. Pro výrobu TAP se používá lehká frakce, která se dále upravuje a zpracovává do pelet či briket. Materiálově využitelné složky jsou recyklovány, biologicky rozložitelné podíly mohou být použity pro výrobu bioplynu. V ČR se TAP vyrábí především z průmyslových odpadů, první linka MBÚ je ve zkušebním provozu.

TAP má oproti samotnému SKO poměrně vysokou výhřevnost, srovnatelnou s jinými palivy. Spalování však probíhá za vyšších teplot a hrozí zde zvýšený výskyt chloru, který způsobuje problémy na trase spalin, konkrétně chlorovou korozi. Navíc je možné TAP spalovat pouze v takových spalovacích zařízeních, která splňují náročné legislativní požadavky. Použité technologie musí být upravené tak, aby byl zajištěn bezproblémový provoz, a je třeba, aby spalování probíhalo v souladu s ochranou životního prostředí.

Velice výhodné je využít TAP v cementárnách nebo vápenkách, kde dochází i k materiálovému využití. Díky podobným fyzikálně-chemickým vlastnostem je popelovina ze spalování TAP použita pro výrobu slínku, příp. podsítných podílů vápna (štěrkového vápna). Používání TAP v cementářském a vápenickém průmyslu je výhodné i z hlediska ekologického, neboť vlivem vysokých spalovacích teplot nedochází k tvorbě toxických plynů. Kapacity českých cementáren jsou však omezené a v blízké době se neočekává výrazné zvýšení podílu použití odpadu.

Dalším východiskem může být výstavba monospaloven. Z hlediska realizace a případných investic je výhodnější tato zařízení integrovat do stávajících energetických zdrojů. Je otázkou, zda bude v budoucnu využito spíše spalování odpadu v běžných ZEVO, či se vyplatí stavět nové monozdroje.

Spoluspalování TAP v již existujících zařízeních je z technologických důvodů uvažováno především ve fluidních kotlích. Až na zřízení samostatné dopravní trasy ze zásobníku do kotle jsou nutné úpravy minimální. Testy na elektrárně Tisová ukázaly teoretickou možnost až 30 % podílu TAP v uhlí.

Co se emisních limitů týče, i přes značnou nedůvěru populace se neočekávají větší problémy s jejich splněním. Při spalování platí velice přísné podmínky a uvedená spalovací zařízení jsou vybavena několikasťupňovým čištěním spalin.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] ČSN EN 15359 Tuhá alternativní paliva – Specifikace a třídy. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012
- [2] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7
- [3] Paliva a energie. *ATMOS* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://www.atmos.eu/paliva-a-energie/>
- [4] JEVIČ, Petr, Petr HUTLA a Zdeňka ŠEDIVÁ. *Udržitelná výroba a řízení jakosti tuhých paliv na bázi agrárních bioproduktů* [online]. Praha, 2008 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/33722/Metodika\\_Jevi.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/33722/Metodika_Jevi.pdf)
- [5] STACH, Martin, Zdeněk KLIKA a Lucie BARTOŇOVÁ. *Distribuce a zachytávání rtuti při spalování pevných paliv* [online]. Ostrava, 2005 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <http://gse.vsb.cz/2005/LI-2005-2-27-42.pdf>
- [6] Třídění odpadu. *Komunalniekologie.cz* [online]. 2019 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: <https://www.komunalniekologie.cz/info/spravne-trideni-odpadu-co-patri-do-smesneho-komunalniho-odpadu->
- [7] Skladba směsného komunálního odpadu z domácností ČR. *EKO-KOM, a.s.* [online]. 2019 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/news/715/212/skladba-smesneho-komunalniho-odpadu-z-domacnosti-cr>
- [8] BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ. *Spalovny odpadu – odpad jako palivo* [online]. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <http://energetika.tzb-info.cz/energie-z-odpadu/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- [9] 4.6 Analýza přechodu komunálního odpadu (skupina 20 Katalogu odpadů) na palivo z odpadu. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2015 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OODP-4\\_6\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [10] Časopis Odpady: Výhody výroby a využití paliv z odpadů (TAP). *ČAOH* [online]. 2020 [cit. 2021-02-26]. Dostupné z: [http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/casopis-odpady-vyhody-vyroby-a-vyuziti-paliv-z-odpadu-tap.html?fbclid=IwAR0AwRUeVi1uWpFuUOdpcj8ZleJFL-FaW\\_IJHLA1HKRst1E1syIL3rRNSxI](http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/casopis-odpady-vyhody-vyroby-a-vyuziti-paliv-z-odpadu-tap.html?fbclid=IwAR0AwRUeVi1uWpFuUOdpcj8ZleJFL-FaW_IJHLA1HKRst1E1syIL3rRNSxI)
- [11] Granulowanie RDF/SRF/MSD. In: *Nawrocki Technologie Granulowania* [online]. [cit. 2021-04-16]. Dostupné z: <https://www.grulatory.com/paliwo-ze-smieci-rdf-srf-asr>
- [12] *Odpadové fórum* [online]. Praha: CEMC – České ekologické manažerské centrum, 2003 [cit. 2021-04-16]. ISSN 1212-7779. Dostupné z: <http://www.odpadoveforum.cz/upload/pageFiles/11-2003-pdf.pdf>
- [13] KOLONIČNÝ, Jan, David KUPKA, Tadeáš OCHODEK a Jiří HORÁK. *Studie energetického využití komunálního odpadu v Moravskoslezském kraji* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava, 2014, 93 s. [cit. 2021-03-30]. ISBN 978-80-248-3547-1. Dostupné z: <https://vec.vsb.cz/export/sites/vec/.content/galerie-souboru/231-studie-odpady-c-2-tisk.pdf>
- [14] Výroba tuhých alternativních paliv. *Rumpold, provozovna Mýto* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <http://www.myto.rumpold.cz/novinky/zobrazit/234>

