

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ

ENERGY USE OF WASTE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Milan Přidal

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav
Student: **Milan Přidal**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **doc. Ing. Marek Baláš, Ph.D.**
Akademický rok: 2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Energetické využití odpadů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Využívání odpadů pro energetické účely je jedním z hlavních téma české energetiky. Odpad jako druhotný zdroj energie se jeví jako optimální doplněk palivového mixu – šetří se primární palivo, snižuje se množství skládkovaného odpadu a tím i ekologická zátěž. Na druhou stranu se spalováním odpadů uvolňují velmi nebezpečné látky a snaha o maximální využití může vést k nižší motivaci separace využitelných složek odpadů.

Cíle bakalářské práce:

- přehled vlastností odpadů jako paliva
- přehled dostupných technologií úprav a využití odpadů jako paliva a jejich aplikace v ČR
- ekologické aspekty využívání odpadů

Seznam doporučené literatury:

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

BALÁŠ, Marek. Kotle a výměníky tepla. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

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 problematikou energetického využití odpadu. První část je zaměřena na základní informace o odpadu. Konkrétně rozebírá jeho vznik, rozdělení a hierarchii nakládání s odpadem. Následuje bližší pohled na složení komunálního odpadu a jeho vlastnosti jako paliva. Dále jsou popsány některé technologie spojené s termickým zpracováním odpadu. Třetí a čtvrtá kapitola ukazuje a srovnává konkrétní zařízení na energetické využití odpadu v ČR a v zahraničí. Cílem závěrečné části je upozornit na některé ekologické aspekty a pokusit se o jejich objektivní zhodnocení.

Klíčová slova

Energetické využití odpadu, odpad, hierarchie nakládání s odpadem, ZEVO, ekologické aspekty

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with waste-to-energy topic. The first part is focused on basic informations about waste. Specifically about production, distribution and hierarchy of waste management. The following section describes composition and properties of municipal waste as a fuel. This part also evotes some technologies which are used in facilities for the energy use of waste. Third and fourth chapter shows and compares particular waste-to-energy plants in Czech republic and rest of the world. The goal of final part is to warn about some ecological aspects and try to create their objective view.

Key words

Waste-to-energy, waste, hierarchy of waste management, WtE plant, ecological aspects

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PŘIDAL, Milan. *Energetické využití odpadů* [online]. Brno, 2019, 55 s. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116664>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Marek Baláš.

PROHLÁŠENÍ

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

V Brně dne 25. 5. 2019

.....
Milan Přidal

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych tímto poděkoval vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Marku Balášovi, Ph.D. za svůj obětovaný čas a cenné odborné rady, které mi poskytl.

OBSAH

ÚVOD	11
1 Odpad	12
1.1 Vznik odpadu.....	12
1.2 Rozdělení odpadu	13
1.2.1 Druhy odpadu podle původu	13
1.2.2 Druhy odpadu podle vlastností.....	14
1.3 Hierarchie nakládání s odpadem.....	15
1.3.1 Předcházení vzniku odpadu.....	15
1.3.2 Příprava k opětovnému použití	16
1.3.3 Recyklace	16
1.3.4 Jiné využití odpadu.....	16
1.3.5 Odstranění odpadu.....	16
2 Energetické využití odpadu	18
2.1 Odpad jako palivo.....	18
2.2 Technologie ZEVO.....	22
2.2.1 Svoz odpadu	22
2.2.2 Skladování odpadu	22
2.2.3 Spalování odpadu	23
2.2.4 Využití tepla	24
2.2.5 Sekundární produkty spalování odpadu	24
2.2.6 Systém čištění spalin	26
2.3 Další možnosti EVO	27
2.3.1 Mechanicko-biologická úprava a využití TAP.....	27
2.3.2 Pyrolýza.....	29
2.3.3 Zplyňování	30
3 Spalovny odpadu v ČR.....	31
3.1 Zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO).....	31
3.1.1 SAKO Brno	32
3.1.2 ZEVO Malešice.....	34
3.1.3 TERMIZO Liberec	35
3.1.4 ZEVO Chotíkov	36

3.1.5	Srovnání ZEVO v ČR	37
4	ZEVO v zahraničí.....	38
4.1	ZEVO AEB Amsterdam	38
4.2	ZEVO Spittelau	39
4.3	ZEVO Amager Bakke	39
4.4	ZEVO Shenzen	40
5	Ekologické aspekty spalování odpadu	41
5.1	Alternativa fosilních paliv	42
5.2	Destrukce nežádoucích látek	43
5.3	Snížení objemu a hmotnosti odpadu.....	43
5.4	Využití škváry a popílku.....	43
5.5	Snížení emisí skládkových plynů	43
5.6	Svoz odpadů	43
5.7	Nízká motivace pro separaci složek odpadu.....	44
5.8	Provoz spalovny	44
5.9	Vznik emisí.....	45
	ZÁVĚR.....	46
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	48
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	55

ÚVOD

V dnešní době je problematika odpadového hospodářství často skloňovaným tématem. S rostoucím počtem obyvatel a zvyšující se životní úrovní, dochází k produkci většího množství odpadu. Díky rozvoji technologií a novým materiálům vzniká také o dost širší spektrum druhů odpadu, než tomu bylo v minulosti. Některé z nich navíc nepodléhají snadnému rozkladu. Otázka, jak perspektivně naložit s odpadem, je tedy velmi aktuální. Odvezení na skládku je sice ekonomicky výhodné, ale tato metoda již neodpovídá dnešním předpokladům vhodného naložení s odpadem. Skládky postupně zaplňují své kapacity a pro nové už se jen těžko nachází místo. Z hlediska aktuálních trendů se především hledá způsob, jak omezit produkci nových odpadů. Tento princip tak spadá spíše do úrovně oběhového hospodářství, protože se zaměřuje například na technologie a materiály používané při výrobě nových produktů. Úplné zamezení vzniku nového odpadu zní zatím nereálně, takže je vhodné nalézt způsob zpracování odpadu, který je šetrný vůči životnímu prostředí a zároveň má určitý přínos pro populaci. V úvahu přichází materiálové nebo energetické využití. Recyklace je nepochybně tou lepší variantou, ale momentálně není technicky možné recyklovat všechnen odpad. Moderní zařízení na energetické využití odpadu nabízí možnost přeměny zbytkového, jinak nevyužitelného, odpadu na energii.

První část této bakalářské práce se bude zabývat uvedením do problematiky odpadů. Budou vymezeny potřebné pojmy z hlediska legislativy ČR a odpad bude rozdělen do skupin. Následně bude vysvětlen princip hierarchie nakládání s odpady. Druhá část se bude věnovat využití odpadu pro energetické účely. Budou rozebrány vlastnosti odpadu jako paliva a také jeho podrobné složení. Dále budou popsány některé dostupné technologie úprav a využití odpadu jako paliva. Třetí část bude zaměřena na aplikace technologií v zařízeních energetického využití odpadu (ZEVO) v ČR. Větší pozornost zde bude věnována spalovacím zařízením na komunální odpad. Čtvrtá část bude sloužit jako ukázka některých moderních ZEVO ve světě. V poslední části budou zmíněny a okomentovány ekologické aspekty spojené s energetickým využíváním odpadů.

1 Odpad

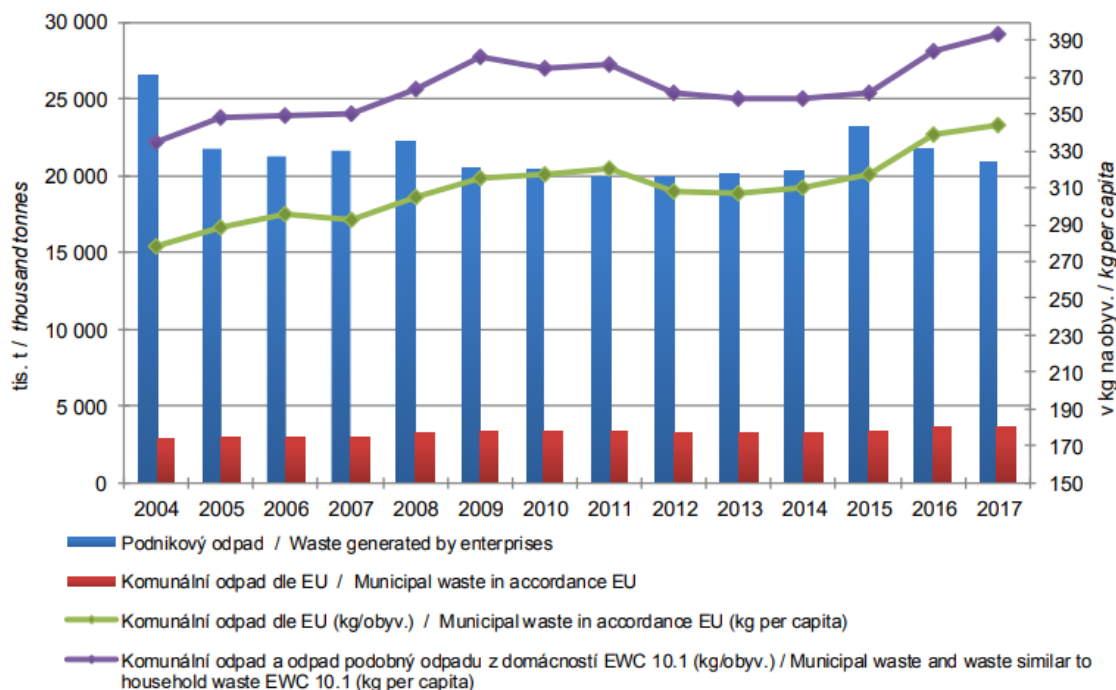
Definice pojmu odpad je uvedena v § 3 odst. 1 zákona č 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

„Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit.“

1.1 Vznik odpadu

Počátky odpadu lze datovat již do dávných dob. Některé z důležitých faktorů, které značně ovlivnily produkci odpadu byl například rozvoj zemědělství nebo průmyslová revoluce. Vznik odpadu je úzce spjat s každodenním životem lidí. Tudiž s postupným nárůstem počtu obyvatel, zvyšující se životní úroveň a technologickým pokrokem, se také zvyšovalo množství vyprodukovaného odpadu. K největším potížím s odpady docházelo v hustě obydlených městech. To zapříčinilo, že v nich byla technologie zpracování odpadů na daleko vyšší úrovni než na méně osídlených místech.

V nynější době se řeší problém s odpady intenzivněji, než tomu bylo dříve. S ohledem na životní prostředí se většina vyspělých států snaží docílit situace, kdy vzniká co nejmenší množství odpadu. Tudiž byla zavedena řada zákonů a vyhlášek, které vymezují možnosti pro šetrné nakládání s odpady. První právní předpis o odpadech byl na našem území ustanoven v roce 1991. V důsledku nedokonalostí byl následně nahrazován novými zákony. [1]



obrázek 1-1 Vývoj produkce odpadu v ČR [2]

Z obrázku 1.1 je patrné, že v posledních letech dochází k mírnému poklesu produkce odpadu. Především se tak děje v oblasti podnikání. Dle ČSÚ v roce 2017 dosáhla celková

produkce odpadů na území ČR 24,9 milionu tun. Z toho při činnosti podniků vzniklo 20,9 milionu tun, což je zhruba o 0,9 milionu tun odpadu méně než v předchozím roce. Dalších 3,6 milionu tun tvořil v roce 2017 komunální odpad, tedy odpad vyprodukovaný v českých domácnostech. [2]

1.2 Rozdělení odpadu

Odpady můžeme rozdělit do několika skupin. Jednak lze jednotlivé druhy definovat podle toho, kde byly vyprodukovány a jednak jde na odpad pohlížet z hlediska jeho vlastností. Podle původu odpad dělíme do několika základních skupin, kterými jsou komunální odpady, odpady vznikající při průmyslové činnosti a odpady ze zemědělství či lesnictví. Na základě vlastností odpadu rozlišujeme nebezpečné a ostatní odpady. [3]

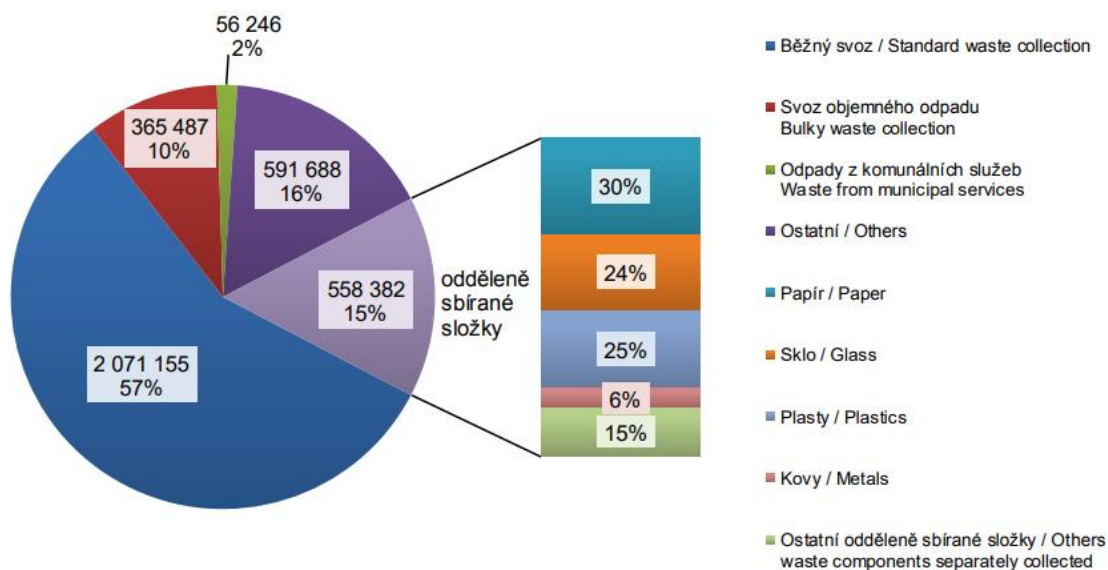
1.2.1 Druhy odpadu podle původu

Komunální odpady

Nejčastějším druhem odpadu, se kterým se denně setkáváme je komunální odpad. Pojem komunální odpad je vysvětlen v § 4 odst. 1 b) zákona č 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů.

„Veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání.“

Jinak řečeno, jedná se tedy o odpad, který je vyprodukován převážně v domácnostech. Ne-smíme ovšem opomenout odpad vznikající při činnosti veřejných služeb. To jsou například obchody, řemeslníci, technické služby, státní instituce atd. [1]



obrázek 1-2 Komunální odpad dle způsobu svozu v roce 2017 v ČR [2]

Na obrázku 1.2 je graficky znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých druhů svozu komunálního odpadu v ČR za rok 2017. Můžeme si všimnout, že 57 % tvořil běžný svoz smíšeného komunálního odpadu. Také je patrné, že v českých domácnostech bylo vytríděno pouze 15 % odpadu.