- [15] HABART, Jan a Ivo KROPÁČEK. *Skutečně potřebné kapacity pro energetické využití odpadu v ČR* [online]. Brno: Hnutí DUHA, 2016 [cit. 2021-03-30]. ISBN 978-80-86834-64-1. Dostupné z: [https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2016/12/hnuti\\_duha\\_-\\_studie\\_-\\_kapacity\\_sko\\_kniha\\_02\\_v2.pdf](https://hnutiduha.cz/sites/default/files/publikace/2016/12/hnuti_duha_-_studie_-_kapacity_sko_kniha_02_v2.pdf)
- [16] PUTNA, Ondřej, Radovan ŠOMPLÁK, Jiří KROPÁČ, Jiří GREGOR, Vlastimil NEVRLÝ a Martin PAVLAS. *Studie možností využití a zpracování odpadů v regionu Táborsko* [online]. Brno, 2019 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://www.c-energy.cz/upload/Studie\\_VUT\\_Brno\\_2019.pdf](https://www.c-energy.cz/upload/Studie_VUT_Brno_2019.pdf). Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav procesního inženýrství.
- [17] KLACKO, Kamil. *Možnosti zpracování komunálního odpadu po roce 2024* [online]. Ostrava, 2018 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129755/KLA029\\_HGF\\_B2102\\_3904R022\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/129755/KLA029_HGF_B2102_3904R022_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava. Vedoucí práce Ing. Miluše Hlavatá, Ph.D.
- [18] KURAŠ, Mečislav, Vojtěch DIRNER, Vladimír SLIVKA a Milan BŘEZINA. *Odpadové hospodářství*. Chrudim: Ekomonitor, 2008, 143 s.; 25 cm. ISBN 978-80-86832-34-0
- [19] ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ, Lucie KUČEROVÁ, Markéta BOUCHALOVÁ a Taťána BARABÁŠOVÁ. *Biologické metody zpracování odpadů* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Charakteristika\\_bioodpadu.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Charakteristika_bioodpadu.html)
- [20] Sokolovská uhelná a SUEZ vybudovaly zařízení na mechanicko-biologickou úpravu odpadu, první svého druhu v ČR. In: *Ekolist.cz* [online]. Praha, 2020 [cit. 2021-5-14]. ISSN 1802-9019. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/sokolovska-uhelna-a-suez-vybudovaly-zarizeni-na-mechanicko-biologickou-upravu-odpadu-prvni-sveho-druhu-v-cr>
- [21] Cyklus energetického využití odpadu. In: *O energetice* [online]. [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/domains/oenergetice.cz/wp-content/uploads/2015/07/evo.jpg>
- [22] Podklady pro oblast podpory odpadového a oběhového hospodářství OPŽP 2021–2027: Energetické využití odpadů. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. 2020 [cit. 2021-03-30]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove\\_obehove\\_hospodarstvi/\\$FILE/OODP-4\\_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpadove_obehove_hospodarstvi/$FILE/OODP-4_Energeticke%20vyuziti%20odpadu-20200529.pdf)
- [23] Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech In: *Zákony pro lidi*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>
- [24] Produkce, využití a odstranění odpadů. *Český statistický úřad* [online]. 2019 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/123243248/28002020.pdf/2b10e665-7aac-4baf-9ff9-d097203573c1?version=1.3>
- [25] Plán odpadového hospodářství ČR. *Ministerstvo životního prostředí* [online]. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/cz/plan\\_odpadoveho\\_hospodarstvi\\_cr](https://www.mzp.cz/cz/plan_odpadoveho_hospodarstvi_cr)
- [26] Energetické využití odpadů. *Ústav energetiky Fakulty strojní ČVUT* [online]. 2020 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <http://energetika.cvut.cz/wp-content/uploads/ELO-pr-12.pdf>
- [27] Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989–2019. *Ministerstvo průmyslu a obchodu* [online]. 2020 [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2020/7/Statistika-EVO-2019.pdf>
- [28] Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší In: *Zákony pro lidi*. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>

- [29] JECHA, D. Absorpční čištění spalin vznikajících spalováním odpadů. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 118 s., 10 s. příloh, Vedoucí disertační práce doc. Ing. Ladislav Bébar, CSc.
- [30] Oxid uhelnatý (CO). *Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxid\\_uhelnaty\\_Karta\\_latky\\_11012019.pdf](https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxid_uhelnaty_Karta_latky_11012019.pdf)
- [31] Minimalizace vlivu využívání biomasy na životní prostředí. *Podpora lokálního vytápění biomasou* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/ekomin.htm>
- [32] Průmyslová odvětví výroby cementu, vápna a oxidu hořečnatého. *Referenční dokument o nejlepších dostupných technikách* [online]. 2010 [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno\\_konecny.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ippc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecistení/referencni-dokumenty-bref/2016/12/BREF-Cement-vapno_konecny.pdf)
- [33] Oxid dusný (N<sub>2</sub>O). *Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxid\\_dusny\\_Karta\\_latky\\_11012019.pdf](https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxid_dusny_Karta_latky_11012019.pdf)
- [34] Oxidy dusíku (NO<sub>x</sub>/NO<sub>2</sub>). *Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxidy\\_dusiku\\_Karta\\_latky\\_11012019.pdf](https://irz.cz/sites/default/files/latky/Oxidy_dusiku_Karta_latky_11012019.pdf)
- [35] Thierry Lecomte, José Félix Ferrería de la Fuente, Frederik Neuwahl, Michele Canova, Antoine Pinasseau, Ivan Jankov, Thomas Brinkmann, Serge Roudier, Luis Delgado Sancho; Best Available Techniques (BAT) Reference Document for Large Combustion Plants; EUR 28836 EN; doi 10.2760/949
- [36] ANDREOVSKÝ, Jan. Spalování paliv – Kotle. *Odborné vzdělávání úředníků pro výkon státní správy ochrany ovzduší v ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/mii\\_dil\\_7\\_rev1.pdf](http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/filepath/prezentace/mii_dil_7_rev1.pdf)
- [37] Spalovna odpadu v Brně. *SAKO Brno, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/materialy-ke-stazeni/cz/>
- [38] Co je ZEVO. *ČEZ, a. s.* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>
- [39] Energetické využití odpadu. *SAKO Brno, a.s.* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [40] O nás. *Plzeňská teplárenská a.s. - ZEVO Plzeň* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/o-nas>
- [41] Seznam spaloven odpadů v ČR. *Český hydrometeorologický ústav, Oddělení emisí a zdrojů* [online]. [cit. 2021-04-04]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/index.html>
- [42] Cementárne spotrebujú státisíce ton paliva vyrobeného z odpadu, časť musia dovážať zo zahraničia. *PROPERTY & ENVIRONMENT s. r. o.: Odpady-portal.sk* [online]. [cit. 2021-04-08]. ISSN 1338-1326. Dostupné z: <https://www.odpady-portal.sk/Dokument/105426/cementarne-spotrebujustatisice-ton-paliva-vyrobeneho-z-odpadu-cast-musia-dovazat-zo-zahranicia.aspx>
- [43] DVOŘÁČEK, Tomáš, Tomáš ROSENBERG, Josef URBAN, František STRAKA, Jörg HANWINKEL, Zdeněk FUNDA a Tomáš DLOUHÝ. Příprava výzvy k předkládání žádostí na projekty zařízení mechanickobiologické úpravy odpadů a příslušné infrastruktury a výzvy na úpravu kotlů za účelem splnění pro spoluspalování odpadů: Část I. *Bioprofit s.r.o.* [online]. 2009 [cit. 2021-04-08]. Dostupné z: <https://www.mb-eko.cz/sites/default/files/documents/category/sekce-webu/hlavni/aktualita/zprava-mbu.pdf>