Komunální odpady se obvykle skládají z mnoha složek. Jejich struktura se liší vlivem různých faktorů. Například záleží na místě, kde je odpad vyprodukován. Odpad na městském sídlišti většinou obsahuje daleko větší koncentraci biologicky rozložitelné složky, než je tomu u odpadu ze zahrádkářských kolonií. Lidé, kteří vlastní zahradu totiž často tento druh odpadu kompostují a následně využívají jako hnojivo. [4]

Odpady z podniků

Největší podíl na celkovém množství vyprodukovaného odpadu zaobírá odpad z podniků, který je legislativně nazýván jako odpad podobný komunálnímu odpadu. V § 4 odst. 1 c) zákona č 185/2001 Sb., o odpadech a o změně některých dalších zákonů, se uvádí:

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

Tyto odpady tedy vznikají při různých ekonomických činnostech. Přibližně 67 % z celkové produkce podnikového odpadu za rok 2017 v ČR vzniklo ve stavebnictví a zpracovatelském průmyslu. Další 17 % při činnostech souvisejících s odpadními vodami, odpady a sanacemi. Mezi menší producenty odpadu patřilo například zemědělství, lesnictví, těžba, energetika, doprava a skladování. Odpady z většiny těchto odvětví mívají často nebezpečnější vlastnosti než komunální odpady. [2]

1.2.2 Druhy odpadu podle vlastností

Nebezpečné odpady

Tento druh odpadu je charakteristický tím, že vykazuje určité nebezpečné rysy. Míru nebezpečnosti jednotlivých odpadů můžeme stanovit podle katalogu odpadů. V tom je již evidováno mnoho druhů odpadu, které jsou označeny tzv. katalogovými čísly společně s doplňkovým písmenem „N“ nebo hvězdičkou. Obecně jsou mezi hlavní nebezpečné odpady řazeny hlavně radioaktivní a biologické odpady, které vykazují potenciální chemické působení.

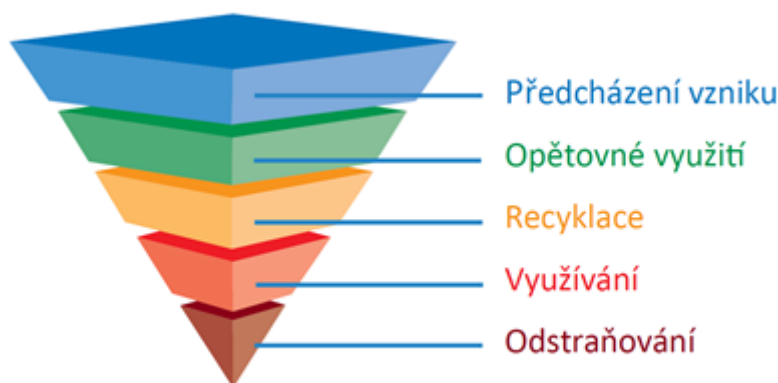
Mezi nebezpečné vlastnosti odpadů patří například výbušnost, oxidační schopnost, hořlavost, dráždivost, škodlivost zdraví, toxicita, karcinogenita, žíravost, infekčnost, teratogenita, mutagenita, ekotoxicita a další. [5]

Ostatní odpady

Pod pojmem ostatní odpady rozumíme všechny odpady, které nevykazují žádné nebezpečné vlastnosti. Z celkového množství vyprodukovaných odpadů tvoří okolo 95 %. Stejně jako nebezpečné odpady je můžeme najít v katalogu odpadů a jsou označeny písmenem „O“. [6]

1.3 Hierarchie nakládání s odpadem

V poslední době se praktikuje pětiúrovňová hierarchie pro nakládání s odpady¹. Hlavní prioritou je zde zamezení vzniku nového odpadu. Další stupně pyramidy pak ukazují způsoby, jak odpad využít nebo jak se jej zbavit. Tuto metodu lze vyobrazit jako obrácenou pyramidu, kde je na nejvyšším stupni nejšetrnější přístup vůči životnímu prostředí. Nejnižší je pak poslední a zároveň nejhorší možnost, jak naložit s odpadem. [1]



obrázek 1-3 Hierarchie způsobů nakládání s odpady [7]

Z obrázku tedy vyplývá, že na prvním místě je snaha předcházet vzniku odpadů. Dalším krokem je hledání náhradního využití produktu namísto jeho vyhození. Pokud ovšem odpad vznikne, nachází se pro jeho vyříděné složky druhotné materiálové využití. Zbytkové odpady, které už nelze třídit, mohou nalézt jiné využití. Například je lze pomocí spalování přeměnit alespoň na energii. Posledním řešením je odstranění odpadu, kdy odpad končí na skládce. Poslední zmiňovaná varianta nakládání s odpady způsobuje největší zásah do životního prostředí.

V roce 2017 bylo v ČR nakládáno celkem s 35,1 miliony tun odpadu. Můžeme si všimnout, že množství odpadu, se kterým je za daný rok nakládáno, převyšuje jeho produkci. To je způsobeno importem odpadů ze zahraničí nebo také odběrem odpadu ze skladů. Celkem 18,9 milionu tun bylo nějak využito. Z toho 8,6 milionu tun odpadu bylo recyklováno. Další část, konkrétně 6,3 milionu tun, našla uplatnění jako zásypový materiál. K výrobě energie posloužilo celkem 1,2 milionu tun. Na skládky bylo odstraněno 3,5 milionu tun odpadu a došlo tak oproti roku 2016 k poklesu o 7,5 %. [2]

1.3.1 Předcházení vzniku odpadu

Nalezení způsobu, jak zamezit vzniku odpadu se zdá být prakticky nemožné, nicméně by se měla jejich produkce alespoň omezit na co nejmenší množství. Tento přístup je třeba zohledňovat již při výrobě produktů. Jednak aby vznikalo co nejméně odpadu už při výrobním

¹ Nakládáním s odpady se dle zákona rozumí: obchodování s odpady, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů [9]

procesu a jednak po jejich použití. Díky prevenci se ušetří suroviny, energie, ale i finanční náklady spojené s následným odstraňováním odpadů.

Ke snížení produkce odpadů ovšem mohou pomoci i obyčejní lidé. Za rok 2017 spadá na jednoho občana ČR 344 kg komunálního odpadu. Z toho 53 kg je podíl odděleně sbíraných složek a 196 kg zabírá běžný svoz směsného odpadu. Redukce komunálního odpadu by se dalo docílit například obezřetným rozmyslem při nákupu spotřebních produktů. [2][8]

1.3.2 Příprava k opětovnému použití

Přípravou k opětovnému použití rozumíme čištění nebo opravu výrobků, které již byly použity. Na rozdíl od recyklace se jedná o přímé využití produktu nebo jeho části. A to zpravidla ke stejnému účelu, ke kterému byl původně určen. Dobrým příkladem jsou vratné obaly. Pokud je to ekologicky a ekonomicky možné, mohou se také druhotně použít fungující díly z autovraků nebo z vyřazených domácích spotřebičů. Výhodou opětovného použití je, že redukuje množství vzniklého odpadu a zároveň tento způsob není finančně náročný. [9]

1.3.3 Recyklace

Recyklace je proces směřující k tomu, aby bylo možné materiálově využít co největší množství odpadu. Dochází k separaci jednotlivých složek odpadu. Tyto vytríděné složky jsou znovu zařazeny do výrobního cyklu a jsou z nich zhotoveny nové výrobky. Mezi nejčastěji recyklované materiály patří například papír, plasty, sklo, kovy, oleje, stavební odpad nebo biodpad. Díky recyklaci tak vzniká velké množství produktů, aniž by se tím spotřebovávaly neobnovitelné zdroje. I přesto zůstává velká část odpadu, kterou nelze snadno a výhodně recyklovat. Tato část z pravidla končí ve spalovnách nebo na skládkách. [10]

1.3.4 Jiné využití odpadu

Mezi jiné využití patří například energetické využití. Pokud pro odpady není nalezeno lepší využití, mohou posloužit alespoň jako palivo pro výrobu elektřiny a tepla. Výhřevnost odpadu je většinou vysoká, ale závisí především na jeho struktuře. Jak již bylo řečeno, složení odpadu je proměnlivé podle oblasti jeho vzniku. Detailněji je proces přeměny odpadů na energii rozebrán v 2. kapitole. [11]

1.3.5 Odstranění odpadu

Odpady, které nemají potenciální využití nebo je jejich úprava příliš nákladná, končí na skládkách. Existují skládky pro různé druhy odpadů. Skládky odpadů se dělí podle technického zabezpečení na skupiny:

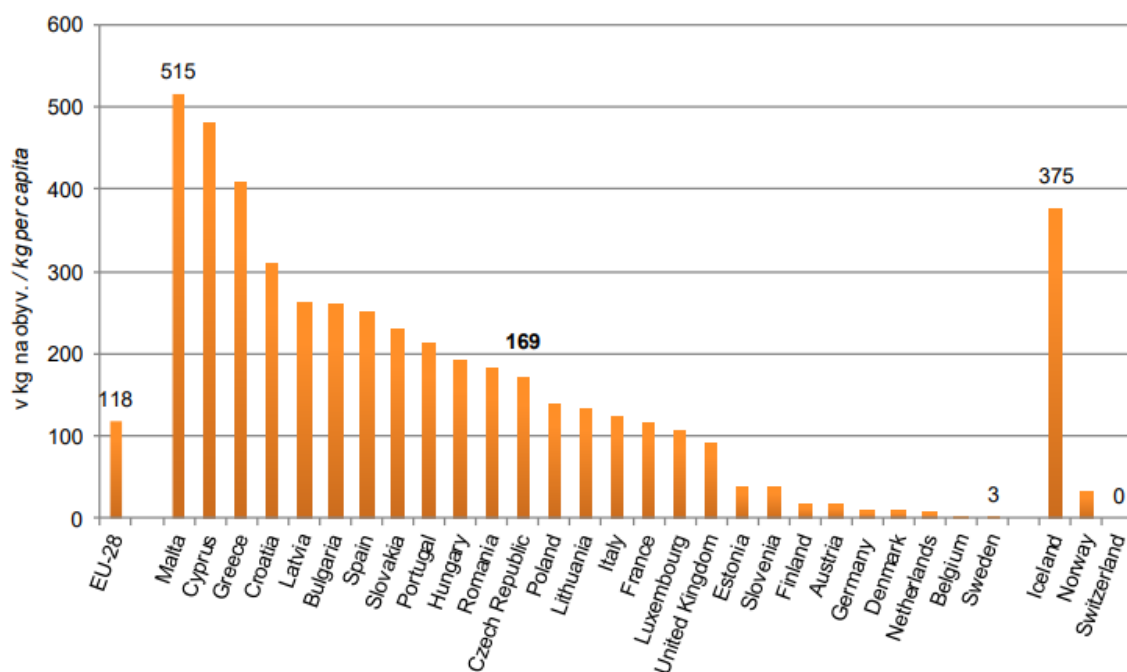
- a) skupina S-IO – určeny pro inertní odpady²
- b) skupina S-OO – určeny pro odpady kategorie ostatní odpad, dále se dělí do podskupin podle obsahu biologicky rozložitelných látek
- c) skupina S-NO – určeny pro nebezpečné odpady [12]

² jsou odpady, které nepodléhají okolním vlivům a nemají nebezpečný charakter

Podle katalogu odpadů se určí stav nebezpečnosti daného odpadu a ten je pak odvezen na správný druh skládky. Skládkování je nejlevnějším, ale zároveň nejhorším způsobem likvidace odpadů.

Státy EU jsou podněcovány k tomu, aby tuto metodu omezili. Pokud se ale podíváme do statistik za rok 2016, můžeme si všimnout států s vysokým podílem skládkovaného odpadu. Například v zemích jako je Řecko, Bulharsko, Rumunsko nebo Srbsko se jednalo přibližně o 90 % odpadu. Na druhou stranu se v Evropě setkáváme se státy s vyspělejším odpadovým hospodářstvím. K těm patří Německo, Belgie, Dánsko nebo Slovinsko. [1] [13]

Obrázek 1-4 je zaměřen konkrétně na skládkování komunálního odpadu. Hodnoty udávají počet kg skládkovaného KO na jednoho obyvatele daného státu za rok 2016.



obrázek 1-4 Skládkování komunálních odpadů v Evropě za rok 2016 [2]

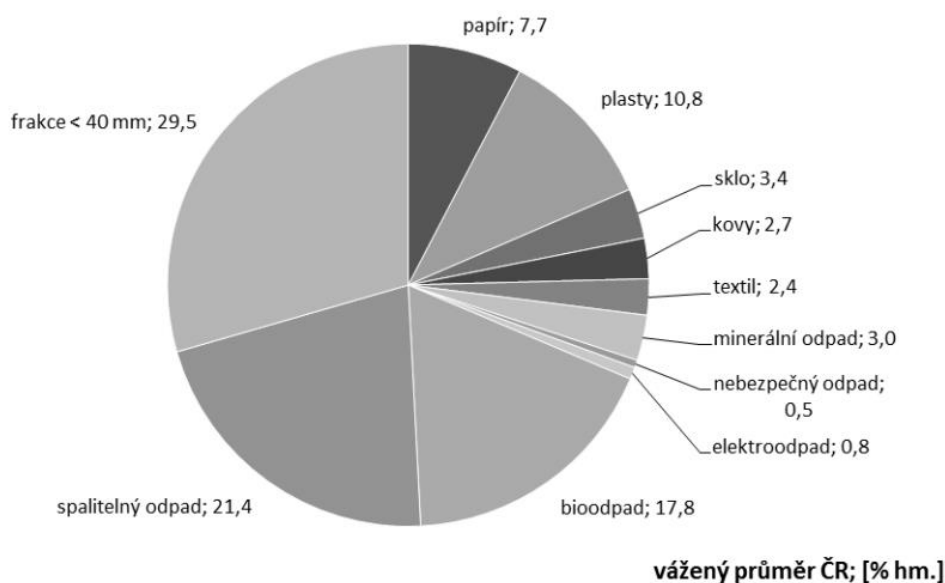
Z obrázku je patrné, že skládkování KO praktikují především státy jižní a východní Evropy. Na druhou stranu v zemích jako je Dánsko, Německo, Nizozemsko, Švédsko, Belgie, Finsko či Rakousko, končí na skládkách jen velmi malé procento KO. V ČR bylo v roce 2017 skládkováno přibližně 10 % z celkové produkce odpadu. Velkou část ovšem tvořil právě komunální odpad, kterého bylo posláno na skládku 49 %. [2]

2 Energetické využití odpadu

Pokud není možné odpad recyklovat, můžeme ho využít energeticky, a to například ve spalovnách. Hlavní motivací pro spalování je zisk tepelné energie, která slouží k výrobě vodní páry. Ta je dále využita jako zdroj tepla nebo elektrické energie.

2.1 Odpad jako palivo

U paliv, které nám umožňují výrobu tepla a energie, jsou důležité jejich vlastnosti. Obecně se zjišťuje například chemické složení, zápalnost, rychlost spalování, odpařivost apod. Nejdůležitějším parametrem je však výhřevnost. V kotli spalovny odpadů končí především směsný komunální odpad, tudíž je jeho složení velmi kolísavé. Jak bylo řečeno v kap. 1.2.1 (Komunální odpady), struktura odpadu je závislá na několika faktorech. [11] [16]



obrázek 2-1 Skladba SKO v ČR dle EKO-KOM a.s. (údaje jsou v %) [14]

Je potřeba zdůraznit, že procentuální hodnoty na obrázku 2-1 jsou průměrné a jejich odchylky u jednotlivých složek mohou být různé vzhledem k místu a období svozu odpadu. Složení domovního odpadu ze sídlištní zástavby se liší od odpadu z venkova či příměstských částí s rodinnými domy. Odlišnosti jsou zaznamenávány dokonce i v rámci daných oblastí a záleží tak na jednotlivých obyvatelích. Také je nutno podotknout, že během roku dochází k tzv. kvartálním výkyvům. Ty vznikají v důsledku změny ročních období a měnícím se potřebám populace. [14]

Například v zimě se zvyšuje produkce popelovin v obcích, kde stále převládá topení tuhými palivy. Popel spadá do podílu frakce, která by se dala definovat jako drobný odpad různého materiálu. V příměstských oblastech s rodinnými domy se rovněž objevují vyšší koncentrace popele, ale také stavební sutě a zeminy. Naproti tomu obsahuje SKO na venkově a v příměstských lokalitách méně spalitelného odpadu, jako je papír, dřevo, ale bohužel také textil a plast (někteří lidé je používají jako palivo). Dalším příkladem může posloužit bioodpad, který silně ovlivňuje obsah vody v odpadu. Ten se v daleko větší míře vyskytuje v kontejnerech umístěných na sídlištích, protože občané zde většinou nemají možnost kompostování. Je důležité dodat, že část bioodpadu spadá do podílu frakce. Jedná se především o drobné fragmenty

z kuchyně nebo zahrady. V sídlištní zástavbě se ovšem v SKO objevuje menší podíl tříditelných komodit, protože se zde odpad více separuje. [11] [17]

Kromě odlišností ve složení dochází během ročních období také ke změnám v objemu vyprodukovaného odpadu. V zimě vzniká v důsledku svátků více odpadu a v letních měsících naopak produkce odpadu klesá, protože lidé netráví tolik času doma. [11] [17]

Výhřevnost odpadu jako paliva závisí právě na jeho složení, a tudíž jsou její hodnoty proměnné.

Tabulka 2-1 Výhřevnost některých složek odpadu [11]

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

V tabulce 2-1 jsou uvedeny výhřevnosti některých druhů materiálu. Výhřevnost směsného komunálního odpadu v ČR se udává na úrovni 8-12 MJ/kg, někdy 9-11 MJ/kg. Dosahuje tak podobných hodnot, jako méně kvalitní hnědé uhlí nebo lignit³. Vlivem zvyšující se separace recyklovatelných složek s vysokou výhřevností (papír, plasty atp.) se však v posledních letech výhřevnost SKO snižuje. [19]

Pro provozovatele ZEVO jsou ovšem podstatné také fyzikálně-chemické parametry. Na strukturu odpadu je třeba pohlížet ze specifitějšího hlediska a například provádět analýzy zastoupení jednotlivých chemických prvků. [14]

Tabulka 2-2 Příklad prvkového složení KO v sušině dle BREF (v ČR) [11]

Prvek	Množství [%hm]	Prvek	Množství [mg/kg]	Prvek	Množství [mg/kg]
C	18–40	Pb	100–2000	Co	3–10
H	1–5	Zn	400–1400	Cd	1–15
N	0,2–1,5	Cu	200–700	Hg	1–15
O ₂	15–22	Mn	250	As	2–5
S	0,1–0,5	Ni	30–50	Se	0,2–15
F	0,01–0,035	Cr	40–200	Tl	<0,1
Cl	0,1–1	V	4–11	PCB	0,2–0,4

³ je nejmladší a nejméně karbonizované hnědé uhlí

Problémem odpadu jako paliva je jeho nehomogenita způsobující kolísavou výhřevnost. Z hlediska správného fungování a údržby kotle jsou tyto výchyly komplikací, protože spalovací zařízení jsou navrhována na určité rozpětí vlastností paliva. Pokud tedy odpad nesplňuje požadované vlastnosti, nelze jej na daném místě spalovat. [20]

„Výhřevnost Q_i^r ($\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při dochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zůstane v plynné fázi.“ [15]

Určuje se výpočtem ze změřeného spalného tepla pomocí rovnice [18]:

$$Q_i^r = Q_s - r \cdot (W^r + 8,94 \cdot H_2) \quad [\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}] \quad (1)$$

kde

Q_s – spalné teplo⁴ [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]

W^r – obsah vody v palivu [–]

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

H_2 – obsah vodíku v surovém palivu (z 1 kg vodíku vznikne 8,94 kg vody) [–]

Ze vzorce (1) můžeme odvodit, že výhřevnost silně závisí na obsahu vody. Se zvyšující se koncentrací vody v odpadu se snižuje jeho výhřevnost a tím i klesá jeho kvalita jako paliva. Obvykle vlhkost KO dosahuje 15–40 %. Vyšší vlhkost navíc způsobuje při spalování vznik většího objemu spalin, se kterými v podobě vodní páry odchází. Pokud je teplota spalin pod hranicí rosného bodu, pak kotel snadněji podléhá korozi. [18]

Faktorů, které ovlivňují úroveň vlhkosti KO je více. Například bioodpad v sobě nese určité množství vody. Dalšími původci jsou pak hygienický odpad, vlhký papír nebo zachycené tekutiny v ohybech plastových fólií. Plast, ale i sklo nebo kovy mohou v podobě obalu uchovávat nápoje nebo potraviny. Další část vlhkosti se do odpadu může dostat prostřednictvím deště nebo vlhkého ovzduší. [14]

Rozdílnost struktury KO v rámci států

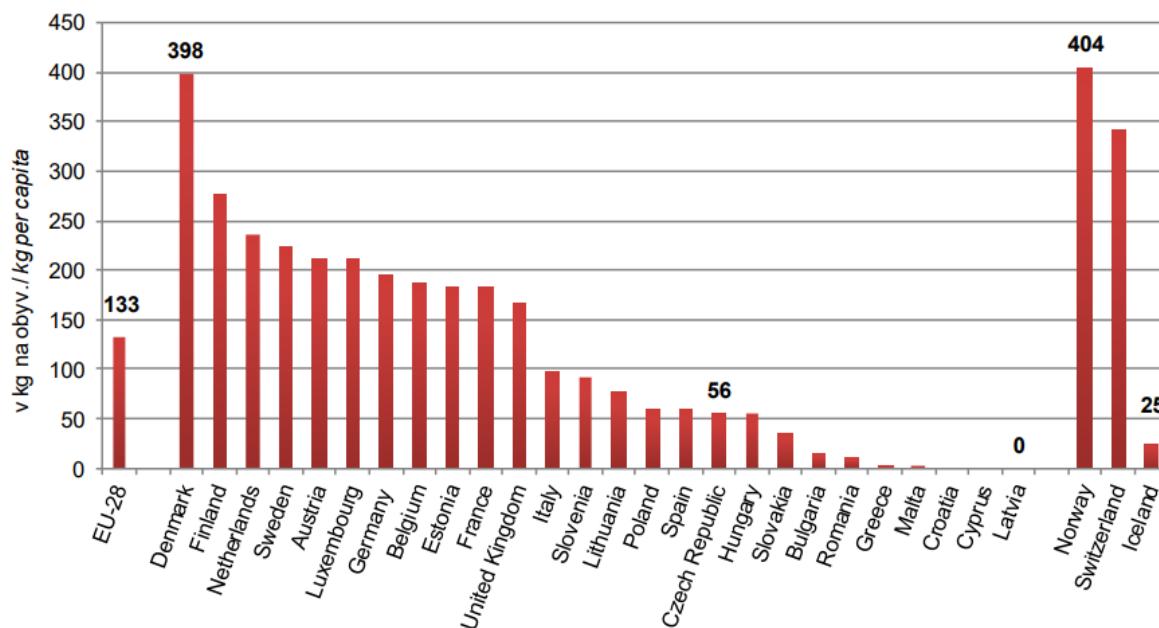
Jak již bylo řečeno složení KO je kolísavé v rámci jednoho státu, jednoho města nebo dokonce v rámci jedné ulice. Je tedy pochopitelné, že dochází k rozdílnosti struktury odpadu i mezi státy. Díky různé ekonomické vyspělosti, životní úrovni, klimatickým podmínkám nebo například zvykům dochází k výkyvům jednotlivých složek KO. Tudiž může nabývat i jiných hodnot výhřevnosti. Nevyšších odchylek dosahuje jednoznačně bioodpad. Ve většině vyspělých států tvoří v průměru podstatně nižší hmotnostní procento KO (cca 30 %), než je tomu u rozvíjejících se zemí (přes 50 %). Na druhou stranu v bohatších státech obsahuje domovní odpad více papíru, skla a kovů.

Pokud se teď zaměříme na dva evropské státy s rozdílnou vyspělostí odpadového hospodářství, nalezneme odlišnosti nejen v objemu, ale i ve struktuře produkovaného KO.

⁴ je teplo uvolněné dokonalým spálením 1 kg paliva při ochlazení spalin na 20 °C, přičemž voda ve spalinách zkondenzuje [15]

Příkladem může posloužit Dánsko a Řecko. V Řecku průměrně tvoří bioodpad téměř poloviční podíl z celkového množství KO. Dalšími významnými složkami jsou papír (19 %) a plasty (9 %). Naproti tomu v Dánsku dosahuje obsah organických materiálů cca 29 %. Navíc díky většímu trendu recyklace je zde v KO nižší procento tříditelných komodit, především plastů. [75][76]

Na obrázku 2-2 si můžeme všimnout, že tyto dva státy měly v roce 2017 ohledně spalování KO naprosto odlišný postoj.



obrázek 2-2 Spalování komunálního odpadu v Evropě za rok 2016 [2]

Z obrázku 2-2 vyplývá, že v množství spáleného odpadu, spadající na jednoho obyvatele daného státu, dominují převážně severské státy Evropy, jako je Norsko, Dánsko, Finsko či Švédsko. Těsně za nimi se ovšem drží Nizozemí, Rakousko, Lucembursko, Německo, Belgie a další. V ČR se za rok 2017 poslalo do spaloven pouze 17 % komunálního odpadu, což je v přepočtu 56 kg na jednoho obyvatele. [2]

2.2 Technologie ZEVO

Moderní zařízení pro energetické využití odpadů už v dnešní době neřeší pouze jejich spalování a následnou přeměnu na energii či teplo. S podporou EU vznikají integrovaná centra pro nakládání s odpady. Kromě spalování odpadů se tak zaměřují i na dotřídění jednotlivých složek odpadu, aby měl recyklovaný materiál co nejvyšší jakost. Pro popis technologií a postupů spaloven KO bylo vybráno zařízení SAKO Brno, a.s.

2.2.1 Svoz odpadu

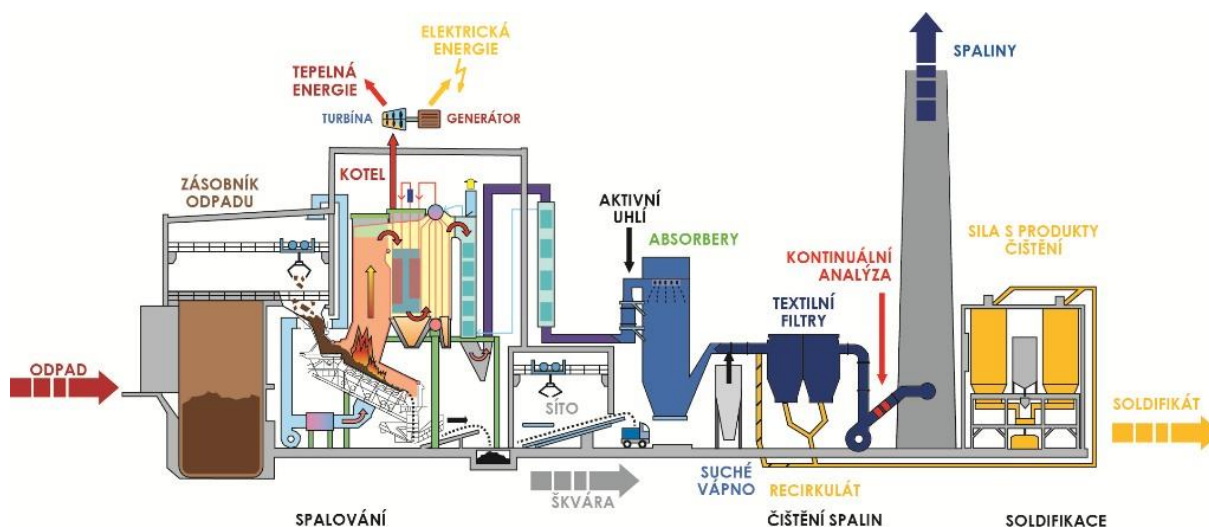
Celý proces začíná svozem odpadu do areálu spalovacího zařízení. Nejčastěji se k tomu využívá automobilová doprava. Vstupní brána do zařízení slouží zároveň jako váhova. Všechna nákladní auta se váží nejprve při průjezdu dovnitř a následně i po odjezdu z areálu. Rozdíl hmotností ukazuje, jak velké množství odpadu bylo přivezeno. Kromě hmotnosti se při svozu kontroluje také potenciální nebezpečí. U vstupu se nachází senzory, které jsou schopny detekovat i menší známky radioaktivních látek. Celá evidence a výpočet dat je veden pomocí speciálního softwaru. Předem separovaný odpad se vozí na dotřídňovací linku, kde z něj pracovníci vybírají použitelné složky. Tato část odpadu tudíž nekončí v kotli spalovny, ale je odvezena k výrobě nových produktů. Směsný komunální odpad se netřídí a je sypán z vozů rovnou do zásobníků odpadu. [21] [22]

2.2.2 Skladování odpadu

Odpady ke spálení jsou po kontrole shromažďovány v zásobníku odpadu, který je opatřen osmi vsypovými vraty. Tento zásobník pojme až 5000 tun odpadu. Takové množství projde spalovacím procesem zhruba během jednoho týdne. Problém velkoobjemového odpadu řeší drtička, která je vybavena hydraulickými nůžkami. Ta je umístěna hned vedle zásobníků. Podrcený odpad tak sklouzává přímo do nich. V těchto bunkrech, jak se zásobníkům také říká, je trvale udržován podtlak. Ten z části neutralizuje znečištění ovzduší v nejbližším okolí, ale především plní podpurný efekt při spalování. Odpad je pomocí obrovských hydraulických drapáků promícháván (kvůli homogenizaci⁵) a poté přesouván do násypky kotlů. [21] [22]