- [44] Odpadové fórum. *Energetické využití odpadů: Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie: [tematická informační příručka]*. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2010. ISBN 978-80-85990-15-7.
- [45] KUNC, V. Strategie a techniky kontroly znečištění pro spalovací procesy. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 30 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Petr Bělohradský.
- [46] Odpadové fórum. *Přínos cementáren k čistotě ovzduší v ČR* [online]. Praha: České ekologické manažerské centrum, 2016 [cit. 2021-04-13]. Dostupné z: <https://s3.eu-central-1.amazonaws.com/uploads.mangoweb.org/shared-prod/svcement.cz/uploads/2016/06/emise-cementaren-2016.pdf>
- [47] Polychlorované bifenyly (PCB). *Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: [https://www.irz.cz/repository/latky/polychlorovane\\_bifenyly.pdf](https://www.irz.cz/repository/latky/polychlorovane_bifenyly.pdf)
- [48] PCDD+PCDF (dioxiny+furany). *Integrovaný registr znečišťování MŽP ČR* [online]. [cit. 2021-04-03]. Dostupné z: <https://irz.cz/node/81>



## **SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obrázek 1: Průměrné složení SKO v ČR v roce 2018 (hm. %) [7].....	14
Obrázek 2: Struktura komunálního odpadu [9] .....	15
Obrázek 3: TAP v neupravené a peletované formě [11] .....	17
Obrázek 4: Proces MBÚ [8] .....	18
Obrázek 5: Materiálové složení paliva Palozo [13].....	20
Obrázek 6: Cyklus energetického využití odpadu. Převzato a upraveno z [21] .....	22
Obrázek 7: Hierarchie nakládání s odpady. Upraveno z [23].....	23
Obrázek 8: Využití odpadu v roce 2019 [24] .....	24
Obrázek 9: Využití komunálního odpadu v roce 2019 [24] .....	24
Obrázek 10: Emise při spalování v ZEVO [37].....	29
Obrázek 11: Schéma zařízení pro energetické využití odpadu SAKO Brno [39] .....	29
Obrázek 12: Historie energetického využití odpadu v ZEVO v ČR [25].....	30
Obrázek 13: Využívání alternativních paliv a odpadů v cementárnách a vápenkách [27] .....	33
Obrázek 14: Schéma spalovacího procesu v monospalovně [9] .....	34
Obrázek 15: Schéma fluidního spalovacího zařízení [9].....	36

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Systém klasifikace TAP [1] .....	13
Tabulka 2: Prvkové složení KO v sušině dle BREF [8].....	15
Tabulka 3: Výhřevnost jednotlivých složek KO [8] .....	16
Tabulka 4: Spalování odpadu v ZEVO v ČR [41] .....	30
Tabulka 5: Průměrné emise cementáren spoluspalujících TAP v ČR [46].....	31
Tabulka 6: Spalování odpadu v cementárnách v ČR [41].....	32
Tabulka 7: Historie využití alternativních paliv a odpadů v cementárnách a vápenkách [27].....	32
Tabulka 8: Uvažované investiční náklady volené pro monospalovnu na základě investic pro modelové jednotky EVO. Převzato a upraveno z [9].....	34