⁵ je proces, kdy se z různorodé směsi stává stejnorodá látka

2.2.3 Spalování odpadu

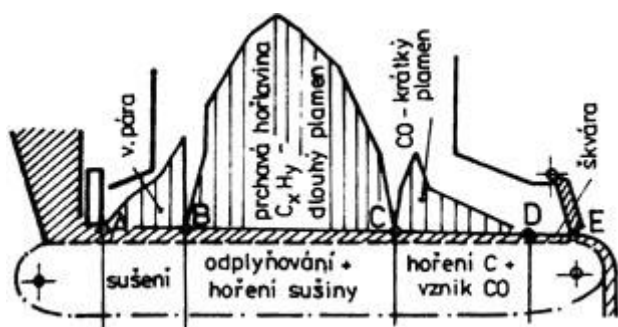


obrázek 2-3 Schéma spalovny komunálních odpadů SAKO Brno, a.s. [22]

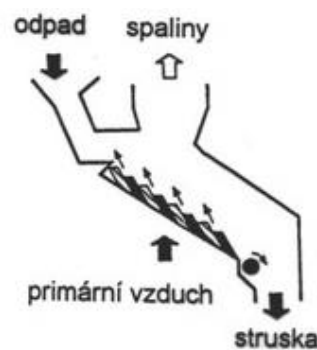
Jakmile je odpad v násypce kotlů, další provoz většiny technologických celků je již plně automatizován. Obsluha v centrále pouze provádí dohled nad jednotlivými částmi zařízení nebo řeší případné problémy. Spalovna disponuje dvěma kotli pětitažové koncepce s vrativými (reverzními) rošty. Před vložením první dávky odpadu na rošt je nutné vyhřát spalovací komoru na teplotu 850 °C. Přisun potřebného tepla zajišťuje hořák na zemní plyn. Z násypky kotle putuje odpad spádovou šachtou a s pomocí hydraulického podavače je přemístěn na posuvný rošt. [21] [22]

Na roštu prochází palivo čtyřmi charakteristickými fázemi [23]:

1. Sušení – ohřívá se na cca 120 °C a vypařuje se z něj povrchová a hygroskopická voda
2. Odplyňování – při ohřátí nad 250 °C probíhá intenzivní uvolňování prchavé hořlaviny
3. Hoření prchavé hořlaviny a zápal vrstvy tuhé hořlaviny
4. Dohořívání tuhé fáze a chladnutí tuhých zbytků



obrázek 2-4 Fáze spalování paliva na roštu [23]



obrázek 2-5 Schéma vrativého roštu [23]

Odpad na roštu setrvává průměrně 20 minut, přičemž je posouván a obrácen pohybem roštnic. Kotle si dávkuje optimální množství odpadu, což je důležité pro vysokou kvalitu strusky po vyhoření. Ve chvíli, kdy odpad začne hořet, už není nutný dodatečný výhřev zemním plynem ani jiným přídavným palivem. Pro podporu hoření je přiváděn pouze primární vzduch.

Ten je vhnán pod rošt ze zásobníku pomocí ventilátoru a je ohříván parním ohřívákem. To je také příčinou již zmiňovaného podtlaku v zásobníku. Je nutné, aby se část tepla⁶ získaného spalováním vrátila zpět do reakce a umožnila tak zapálení dalšího paliva. Kromě ohniska na roštu vzniká další oblast hoření v prostoru nad palivem. Tam dochází s pomocí dováděného sekundárního vzduchu k vyhoření uvolněné prchavé hořlaviny. To vede k dokonalému spalovacímu procesu, ale také ke snížení množství spalin odváděných komínem. Přímo v ohništi roštu se teplota pohybuje v rozmezí 900 až 1100 °C. Při této teplotě je odpad termicky rozložen na jednotlivé složky. Kromě zisku energie je při procesu spalování odpadu žádoucím faktorem redukce jeho objemu a hmotnosti. U objemu dochází k poklesu až na 10 % původních hodnot a u hmotnosti na 25 % původních hodnot. [15][22][23]

2.2.4 Využití tepla

Tepelná energie uvolněná při spalování odpadu se získává ze spalin a dále putuje do varného systému kotle. Tam se využívá k výrobě přehřáté vodní páry, která má tlak 4 MPa a teplotu 400 °C. Pára je vedena do kondenzační turbíny, přičemž v ní expanduje a pohání tak lopatkový rotor. Pomocí napojeného generátoru se pak vykonaná mechanická práce mění na elektrickou energii. Elektřina je primárně využita pro potřeby spalovny a přebytek je veden do rozvodné energetické sítě. Sice má pára po průchodu turbínou nižší teplotu i tlak, ale stále může dobře posloužit jako zdroj tepla. Především plní důležité činnosti pro provoz spalovny. Vytápí pracoviště spalovny, udržuje stav vakua v kondenzátoru, ohřívá užitkovou vodu a také se využívá k předehřívání primárního spalovacího vzduchu. Přebytečná pára je odvedena do soustavy centrálního zásobování teplem na ohřev vody. Nevyužitá pára je po průchodu turbínou vedena do vzduchem chlazeného kondenzátoru. Tam dojde k jejímu zkapalnění a později bude znovu přeměněna na přehřátou vodní páru. [22]

2.2.5 Sekundární produkty spalování odpadu

Spalováním vznikají kromě uvolněné tepelné energie také nežádoucí sekundární produkty. Jedná se o produkty, které jsou separovány během celého procesu pomocí různých technologií. Spalovny jsou přitom povinné zamezit znečištění životního prostředí a zároveň s nimi naložit podle současných právních předpisů. [1]

Škvára

Vyhořelá škvára tvoří největší část tuhých zbytků po spalování odpadu. Nejdříve se z kotlů sype do vody, aby došlo k jejímu ochlazení. Pásové dopravníky přemístí zchlazenou škváru nejprve do zásobníku a poté je pomocí mostového jeřábu vykládána do násypky třídící linky. Odtud je vedena přes bubnové třídiče, které rozdělí škváru podle velikosti částic. Pomocí silného elektromagnetu se ze škváry oddělí feromagnetické materiály. Nemagnetické kovy jsou vyjmuty pomocí separátoru, který funguje na základě indukčních proudů. Železo a hliník jsou následně odvezeny k druhotnému použití. Po provedení bezpečnostních analýz je škvára buď využita ve stavebnictví nebo pro technické zabezpečení skládek odpadu. [22]

⁶ tato část tepla se nazývá poměrné vzněcovací teplo

Popílek

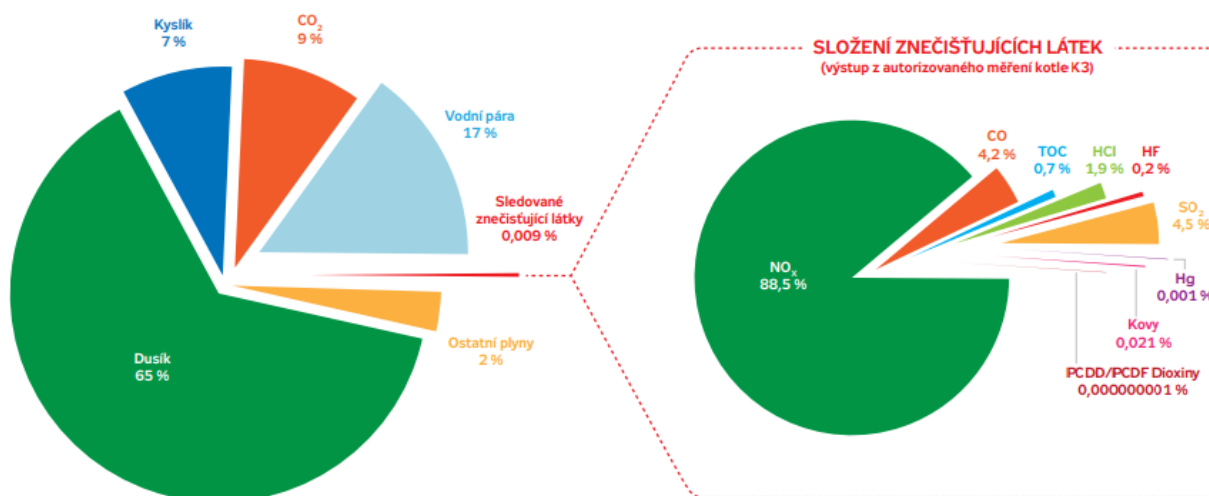
Popílek je po škváře dalším tuhým zbytkem po termickém procesu. Tvoří ho prachové částice, které jsou odstraněny ze spalin. Jeho nebezpečný charakter je způsoben přítomností těžkých kovů, dioxinů a dalších škodlivin. V katalogu odpadů je veden v sekci nebezpečných odpadů a je tedy většinou umísťován na skládky se zvýšeným zabezpečením typu S-NO⁷. [1]

Odpadní voda

Odpadní voda vzniká jednak při ochlazování vyhořelé škváry a jednak při procesu čištění spalin. Po čištění voda obvykle obsahuje vysoký podíl těžkých kovů a různých stopových prvků. Je tudíž převezena do čističky odpadních vod, kde je zbavena všech nežádoucích složek a vypuštěna do kanalizačního systému. [1]

Spaliny

Spaliny jsou plynným produktem spalování. Z 1 tuny spáleného KO spalovny vyprodukují přibližně 4500–6000 m³ spalin. Spaliny jsou tvořeny převážně dusíkem, vodní párou, CO₂ a kyslíkem. Další složky závisí především na vlastnostech paliva. Ve spalinách se pak mohou objevovat sloučeniny jako je HF (fluorovodík), HCl (chlorovodík), HBr (kyselina bromovodíková), HI (kyselina jodovodíková) nebo SO₂ (oxid siřičitý). Také často obsahují oxidy dusíky a sloučeniny těžkých kovů. Níže na obrázku 2-4 je zobrazeno průměrné procentuální složení spalin ve spalovně SAKO Brno, a.s. [25]



obrázek 2-4 Složení spalin spalovny SAKO Brno, a.s. [22]

⁷ skládka pro nebezpečné odpady

2.2.6 Systém čištění spalin

Než se spaliny dostanou ven ze systému spalovny do ovzduší, musí si projít několikanásobným čistícím procesem. Postupně jsou podrobeny pěti stupňům čištění. Celý proces čištění provádí centrální systém automaticky.

Stupně čištění:

1. Redukce oxidu dusíku
2. Redukce obsahu dioxinů a těžkých kovů
3. První stádium neutralizace kyselých složek
4. Druhé stádium neutralizace kyselých složek (v případě zvýšených koncentrací)
5. Zachycení tuhých částic a reakčních produktů čištění

V prvním stupni čištění je prováděn proces SNCR⁸ pomocí speciálního zařízení. K redukci je zde využíván vodný roztok močoviny. Vstříkují se pouze v oblastech spalovací komory, kde spaliny nabývají teploty 950–1100 °C. Oxidy dusíku jsou tak přeměňovány zpět na dusík, který je v atmosféře běžným plynem.

Druhý stupeň je zaměřen na redukci perzistentních⁹ organických látek (dioxiny) a těžkých kovů. Ta se provádí pomocí aktivního uhlí.

Dalším stupněm je neutralizace kyselých složek. Spaliny vycházející z kotle mají teplotu 195 °C a jsou odváděny do absorbéru. Tato fáze čištění je Brněnské spalovně založena na polosuché vápenné metodě. Spočívá v rozprášení vodního vápenného roztoku do spalin. Ve výsledku dochází ke vzniku několika chemických reakcí, které vedou k žádoucí neutralizaci kyselých složek. Do tkaninového filtru je zachycen jemný prášek odloučený ze spalin.

Pokud spaliny obsahují významné množství kyselých a ani po třetím stupni nejsou dostatečně očištěny, systém přechází ke čtvrtému stupni. Tím je suchá vápenná metoda, při které se do kouřovodu (mezi absorbery a filtr) aplikuje suchý vápenný hydrát. Hlavní podíl tohoto jemného prášku představuje hydroxid vápenatý. Polosuchá a suchá vápenná metoda, používaná v SAKO Brno, dosahuje účinnosti redukce kyselých složek přibližně 99,1 %. Ostatní ZEVO v ČR využívají mokřích metod, které mají vyšší účinnost činící 99,7 až 99,9 %. [22] [24]

Posledním stupněm čištění je opatřen tkaninovými filtry, které slouží k odstranění tuhých mechanických nečistot ze spalin společně s reakčními produkty čištění. Nakonec jsou očištěné spaliny odváděny vysokým komínem ven ze spalovny. Účinnost čištění spalin činí u znečišťujících látek 99 %. Spaliny vypouštěné do ovzduší mají konstantní teplotu a jejich koncentrace nebezpečných látek je nižší, než jsou přípustné emisní limity. [22]

⁸ selektivní nekatalytická redukce oxidů dusíku

⁹ schopnost látky dlouhodobého setrvání v životním prostředí

2.3 Další možnosti EVO

Mezi další varianty termického zpracování odpadu patří například pyrolýza nebo zplyňování. Možností je také mechanicko-biologická úprava odpadu na TAP¹⁰. Účelem těchto metod (včetně spalování odpadu) je naložit se zbytkovým odpadem tak, aby došlo k jeho šetrnému odstranění, zatímco je to energeticky výhodné a vznikne co nejméně sekundárních látek. [1]

2.3.1 Mechanicko-biologická úprava a využití TAP

Alternativou k přímému spalování odpadu je mechanicko-biologická úprava. Některé druhy odpadu mohou být upraveny na alternativní palivo. Jedná se tak oproti EVO pouze o úpravu odpadu a je tedy důležité, jaké budou navazující procesy. Je nutné, aby byla TAP spalována pouze v technologicky přizpůsobených a zabezpečených provozech. Nabízené možnosti využití je spalování samotného TAP (v monospalovnách), spoluspalování (v energetických zařízeních) nebo mohou nalézt uplatnění v cementárnách. [52]

Zařízení pro výrobu TAP

Výroba TAP probíhá prostřednictvím zařízení MBÚ¹¹. Princip spočívá v tom, že jsou z odpadu nejprve vyříděny nežádoucí složky (kovy, popeloviny). Zbytkový odpad je drcen na malé kousky, přičemž dochází k homogenizaci paliva. Sledovanými parametry TAP jsou výhřevnost, vlhkost, zrnitost nebo například obsah Cl a Hg. Požadovaný charakter paliva se odvíjí od preferencí odběratele. Zrnitost produktu se pohybuje v rozmezí 0–30 mm. TAP jsou buď prodána ve formě drti nebo lisovaných pelet. Výhřevnost bývá z pravidla vyšší, než je tomu u neupraveného KO. TAP jsou klasifikována do pěti kvalitativních tříd, jejichž přesné specifikace jsou v tabulce 2-3. [52] [53]

Tabulka 2-3 Klasifikace TAP podle normy ČSN EN 15359 [52]

Klasifikační charakteristika	Statistická míra	Jednotka	Třídy				
			1	2	3	4	5
Výhřevnost	průměrná hodnota	MJ/kg	≥ 25	≥ 20	≥ 15	≥ 10	≥ 3
Chlor (Cl)	průměrná hodnota	% hm ¹²	≤ 0,2	≤ 0,6	≤ 1,0	≤ 1,5	≤ 3
Rtuť (Hg)	medián	mg/MJ	≤ 0,02	≤ 0,03	≤ 0,08	≤ 0,15	≤ 0,50
	80. percentil	mg/MJ	≤ 0,04	≤ 0,06	≤ 0,16	≤ 0,30	≤ 1,00

V ČR jsou TAP dosud vyráběna především z průmyslových odpadů a pouze okrajově z výmětů odpadu třídících linek separovaného KO (převážně plasty). Jsou význačná vysokou výhřevností a pálí se především samostatně v cementárnách či vápenkách. [52] [54]

Cementárny

V současné době v ČR funguje 6 cementáren, kterým je povoleno spalovat TAP. Využití tohoto náhradního paliva je zde na výpal slínku při výrobě cementu. Jeví se to jako výhodné řešení, protože kromě získaného tepla dochází zároveň i k recyklaci materiálu, jelikož se popeloviny stávají součástí slínku. Cementárny jsou nejčastěji opatřeny rotační pecí s dis-

¹⁰ tuhé alternativní palivo

¹¹ mechanicko-biologická úprava

¹² % hm v sušině

perzním výměňkovým systémem a předkalcinátorem. Tato technologie se osvědčila jako vhodná pro různá alternativní paliva, například z odpadních olejů, použitých pneumatik, textilu, směsného plastu, papíru, dřeva atd. Při procesu spalování se dosahuje vysokých teplot (nad 1200 °C), díky tomu jsou vyprodukované spaliny čistší a pro jejich odprášení se při dobrém vedení používá jen elektrostatický odlučovač. [52] [54]

Monospalovny TAP

Tato zařízení jsou určena pro spalování samotného TAP. Od klasických ZEVO se liší technologií použitou v termické části, kvůli odlišnému vstupnímu palivu. Výhodou oproti klasickým ZEVO je snadné zajištění paliva, které nemá tak kolísavé vlastnosti jako neupravený KO. Nevýhodami je vyšší produkce spalin a také to, že po úpravě odpadu zůstává část nevyužitá. V ČR se monospalovna TAP zatím nevyskytuje. [52]

Spoluspalování TAP

Další možností je použít TAP jako přídavné palivo a spalovat ho s jiným palivem (např. uhlí, biomasa). Z hlediska technologické problematiky spoluspalování se bere v úvahu použití pouze fluidních kotlů. V ČR zatím proběhl pouze zkušební provoz této metody v některých energetických zdrojích. Nevýhodou jsou potřebné investice do úprav a kratší životnost zařízení. Teplárna Karviná získala od MŽP povolení k realizaci projektu multipalivového kotle, který by měl být zprovozněn v roce 2022 a bude umět využít biomasu společně s TAP. [52] [54] [55]

V blízkých letech dojde v ČR k úplnému zákazu skládkování KO, takže by mohla být MBÚ, vedle přímého spalování KO, další vhodnou možností. Problémem je, že v ČR zatím neexistuje zařízení, které by zpracovávalo SKO s produkcí TAP. V cementárnách se zdá být využití těchto paliv jako velmi efektivní, problémem však je, že jsou jejich kapacity omezeny. Dochází k jejich pokrytí i přesto, že se TAP vyrábějí zatím jen z průmyslových odpadů a výmětů třídění. Díky jednotnému evropskému trhu je navíc častý import TAP ze zahraničí namísto koupě tuzemských produktů. [54]

2.3.2 Pyrolýza

Pyrolýzu lze definovat jako tepelný rozklad materiálů na jednoduché produkty bez přístupu médií obsahujících kyslík (vzduch, CO₂, vodní páry). Rozkládá se na pevné, plynné a kapalné frakce při teplotách v rozmezí 500–1000 °C. Podle dosažené teploty pyrolýzu rozdělujeme na:

1. Nízkoteplotní (do 500 °C)
2. Středněteplotní (500–800 °C)
3. Vysokoteplotní (nad 800 °C)

Podstatou je, že při dosažení požadovaných rozkladových teplot klesá stabilita organických sloučenin. Dochází k tomu, že vysokomolekulární látky se rozkládají na nízkomolekulární, což dále vede k rozpadu materiálu. Vznikají tak těkavé plynné produkty, viskózní kapalné zbytky a koks bohatý na uhlík. Některé z těchto produktů je možné dále využít jako palivo (pyrolýzní plyn a pyrolýzní olej). Pyrolýza se také dělí na rychlou (bleskovou) a pomalou. Při rychlé pyrolýze panují vyšší teploty a tlak, než je tomu u pomalé. Kromě komunálního odpadu může být při pyrolýze také zpracována biomasa, uhlí, plasty, pneumatiky a další. [1] [26]

Složení a kvalita produktů pyrolýzy je závislá na provozních parametrech:

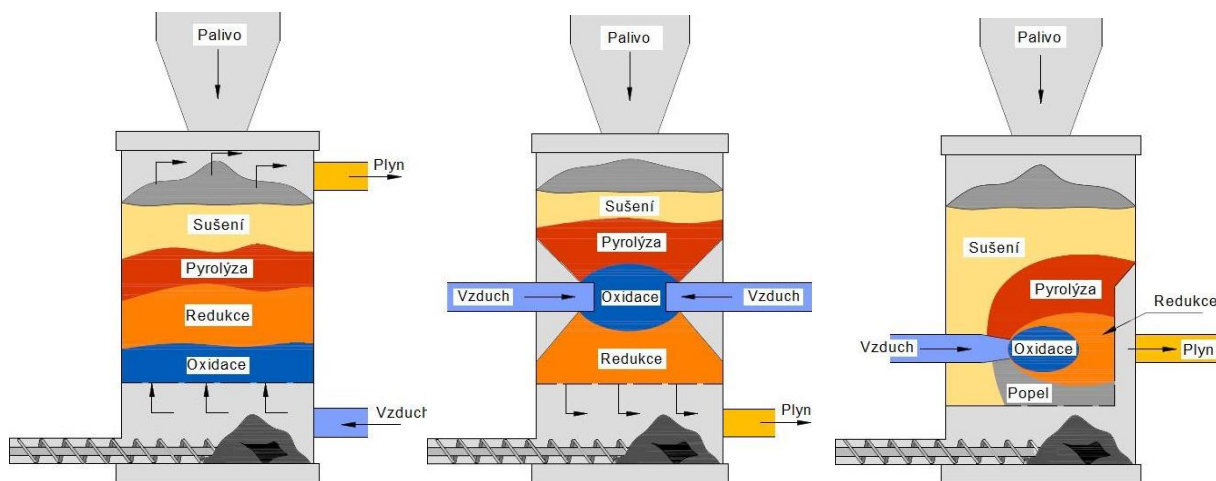
- tlak
- teplota
- čas
- velikost vsázky
- použití katalyzátorů
- použití přídavných paliv

Tento způsob EVO není moc používaný hlavně z ekonomických důvodů. Nízkou motivaci způsobuje nákladnější provoz zařízení. Na druhou stranu se při pyrolýze produkuje paliva, která jsou dobře prodejná. Oproti spalování odpadů vzniká daleko méně plynných produktů, ale naproti tomu jsou produkovány kapalné a tuhé zbytky s vysokou koncentrací těžkých kovů. Je to vhodný postup pro zpracování paliv s vysokou výhřevností. [1] [26]

2.3.3 Zplyňování

Zplyňování je řízený tepelný rozklad odpadních látek při teplotách nad 800 °C za přívodu podstechiometrického obsahu kyslíku v místě reakce. Podstatou je přeměna uhlíkatých materiálů na plynné hořlavé produkty, které musí splňovat určité složení. [1] [26]

Díky postupnému vývoji technologií zplyňování existuje několik druhů reaktorů. Níže jsou některé typy schematicky zobrazeny. [27]



obrázek 2-5 Protiproudý reaktor [27]

obrázek 2-6 Souprroudý reaktor [27]

obrázek 2-7 Reaktor s křížovým tokem [27]

Nejrozšířenějším je protiproudý reaktor, protože je technicky nejjednodušší a umožňuje použití různých druhů paliv, které mohou mít vyšší obsah vlhkosti (do 30 %). Nevýhodou je větší produkce dehtových látek a pyrolýzních produktů v plynu. Vyrobený plyn jde proti směru přívodu paliva a jeho výhřevnost je 6 MJ/mN³. Z těchto tří reaktorů je pro zplyňování KO nejvhodnější variantou

U souprroudého reaktoru jde plyn stejným směrem jako palivo. Plyn má na rozdíl od předchozího reaktoru vyšší teplotu a jeho výhřevnost je naopak nižší (až 5 MJ/mN³). Nevýhodou je také větší náročnost na vlastnosti vstupního paliva.

Reaktor s křížovým tokem slouží především pro zplyňování dřevěného uhlí. Sice je jednoduchý na údržbu, ale má vysoké nároky na vstupní palivo a nedochází v něm k dostatečnému rozkladu dehtu. [26][27]

Výhodou zplyňování je, že výstupní produkt obsahuje nízké koncentrace toxických dioxinů, furanů a polycyklických aromatických uhlovodíků. To je způsobeno vysokou reakční teplotou. Tento postup EVO je vhodný pro úpravy směsných komunálních odpadů, některých druhů nebezpečných odpadů nebo čistírenských kalů. Jeho technologická pokročilost je ovšem zatím spíše ve stádiu výzkumů a testování. [1] [26]

3 Spalovny odpadu v ČR

V ČR se vyskytuje několik druhů spalovacího zařízení. Jsou rozděleny podle toho, jaký typ odpadu zpracovávají. Dle evidence povolení ČHMÚ ke spalování a spoluspalování odpadu, je na území ČR v provozu aktuálně 38 zařízení. Konkrétně se jedná o:

- zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO) – 4
- zařízení pro spoluspalování odpadu – 6
- spalovny nebezpečných (průmyslových) odpadů – 16
- spalovny nebezpečných (nemocničních) odpadů – 11
- spalovna čistírenského kalu – 1

Co se týká zařízení pro spoluspalování odpadu, jedná se především o akciové společnosti pro výrobu cementu (Českomoravský cement, Lafarge Cement, CEMEX Cement a Cement Hranice) a provozovatele Plzeňská teplárenská, a.s. Spaloven nebezpečných odpadů je v ČR celkem 27. Specializují se na konkrétní druh odpadu, který vzniká buď v nemocnicích nebo v určitém průmyslovém odvětví. Dále se v ČR nachází 1 spalovna čistírenského kalu. Čistírenský kal je sekundárním výstupem při čištění odpadních vod. [71]

3.1 Zařízení na energetické využití odpadu (ZEVO)

Na území ČR jsou momentálně v provozu čtyři větší zařízení pro energetické využití komunálních odpadů. Konkrétně se jedná o ZEVO Malešice, SAKO Brno, TERMIZO Liberec a nejnovější ZEVO Chotíkov.

Na konci roku 2014 byl vládou schválen POH¹³ ČR pro období 2015–2024. Je založen na principu hierarchie nakládání s opady. Mimo jiné je plán také zaměřen na energetické využití, které by mělo v budoucnu nahradit skládkování KO. Zatím platí, že od roku 2024 bude zakázán odvoz KO na skládky, což by nejspíš pomohlo při schvalování výstavby nových projektů ZEVO. MŽP ale připouští možný posun tohoto ustanovení na rok 2030. [56] [57]

Maximální roční kapacity ZEVO v ČR je nyní na úrovni 769 000 tun odpadu. Tato hodnota by se podle POH měla v následujících letech navýšit. Proto se plánuje výstavba nových ZEVO a vybírají se tak pro ně vhodné lokality. Za zmínku stojí například projekt EVO Komořany, který už se nejspíš brzy dočká realizace. Po uvedení tohoto zařízení do provozu, by se měly navýšit roční kapacity EVO o 150 000 tun jinak nevyužitelného KO. Podobných kapacit jako zařízení v Malešicích by mělo dosahovat ZEVO Mělník (320 000 tun/rok). Mezi menší projekty patří například ZEVO Cheb, které by mělo disponovat kapacitou pouhých 20 000 tun odpadu za rok. ZEVO Přerov (96 000 tun/rok) je dalším projektem, který se dočkal schválení městské rady a do provozu by se mělo dostat v roce 2022. Další uvažované lokality pro výstavbu nových ZEVO, které většinou ještě čekají na všechna nutná povolení, jsou Opatovice, České Budějovice, Jihlava, Otrokovice-Zlín, Karviná nebo pražské Řeporyje. [56] [58]

¹³ plán odpadového hospodářství

3.1.1 SAKO Brno

Prvopočátky spalovny v Brně se nesou až k přelomu 19. a 20. století, kdy docházelo k rozvoji průmyslu. V roce 1904 zastupitelstvo města Brna rozhodlo o vybudování spalovny odpadů. Roku 1905 pak byla uvedena do provozu a ihned započala výroba elektrické energie. Šlo o jednu z prvních moderních spaloven v Evropě a vůbec o první na území Rakousko-Uherska. Sloužila do roku 1941, kdy byla zbombardována. K obnovení došlo až v roce 1989, kdy byl zahájen provoz nově postavené spalovny komunálních odpadů. Postupem let byla pak spalovna několikrát modernizována. Nejrozsáhlejší rekonstrukce probíhala v letech 2008 až 2010 na základě projektu Odpadové hospodářství Brno. [22]



obrázek 3-1 SAKO Brno, a.s. [28]

Tabulka 3-1 Technické parametry SAKO Brno, a.s. [22]

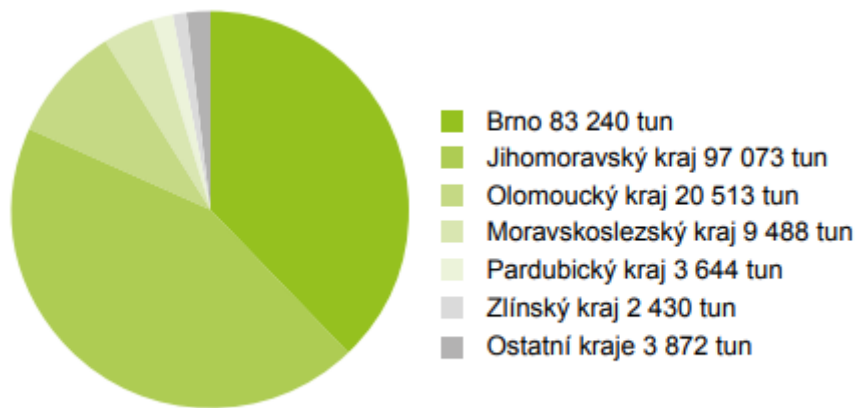
roční kapacita	248 000 tun
kapacita zásobníku	5000 tun (objem 16 875 m ³)
počet kotlů	2
typ roštu	vratisuvný (posuvné) typu MARTIN
minimální, maximální spalovací výkon kotle	8 t/hod, 16 t/hod
jmenovitý, maximální parní výkon kotle	45 t/hod, 55 t/hod
jmenovitý tlak, teplota přehřáté páry	4 MPa, 400 °C
výkon turbíny	22,7 MW _e
dotřídňovací linka	ano

V roce 2017 bylo spáleno celkem 220 653 tun SKO. Výstupní tepelná energie činila 2 226 272 GJ, z čehož 998 944 GJ tvoří teplo dodané v rámci CZT¹⁴. Spalovna vyrobila 65 084 MWh elektrické energie a z toho 48 465 MWh bylo dodáno spotřebitelům. Z výstupních produktů spalování bylo vyseparováno 4101 tun železa a 415 tun neželezných kovů. Škváry vzniklo celkově 47 580 tun a end-produktu¹⁵ 5680 tun. [29]

¹⁴ centrální zásobování teplem

¹⁵ produkt čištění spalin

V budoucnu se plánuje výstavba třetího kotle, což by Brnu mělo zajistit dlouhodobě stabilní nízkou cenu tepla. Náklady na tento projekt by měly pohltnout 1,7 miliardy korun, přičemž návratnost se odhaduje na 16 let. Kotel bude mít roční kapacitu stejnou jako stávající kotle. Díky navýšení kapacity bude možné energeticky využít i zbylý odpad z Jihomoravského kraje, Vysočiny a Olomouckého kraje. Pokud vše půjde podle plánů, do provozu by měl být uveden v roce 2023. Zvětšila by se tak celková roční kapacita spalovny a tím by vzrostlo i množství vyrobeného tepla a elektrické energie. [30]



obrázek 3-2 Dovoz odpadů do SAKO Brno, a.s. [29]

Obrázek 3-2 ukazuje kolik tun dovezeného odpadu pochází přímo z Brna, kolik pochází z ostatních oblastí Jihomoravského kraje a také kolik odpadu je dovezeno z ostatních krajů ČR.

3.1.2 ZEVO Malešice

Zahájení výstavby této kapacitně největší spalovny v ČR se datuje do roku 1988. Řadou průtahů a problémem s financováním projektu trvala stavba delší dobu, než bylo původně v plánu. K dokončení a uvedení do provozu tak došlo až v roce 1998. O dva roky později byla ke spalovně připojena také dotříd'ovací linka. Dále byl během dalších let zmodernizován proces čištění spalin pro ještě ekologičtější chod spalovny. V roce 2010 byla do spalovny instalována nová kogenerační jednotka, která umožňuje efektivnější přeměnu odpadů na energii. [31]



obrázek 3-3 ZEVO Malešice [35]

Tabulka 3-2 Technické parametry ZEVO Malešice [32][33]

roční kapacita	330 000 tun
počet kotlů	4
typ roštu	válcový
spalovací výkon kotle	15 t/hod
parní výkon kotle	36 t/hod
jmenovitý tlak; teplota přehřáté páry	1,37 MPa; 235 °C
výkon turbíny	17,6 MW _e
dotříd'ovací linka	ano

V roce 2017 bylo na ZEVO Malešice přijato a termicky zpracováno celkem 294 900 tun zbytkového odpadu. Pražská teplárenská a.s. v tomto roce od spalovny přijala 848 822 GJ tepla. Do pražské sítě PREdistribuce, a.s. zařízení dodalo 35 221 MWh elektrické energie. Ročně se ze spáleného odpadu průměrně vyseparuje 3111 tun železného šrotu. Z čištění spalin vzniká 4970 tun end-produktu. Produkce škváry je 49 632 tun. [34] [36]

Do roku 2022 je v plánu náhrada stávajících 4 kotlů za nové kotle. Budou opatřeny modernějšími rošty s deseti zónami, které lze nezávisle na sobě regulovat. To povede k vyšší efektivitě EVO a také to přispěje k lepším vlastnostem škváry. [37]

3.1.3 TERMIZO Liberec

Společnost TERMIZO a.s. financovala výstavbu spalovny KO v Liberci, která vypukla v roce 1996. Provoz zařízení byl zahájen od roku 1999. Spalovna byla oceněna titulem Stavba roku 2000 za realizaci objektu pro náročnou průmyslovou funkci s ohledem na životní prostředí. Společnost TERMIZO a.s. se stala součástí skupiny MVV Energie CZ. [38]



obrázek 3-4 TERMIZO Liberec, a.s [39]

Tabulka 3-3 Technické parametry TERMIZO Liberec, a.s. [40][42]

roční kapacita	96 000 tun
objem zásobníku	3000 m ³
počet kotlů	1
typ roštu	vratisuvný (posuvný) typu MARTIN
spalovací výkon kotle	12 t/hod
jmenovitý parní výkon kotle	43 t/hod
jmenovitý tlak; teplota přehřáté páry	4,3 MPa; 400 °C
výkon turbíny	3,5 MW _e + 1 MW _e
dotříd'ovací linka	ne

Absence dotříd'ovací linky je způsobena tím, že svoz a třídění separovaných složek zajišťuje jiný provozovatel. Jedná se o společnost FCC Liberec, s.r.o. Podle zprávy o provozu spalovny dokumentující rok 2017 bylo energeticky využito 91 757 tun odpadu. Z vyrobeného tepla se cca 663 000 GJ prodalo do sítě CZT města Liberec. Dále se do veřejné sítě dodalo přibližně 16 000 MWh, což představuje roční spotřeby 6000 domácností. Z tuhých zbytků se vytrídilo asi 1300 tun železného šrotu. Zpracovaná škvára činila 28 849 tun a z ní bylo vyrobeno 26 960 tun stavebního materiálu SPRUK¹⁶. Čištěním spalin vzniklo 567 tun filtračního koláče, 37 tun popílku nebo například 22 tun kalů. [40] [41]

¹⁶ certifikovaný stavební materiál vyrobený z popelovin určený pro provozy skládek

3.1.4 ZEVO Chotíkov

První povědomí o zatím nejnovějším ZEVO v ČR vzniklo v roce 2009, kdy společnost Plzeňská teplárenská, a.s. projevila zájem o jeho výstavbě v obci Chotíkov. V roce 2013 bylo vydáno povolení ke stavbě, která trvala tři roky. Od roku 2016 se spustil zkušební provoz zařízení. [43]



obrázek 3-5 ZEVO Chotíkov [45]

Tabulka 3-4 Technické parametry ZEVO Chotíkov [44] [46]

roční kapacita	95 000 tun
objem zásobníku	3500 m ³
počet kotlů	1
typ roštu	vratisuvný (posuvný) typu MARTIN
spalovací výkon kotle	12 t/hod
jmenovitý parní výkon kotle	42 t/hod
jmenovitý tlak; teplota přehřáté páry	5,1 MPa; 425 °C
výkon turbíny	10,5 MW _e
dotříd'ovací linka	ne

ZEVO Chotíkov není opatřeno třídící linkou, protože o služby svozu a dotřídění odpadu se v Plzni a okolí stará společnost Čistá Plzeň, s.r.o. Za rok 2017 bylo k EVO přijato celkem 93 755 tun odpadu. Z toho 74 463 tun byl podíl SKO, 11 035 tun objemného odpadu, 4236 tun odpadu z mechanické úpravy odpadů a 4921 tun ostatní odpad. Za toto období se podařilo dodat 205 307 GJ tepelné energie a 36 629 MWh elektrické energie. Produkci vedlejší produktů dominovala škvára s množstvím 26 919 tun. Další byl popílek s 2 477 tunami a filtrační koláč činil 292 tun. Ze škváry bylo vyseparováno 1396 tun železa. [44]

Začátkem roku 2019 byla spalovna zkolaudována a ze zkušebního provozu přešla na běžný. V praxi se tím pro ZEVO Chotíkov nic nemění a došlo tak jen k právní úpravě. [47]

3.1.5 Srovnání ZEVO v ČR

Tabulka 3-5 Srovnání provozu ZEVO v ČR, 2017

	SAKO Brno	ZEVO Malešice	TERMIZO Liberec	ZEVO Chotíkov
<i>spálený odpad [t]</i>	220 653	294 900	91 757	93 755
<i>dodané teplo [GJ]</i>	998 944	848 822	663 000	205 307
<i>dodaná EE¹⁷ [MWh]</i>	65 084	35 221	16 000	36 629
<i>produkce škváry [t]</i>	47 580	49 632	28 849	26 919
<i>železný šrot [t]</i>	4101	3111	1300	1396

V tabulce 3-5 si můžeme všimnout, že v roce 2017 ZEVO Chotíkov dodalo do sítě více elektrické energie než ZEVO Malešice a TERMIZO Liberec. To se ovšem odrazilo na dodávce tepla, kterou mělo ZEVO Chotíkov několikanásobně menší. Nejproduktivnějším zařízením, z hlediska dodaného tepla a elektrické energie, bylo podle těchto dat SAKO Brno. A to i přesto, že zpracovalo méně odpadu než ZEVO Malešice. Tudíž byla jeho efektivnost při výrobě energie vyšší.

¹⁷ elektrická energie

4 ZEVO v zahraničí

V roce 2017 bylo v Evropě provozováno celkem 492 ZEVO (nezahrnuje spalovny na NO), ve kterých bylo tepelně zpracováno přibližně 96 milionu tun odpadu. Francie sice počtem 126 zařízení dominovala, ale v Německu se i přesto energeticky využilo více odpadu, a to zhruba 26,8 milionu tun. Statistikám v množství spáleného KO vztaženého na obyvatele vedou severské státy, jako Norsko, Dánsko nebo Švédsko. V právě zmiňovaném Švédsku dokonce množství spáleného odpadu převyšuje produkci KO. To je způsobeno importem odpadu z Evropy. [56] [59]

4.1 ZEVO AEB Amsterdam

Největší spalovnou v Evropě je AEB Amsterdam. Disponuje 2 provozními linkami, přičemž dohromady mají roční kapacitu 1,4 milionu tun odpadu. Zpracovává komunální i průmyslový odpad a ročně vyprodukuje cca 600 000 GJ tepla a 1 TWh elektrické energie. [60]



obrázek 4-1 ZEVO AEB Amsterdam [60]

Na moderních spalovnách je důležitá především jejich efektivita při výrobě tepelné energie společně s ekologičností jejich provozu. Některé projekty se ovšem snaží zaujmout nejen těmito parametry, ale i svým designem nebo víceúčelovým zaměřením. Tato hlediska pak vzbuzují ve společnosti lepší dojem a projekty mají i větší šanci na realizaci. Následující příklady ZEVO jsou tomu jasným důkazem.

4.2 ZEVO Spittelau

Spalovna Spittelau patří do skupiny celkově čtyř fungujících ZEVO ve Vídni. Její roční kapacita je 250 000 tun odpadu. Stojí prakticky v centru města a kromě toho, že ročně vyprodukuje okolo 1 800 000 GJ a 120 000 MWh elektrické energie, je také často navštěvovaným místem turistů. Nynější atypický vzhled získala až po tom, co v roce 1987 vyhořela. Za tímto uměleckým ztvárněním stál architekt Friedensreich Hundertwasser. Kromě nového zevnějšku byl provoz obnoven s vyšším výkonem a novou filtrační stanicí spalin. [61]



obrázek 4-2 ZEVO Spittelau, Vídeň [62]

4.3 ZEVO Amager Bakke

Tato spalovna se nachází v Kodani a je v provozu od roku 2017. Nahradila původní 45 let starou spalovnu. Hlavním požadavkem projektu bylo vybudovat technicky pokročilé zařízení pro spalování odpadu s minimálními emisemi. Velký důraz byl ovšem kladen i na to, aby byla spalovna přijata společností. Z vrcholu stavby tak povede po střeše lyžařská sjezdovka, která bude otevřena pro veřejnost již v roce 2019. Celková roční kapacita spalovny činí 400 tisíc tun odpadu, přičemž jsou její dva kotle schopny spálit 70 tun odpadu za hodinu. Výhodou také je, že dokáže zpracovat všechny druhy odpadu, a to s vysokou účinností. [63]



obrázek 4-3 ZEVO Amager Bakke, Kodaň [64]

4.4 ZEVO Shenzen

Jedná se o projekt spalovacího zařízení v čínském Shenzenu, který byl navržen dvěma dánskými architekty. Probíhající výstavba by měla být podle plánu ukončena v roce 2020 a ve stejný rok bude zařízení uvedeno do provozu. Předpokládá se, že by se zde mělo zpracovat 5 000 tun odpadu denně a jednalo by se tak o kapacitně největší ZEVO na světě. Kromě použití nejmodernějších technologií ve spalovací části, bude střecha stavby pokryta fotovoltaickými panely. Pro veřejnost bude zpřístupněna vstupní hala a návštěvnické centrum s výhledem na strojovou část a bude tak sloužit i jako zdroj vzdělávání. [65]



obrázek 4-4 ZEVO Shenzen [65]

5 Ekologické aspekty spalování odpadu

Provozovatelé ZEVO jsou povinni se řídit určitými pravidly, aby při spalovacím procesu nedocházelo k nadměrnému znečišťování životního prostředí. Tato pravidla jsou vymezena v zákoně č. 201/2012Sb., o ochraně ovzduší. V tomto právním předpisu je také vysvětleno, co se rozumí pod pojmy tepelné zpracování odpadu a spalovna odpadu.

Pro účely tohoto zákona se rozumí:

„tepelným zpracováním odpadu oxidace odpadu nebo jeho zpracování jiným termickým procesem, včetně spalování vzniklých látek, pokud by tím mohlo dojít k vyšší úrovni znečišťování oproti spálení odpovídajícího množství zemního plynu o stejném energetickém obsahu.“

„spalovnou odpadu stacionární zdroj určený k tepelnému zpracování odpadu, jehož hlavním účelem není výroba energie ani jiných produktů, a jakýkoliv stacionární zdroj, ve kterém více než 40 % tepla vzniká tepelným zpracováním nebezpečného odpadu nebo ve kterém se tepelně zpracovává neupravený směsný komunální odpad.“ [48]

To znamená, že bez ohledu na to, zda je odpad spalován za účelem odstranění nebo energetického využití, může být tepelně zpracován pouze v zařízení akreditovaném daným krajským úřadem. Zákon dále vymezuje například podmínky pro zjišťování a vyhodnocování úrovně znečišťování nebo povolenou funkční dobu spalovny. Pro zařízení tepelně zpracovávající odpad je doba povolení provozu stanovena na 25 let. [49]

Tento zákon doplňuje vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší. V § 20 odst. 1 b) aktuální vyhlášky jsou stanoveny specifické emisní limity a technické podmínky provozu zařízení pro tepelné zpracování odpadu. [50]

Porovnání emisních limitů zařízení pro energetické využívání odpadů (ZEVO) Brno za rok 2018						
Emisní limity pro znečišťující látky	Vyhláška MŽP č. 415/2012 Sb. v platném znění	Integrované povolení (IP)	rok 2018 - validované hodnoty (mg/m ³)			Dosažená úroveň EL (IP)
			K2 průměrná denní hodnota	K3 průměrná denní hodnota	průměr K2 + K3	v %
zjišťované kontinuálním měřením (mg/m ³)	Denní průměr	Denní průměr				
TZL	10	8	0,2	0,2	0,2	2,5
TOC	10	8	1,2	1,0	1,10	13,8
SO ₂ jako SO ₂	50	50	23,0	23,8	23,4	46,8
NO jako NO ₂	200	200	181,7	174,4	178,1	89,0
NH ₃	50	50	2,1	0,9	1,5	3,0
CO	50	50	8,8	4,8	6,8	13,6
Hcl	10	10	5,1	5,6	5,4	53,5
HF	1	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
Emisní limity pro znečišťující látky zjišťované jednorázovým měřením						
PCDD/PCDF (ng/m ³)	0,1	0,08	0,0077	0,0102	0,0090	11,2
Hg	0,05	0,05	0,00012	0,00016	0,0001	0,3
Cd, Tl	0,05	0,04	0,000175	0,000325	0,0003	0,6
Ostatní těžké kovy - Sb, As, Pb, Cr, Co, Cu, Mn, Ni, V	0,5	0,4	0,0054	0,0185	0,0120	3,0

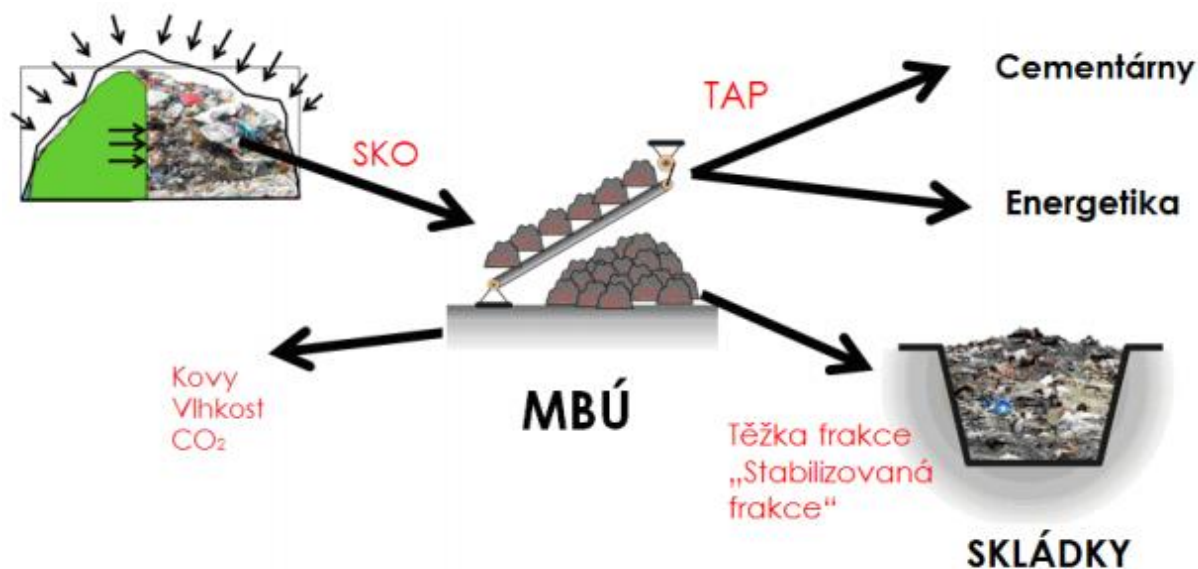
obrázek 5-1 Porovnání emisních limitů pro zařízení SAKO Brno, a.s. za rok 2018 [51]

V dnešní době dochází čím dál častěji k diskuzím ohledně odpadového hospodářství, tudíž i na téma energetické využití odpadu. Je obtížné nalézt objektivní pohled na věc z hlediska výhod pro společnost a životní prostředí. V následujících podkapitolách jsou uvedeny a stručně rozebrány některé aspekty EVO.

5.1 Alternativa fosilních paliv

Jak již bylo řečeno (kap. 2.1) neupravený SKO dosahuje podobných hodnot výhřevnosti, jako například méně kvalitní hnědé uhlí nebo lignit. Z určitého úhlu pohledu tak lze odpad považovat za druhotný zdroj energie, který může ušetřit spotřebu fosilních paliv. Pokud bychom uvažovali průměrnou výhřevnost SKO 10 MJ/kg a výhřevnost tříděného hnědého uhlí na úrovni 17 MJ/kg, pak lze říct, že při spálení 1,7 tun odpadu v moderním ZEVO se ušetří 1 tona kvalitního hnědého uhlí. Uvedené hodnoty jsou však pouze obrazné a mohou se lišit v závislosti na kolísavých hodnotách jednotlivých složek odpadu SKO (viz kap. 2.1) nebo na kvalitě hnědého uhlí. [25]

Pomocí technologie MBÚ se navíc mohou zlepšit vlastnosti odpadu jako paliva (vyšší výhřevnost, nižší vlhkost apod.), což je detailněji rozebráno v kap. 2.3.1. Jak již bylo řečeno, tato forma upraveného odpadu už se osvědčila jako palivo při výpalu slínku v cementárnách. V budoucnu se uvažuje výstavba monospaloven TAP nebo úprava již existujících energetických zařízení na spoluspalování TAP s jiným palivem. Výroba TAP zatím probíhá především u průmyslových odpadů, ale měla by se zaměřit na KO z důvodu omezení skládkování. Někteří ovšem výrobu TAP z komunálního odpadu vidí momentálně jen jako zbytečný a nákladný mezistupeň. [52] [66]



obrázek 5-2 Schéma materiálových toků při MBÚ [52]

V ČR je metoda spalování odpadu brána širokou veřejností spíše negativně oproti spalování běžných paliv, jako je uhlí nebo zemní plyn. To je způsobeno především tím, že obyvatelé nejsou dostatečně informováni o emisních limitech, které jsou pro spalovny odpadů nastaveny nejpřísněji ze všech energetických zařízení vypouštějící emise. [25]

5.2 Destrukce nežádoucích látek

V odpadu se často vyskytují různé toxické látky a patogenní organismy. Díky spalováním dochází k jejich destrukci. Ničí se pouze v případě, že se teplota drží určitou dobu na požadované hodnotě, což spalování odpadů bezpečně splňuje. Na druhou stranu při tomto termickém procesu dochází k chemickým reakcím, které vedou ke vzniku nových nebezpečných sloučenin. [1]

5.3 Snížení objemu a hmotnosti odpadu

Jednoznačnou výhodou spalování odpadu je redukce jeho hmotnosti a objemu. Hmotnost odpadu při tomto termickém procesu poklesne přibližně na 25 % původní hodnoty a objem dokonce až na 10 % původní hodnoty. Výstupní tuhý produkt tvoří převážně škvára a dále pak popílek (end-produkt). Ze škváry je navíc vybráno železo a další využitelné kovy. [22]

5.4 Využití škváry a popílku

Někteří ekologové namítají, že po procesu EVO stále zůstává dost odpadu (sekundárních zbytků), se kterým se musí dále nakládat. Proto se hledá využití pro tyto produkty spalování, aby nemusely být odvezeny na skládku. Například TERMIZO Liberec vyrábí ze směsi škváry a popílku svůj vlastní certifikovaný produkt SPRUK, který se využívá jako stavební materiál. Jeho vlastnosti jsou podobné portlandskému betonu a uplatňuje se při stavbě a provozu skládek. Doporučené použití je na násypy a zásypy, překrývací vrstvy, konstrukce hrází a kazet nebo pozemní komunikace v objektu skládky. [67]

5.5 Snížení emisí skládkových plynů

Další výhodou spalování odpadů je to, že redukuje množství odpadu jinak odvezeného na skládku. Na skládkách KO dochází v důsledku rozkladných procesů ke vzniku skládkového plynu. Tento plyn je tvořen především CH_4 (metan) a CO_2 . Oba jsou zařazeny do skupiny skleníkových plynů, ale mírou nebezpečnosti dominuje metan. Skleníkové plyny jsou významným zdrojem znečišťování ovzduší. Je rovněž nutné podotknout, že skládkový plyn v nižší míře uniká i ze zabezpečených skládek. [11]

5.6 Svoz odpadů

Elektrárny na zemní plyn mají plynovody. Elektrárny na uhlí jsou většinou opatřeny železniční dopravou. Do spaloven odpadů přijíždí desítky nákladních aut denně. Tento aspekt je významný jak z hlediska ekologického, tak i ekonomického. Vede k zatížení komunikace v blízkém okolí spalovny, což dále způsobuje vyšší produkci emisních látek. Také to znamená zvýšení prašnosti a hluku. Odpad navíc musí často urazit dlouhé trasy, protože se v ČR vyskytují zatím pouze 4 ZEVO.

Řešením by mohl být komplex menších zařízení EVO po celé ČR. Ty by byly strategicky umístěny tak, aby se snížili vzdálenosti, které musí ke spalovně přepravce odpadu urazit. Vhodná by byla také dostupnost železnice. Například v Opatovicích se plánuje výstavba spalovny KO, která by disponovala možností dovozu odpadu i pomocí železniční dopravy. Existující spalovny disponující železniční dopravou nalezneme zatím pouze v zahraničí (např.

Německo, Rakousko). Po železnici se dopravuje odpad často mezistátně. Například z Itálie odpad putuje do spalovny v Rakousku, kde mají dostatek volných kapacit a za určitý finanční obnos ho zpracují. Další možností je lodní doprava, která ovšem podléhá většímu omezení dostupnosti a ve většině případů je nutná výstavba překládací stanice. [68] [69] [70]

5.7 Nízká motivace pro separaci složek odpadu

Plasty, papír nebo například textil jsou vysokovýhřevné materiály a pokud se při separaci odpadu vyjmou, pak jeho výhřevnost logicky klesá. Tříděním se také snižuje celkové množství odpadu určené ke spálení. Primárně by se měla preferovat podle hierarchie odpadů jejich recyklace. Otázkou je, zda provozovatelé spaloven opravdu chtějí dodržovat tento princip, jestliže je to pro ně z finančního hlediska nevýhodné.

Řešením by mohlo být komplexní zařízení, které nakládá s odpady a má za povinnost odpady v první řadě pečlivě separovat, a to co nelze separovat pak teprve spálit. Je také třeba zajistit dostatečně frekventovaný svoz separovaných složek, aby nedocházelo k situacím, kdy jsou kontejnery přeplněny a u obyvatel tím klesá motivace třídít odpad. [11]

Při tomto předpokladu se ovšem nabízí určité riziko. Pokud se vytríděním rapidně sníží výhřevnost, odpad nemusí mít dostačující energetický potenciál. Dle zákona je parametr výhřevnosti odpadu nastaven na 8 MJ/kg. MŽP se již pokoušelo o snížení tohoto parametru na polovinu, čímž by se podstatně zpřísnily podmínky v ČR. Při spalování odpadu s tak nízkou výhřevností by se nejednalo o energetické využití, ale o odstranění odpadu spálením. Na základě těchto dohadů byl vypracován odborný posudek, který došel k závěru, že nejnižší možná výhřevnost pro splnění zákonných limitů je 7,6 MJ/kg při obsahu popelovin v sušině 53,4 %. [11] [72]

5.8 Provoz spalovny

V provozu spalovny se zpracovává KO, který je typický svou rozmanitou skladbou a celkem vysokým obsahem biologicky rozložitelných složek. Potom co je odpad dovezen do spalovny, leží nějakou dobu v zásobníku. Dochází tak k různým hnilobným procesům, které vyvolávají nepříjemný zápach. Díky dodržovaným podmínkám a trvalému podtlaku se snižuje jeho intenzita. I přesto v blízkém okolí spalovny nepanují ideální podmínky ovzduší, a to samozřejmě vadí zdejším obyvatelům. Tento aspekt pak může hrát roli při schvalování projektů na nové spalovny.

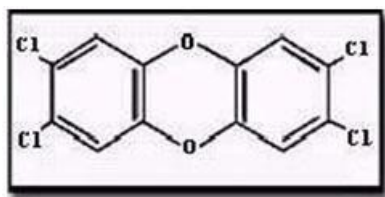
Z pohledu ekonomického má provoz spalovny taky určitá úskalí. Kromě vysokých pořizovacích nákladů za všechny potřebné technologie k dosažení efektivní a zároveň ekologicky přijatelné přeměny odpadů na energii, ani následný provoz spalovny není levný. Dříve byla výstavba nových ZEVO podporována dotacemi EU. Ta však v posledních letech přeměrovala finance spíše na oblasti spojené s koncepcí oběhového hospodářství¹⁸ a také s podporou recyklace. Pro rozehrání spalovací komory nebo pro podporu dokonalých podmínek hoření se používá přídatné palivo. Tím je z pravidla zemní plyn, který také není nejlevnější

¹⁸ koncepce rozvoje oběhového hospodářství se nezabývá pouze otázkou odpadů, ale celému životnímu cyklu výrobků [14]

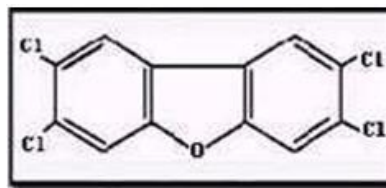
záležitostí. Velké množství vyprodukovaného tepla a elektrické energie používá spalovna pro vlastní provoz. Další ekonomickou zátěží může být pro spalovnu provoz třídící linky. [11] [73]

5.9 Vznik emisí

I přesto, že jsou emisní limity přísnější než u zařízení spalujících běžná paliva (uhlí, zemní plyn, biomasa), stále se určité množství škodlivin do ovzduší vypouští. Uhlíková stopa je při spalování odpadů sice nižší, ale na druhou stranu se uvolňují jiné nežádoucí látky. Odpady mohou obsahovat například fluor a chlór, které se při nedokonalém spalování přeměňují na toxické látky. Těžké kovy (např. olovo, rtuť, kadmium) jsou další nebezpečnou složkou odpadů. Do emisí spalovny je třeba brát v úvahu i znečištění, které vzniká při svozu odpadu. [18] [74]



obrázek 5-3 Tetrachlorodibenzo-p-dioxin [74]



obrázek 5-4 Tetrachlorodibenzofuran [74]

K nejčastěji skloňovaným toxinům, které při spalování odpadů vznikají, jsou dioxiny. Pod tímto pojmem se skrývají početné skupiny látek, kterými jsou polychlorované dibenzo-p-dioxiny (PCDD) a dibenzofurany (PCDF). Z těchto skupin jsou některé látky považovány za velmi toxické a karcinogenní. Provozovatelé moderních spaloven se ovšem brání, že dioxiny vznikají pouze při nedokonalém spalovacím procesu (nízká teplota a málo kyslíku) a při kontrolovaném spalování KO se tak uvolňuje pouze malý podíl těchto látek. Pro představu, spalovna SAKO Brno denně vypustí do ovzduší 0,0090 ng/m³ látek spadajících do skupin PCDD a PCDF. Podle výzkumu však člověk přijímá dioxiny z více než 95 % prostřednictvím potravin. Největší podíl dioxinů je zastoupen v potravinách, jako je mléko, hovězí nebo kuřecí maso. Z těchto argumentů lze usoudit, že spalovny odpadů se určitě podílejí na vzniku dioxinů, ale z hlediska množství nejsou velkými producenty. Nedá se tedy jednoznačně tvrdit, že bezprostředně ohrožují své okolí. Na druhou stranu někteří ekologové oponují, že při čištění spalin je oddělen popílek (end-produkt). Ten obsahuje vysoké koncentrace nebezpečných látek a je buď využit společně se škvárou pro rekultivaci skládek, nebo je odvezen na skládku nebezpečného odpadu. [74] [77]

ZÁVĚR

Produkce odpadů je úzce spjata s každodenním životem lidí již mnoho let. S rostoucím počtem obyvatel se zvyšuje i množství vyprodukovaného odpadu. Důležitou roli hrají i zvyšující se životní úroveň nebo technologický pokrok. Také díky těmto faktorům má odpad různorodější složení, než tomu bylo dříve. Jak již bylo řečeno, dle ČSÚ v roce 2017 dosáhla celková produkce odpadů na území ČR 24,9 milionu tun. Z toho při činnosti podniků vzniklo 20,9 milionu tun a dalších 3,6 milionu tun tvořil komunální odpad.

Velký důraz by měl být kladen na dodržování hierarchie nakládání s odpady. Za předpokladu, že vznikne odpad, je třeba s ním uvážlivě naložit. Vhodným krokem je materiálové využití, díky kterému se šetří neobnovitelné zdroje. Část odpadu se ovšem nerecykluje z ekonomických či technologických důvodů. Podíl úspěšné recyklace je značně ovlivněn množstvím správně vytríděného odpadu již rukou spotřebitele. Také nastává případ, že už materiál nedosahuje dostatečné kvality a není žádoucí ho recyklovat. Další možnost je využít alespoň energetický potenciál odpadu, přičemž je zpracováván především směsný komunální odpad, který jinak končí na skládkách. Recyklace a EVO by se měli navzájem doplňovat. Recyklace by měla být primární variantou a spalování odpadů až tou sekundární. Ve spalovnách by měl skončit pouze zbytkový jinak nevyužitelný odpad, který byl pečlivě separován. V ČR se v roce 2017 materiálově využilo 8,6 milionu tun odpadu a k výrobě energie posloužilo 1,2 milionu tun odpadu. Pokud se zaměříme na nakládání s KO, tak bohužel stále převládá jeho skládkování (49 %). Podíl recyklace v roce 2017 tvořil 27 % a ve spalovnách skončilo 17 % KO.

Velmi důležité je, aby byl odpad spalován pouze v moderních provozech, které zajišťují důkladné čištění spalin a nejsou tak hrozbou pro životní prostředí. Jako účinnější se osvědčily mokré metody čištění spalin. Pro zajištění dodávky vygenerované tepelné energie je třeba, aby byla spalovna napojena na síť CZT. ZEVO by mělo také disponovat vhodnou logistikou svozu odpadu, aby nedocházelo k narušení infrastruktury silniční dopravy. Výhodou také je, pokud zařízení nabízí možnost využití tuhých sekundárních produktů ze spalování, například ke stavebním účelům.

EVO přináší pro společnost a životní prostředí určité výhody. Šetří se spotřeba fosilních paliv, snižuje se množství skládkovaného odpadu a významným faktorem je zisk energie. Také dochází k redukci celkové hmotnosti a objemu odpadu. Při spalovacím procesu jsou navíc zničeny patogenní organismy a některé toxické látky. Je ovšem důležité si uvědomit také některá negativa spojená s EVO. I přes účinný systém čištění spalin se do ovzduší uvolňují toxické látky. Nejčastěji jsou zmiňovány dioxiny. Tento pojem v sobě nese dvě početné skupiny látek (PCDD a PCDF). ZEVO však podléhají přísným emisním limitům, které bezpodmínečně musí dodržovat. Sice se při spalovacím procesu uvolňují určité koncentrace těchto látek, ty jsou ovšem tak nízké, že nepředstavují bezprostřední ohrožení lidí nebo životního prostředí. Je třeba si uvědomit, že tento způsob využití odpadu sice redukuje jeho množství, ale zanechává po sobě tuhé sekundární produkty jako je škvára a popílek. Popílek obvykle obsahuje vysoké koncentrace těžkých kovů, dioxinů a dalších nebezpečných látek. Bývá tudíž ukládán na skládkách typu S-NO.

Ještě před nedávnem poskytovala EU finanční podporu na výstavbu nových ZEVO. V důsledku změn byly dotace přesměřovány na jiné oblasti odpadového hospodářství. Jednou z nich je zvýšení podpory recyklace. Podle POH ČR by měl od roku 2024 platit úplný zákaz odvozu KO na skládky. To se nelíbí některým odpadovým firmám a MŽP už připustilo možný posun ustanovení na rok 2030. Momentálně jsou na území ČR v provozu čtyři ZEVO. Jejich celková roční kapacita je přibližně 769 tisíc tun odpadu, která by v případě úplného zákazu skládkování KO byla nedostačující a musela by se navýšit. K tomu by mohli dopomoci projekty na výstavbu nových ZEVO (např. EVO Komořany, ZEVO Mělník a další). Úplné zamezení skládkování KO je reálné splnit jen pokud budou naplněny určité předpoklady v podobě rozvoje recyklace doplňované energetickým využíváním odpadu.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] FIEDOR, Jiří. *Odpadové hospodářství I: učební text* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2012 [cit. 2019-05-23]. ISBN 978-80-248-2573-1. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/OHO/Odpadove%20hospodarstvi%20I.pdf>
- [2] *Produkce, využití a odstranění odpadů za období 2017* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2003 [cit. 2019-05-23]. Životní prostředí, zemědělství. ISBN 978-80-250-2871-1. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/61546956/28002018.pdf/36b79716-4bee-4e66-96b8-0298993b2276?version=1.3>
- [3] Co je to odpad?. *Vítejte na zemi* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=obecne-prirodovedny_pohled&site=odpady
- [4] Struktura komunálního odpadu. *Vítejte na zemi* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=struktura_komunalniho_odpadu&site=odpady
- [5] Nebezpečné odpady. *Vítejte na zemi* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=nebezpecny_odpad&site=odpady
- [6] Ostatní odpady. *Vítejte na zemi* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=ostatni_odpad&site=odpady
- [7] Hierarchie nakládání s odpady: Zajistit přednostní využití odpadů. *Automotoenvi* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: http://www.automotoenvi.cz/app/webroot/uploads/filemanager/hierarchy_nakladani_s_odpady.png
- [8] Odpady: Jak předcházet odpadům. *Arnika* [online]. [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <http://arnika.org/jak-predchazet-odpadum>
- [9] *Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů*. In: Sbírka zákonů, ročník 2001, 185/2001 Sb. [cit. 2019-05-24] Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [10] *Recyklace* [online]. Vítejte na Zemi [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.vitejtenazemi.cz/cenia/index.php?p=recyklace&site=odpady>
- [11] BALÁŠ, Marek, Zdeněk SKÁLA a Martin LISÝ. Spalovny odpadu – odpad jako palivo. *TZB-info* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>

- [12] *Vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu*. In: Sbírka zákonů, 294/2005 Sb. [cit. 2019-05-24] Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2005-294>
- [13] *Waste statistics* [online]. Eurostat [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Waste_statistics
- [14] *Skladba domovního odpadu v ČR* [online]. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: https://www.ekokom.cz/uploads/attachments/OD/SBORN%C3%8DK%2017_20170619.pdf
- [15] BALÁŠ, Marek. *Kotle a výměníky tepla*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2013. ISBN 978-80-214-4770-7.
- [16] ŠVANDOVÁ, Kateřina. *Jezdím, jezdíš, jezdíme - integrované téma související s automobilismem* [online]. Brno, 2011 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <<https://is.muni.cz/th/dw4ce/>>. Diplomová práce. Masarykova univerzita, Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Irena Plucková.
- [17] KOTOULOVÁ, Zdenka. *Z čeho se skládá domovní odpad?* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/2836.z-ceho-se-sklada-domovni-odpad>
- [18] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle - 1. část* [online]. 2012 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/teorie-a-schemata/8382-kotle-1-cast>
- [19] HRDLIČKA, František a Jan OPATŘIL. *Odborné posouzení možností spalování odpadu o velmi nízké výhřevnosti*. [online]. Praha, 2016. ČVUT. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/data/article/odborne-posouzeni-moznosti-spalovani-odpadu-o-velmi-nizke-.pdf>
- [20] NOVÁK, Jan. *Výhřevnosti paliv. TZB-info* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/11-vyhrevnosti-paliv>
- [21] *Spalovna SAKO Brno a.s. bez obalu* [online]. Youtube, 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=4CU9yiCBDR>
- [22] *SAKO: Spalovna odpadu v Brně* [online]. Brno [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/upload/1444914938.pdf>
- [23] BALÁŠ, Marek, Martin LISÝ a Jiří MOSKALÍK. *Kotle - 2. část* [online]. 2012 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://vytapani.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/8438-kotle-2-cast>

- [24] MOHRMANN, Pavel. *ZEVO TOUR 2017 - Brněnské ZEVO* [online]. 27. 4. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/102144/zevo-tour-2017-brnenske-zevo.aspx>
- [25] HOLÍNEK, Tomáš. *Energetické využití odpadu - alternativa za fosilní paliva* [online]. 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/energeticke-vyuziti-odpadu-alternativa-za-fosilni-paliva/>
- [26] LAPČÍK, Vladimír. *Možnosti pyrolýzní technologie v rámci energetického využití odpadů* [online]. In: . 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://rceia.cz/wp-content/uploads/2017/08/lapcik.pdf>
- [27] PEER, Václav a Pavel FRIEDEL. *Zplyňování – principy a reaktory*. *TZB-info* [online]. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://vytapeni.tzb-info.cz/vytapime-tuhymi-palivy/13729-zplynovani-principy-a-reaktory>
- [28] *SAKO Brno* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/upload/1375861286.JPG>
- [29] *Výroční zpráva 2017: SAKO Brno* [online]. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/upload/1528796992.pdf>
- [30] *Nový kotel ve spalovně zajistí levné teplo pro Brňany*. *Brno* [online]. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.brno.cz/brno-aktualne/tiskovy-servis/tiskove-zpravy/a/novy-kotel-ve-spalovne-zajisti-levne-teplo-pro-brnany/>
- [31] ŠIMEK, Robert. *Spalovna Malešice už Pražany neděsí*. *Euro* [online]. 2012 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/spalovna-malesice-uz-prazany-nedesi-861005>
- [32] *Energetické využívání odpadů: Zařízení na energetické využití odpadu - ZEVO* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/energeticke-vyuzivani-odpadc5af/>
- [33] *Statistika energetického využívání odpadů a alternativních paliv 1989–2016: Zařízení na energetické využití odpadu - ZEVO* [online]. Ministerstvo průmyslu a obchodu, 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/assets/cz/energetika/statistika/obnovitelne-zdroje-energie/2017/5/Statistika-EVO-2016.pdf>
- [34] *Výroční zpráva 2017* [online]. Praha: Pražské služby, 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/index.cfm/info-pro-akcionare/2018/vyrocní-zprava-za-rok-2017/>

- [35] Co je ZEVO. Skupina ČEZ [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>
- [36] Roční bilance materiálu a energie [online]. Pražské služby [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/index.cfm/sluzby-firmam/zarizeni-pro-energeticke-vyuzivani-odpadu/rocn-bilance/>
- [37] ŘEPKA, Milan. Malešická spalovna chystá výměnu kotlů ZEVO. PrahaTV [online]. 27. 2. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://prahatv.eu/zpravy/praha/praha/6681/malesicka-spalovna-chysta-vymenu-kotlu-zevo>
- [38] Historie [online]. Termizo [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/o-spolecnosti/historie-a-soucasnost/>
- [39] VRABEC, Jan. Cena tepla v Liberci může být 550 Kč/GJ. Liberec [online]. 16. 2. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.liberec.cz/cz/obcan/aktuality/zpravy-z-mesta/cena-tepla-vliberci-muze-byt-550-kc-gj.html>
- [40] Základní technické informace [online]. Termizo [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/technologie/zakladni-technicke-informace/>
- [41] Zpráva o provozu spalovny – enviromentální profil za rok 2017 [online]. Termizo, 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2018/04/TMZ_environment%C3%A1ln%C3%AD-profil-2017.pdf
- [42] TERMIZO CZ [online]. Youtube, 2014 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=54CG1N5mJOI>
- [43] Historie [online]. ZEVO Plzeň [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/historie>
- [44] Výroční zpráva 2017 [online]. Plzeňská teplárenská [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/data/folders/Vyrocn-zprava-2017-f229.pdf>
- [45] ZEVO Plzeň [online]. Plzeňská teplárenská [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/upload/764-0912143202.jpg>
- [46] Zahájení zkušebního provozu ZEVO Chotíkov [online]. Plzeňská teplárenská [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://odpadjeenergie.cz/data/f/0/13/0/fileBankOriginal/p1av0om6p310t1u4q4v1b69da23.pptx>
- [47] ZEVO Plzeň - zkolaudováno [online]. Plzeňská teplárenská, 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/novinky/zevo-plzen-zkolaudovano>

- [48] *Zákon o ochraně ovzduší*. In: Sbírka zákonů, ročník 2012, 201/2012 Sb. [cit. 2019-05-24] Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-201>
- [49] TOMÁŠKOVÁ, Veronika a Pavel GADAS. Jak ovlivní nový zákon o ovzduší spalování odpadů?. *Envigroup*[online]. 2. 2. 2013 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.envigroup.cz/aktualita-460.html>
- [50] *Vyhláška o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší*. In: Sbírka zákonů, ročník 2012, 415/2012 Sb. [cit. 2019-05-24] Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2012-415/>
- [51] *Porovnání emisních limitů pro SAKO Brno za rok 2018* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/upload/1547649921.jpg>
- [52] *Analýza přechodu komunálního odpadu na palivo z odpadu* [online]. 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/\\$FILE/OO_DP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OO_DP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [53] BAGAROVÁ GRZYWA, Martina. *Možnosti výroby: Náhradní palivo pro cementárny* [online]. 18. 10. 2000 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/moznosti-vyroby/>
- [54] MOHRMANN, Pavel. Jak to vypadá u nás s výrobou tuhých alternativních paliv TAP?. *Prumyslovaekologie*[online]. 17. 4. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.prumyslovaekologie.cz/Dokument/103793/jak-to-vypada-u-nas-s-vyrobou-tuhych-alternativnich-paliv-tap.aspx>
- [55] Veolia má souhlas ministerstva pro stavbu multipalivového kotle v Karviné. *Tretiruka* [online]. 23. 4. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.tretiruka.cz/news/veolia-ma-souhlas-ministerstva-pro-stavbu-multipalivoveho-kotle-v-karvine/>
- [56] Infografika: Odpad jako zdroj energie. Jak je využíván v ČR a Evropě?. *OEnergetice* [online]. 5. 4. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zivotni-prostredi/infografika-energeticke-vyuziti-odpadu-evrope-ceske-republice/>
- [57] Sklárky se asi budou rozrůstat i po roce 2024, rychlý konec nechtějí obce. *Ceskatelevize* [online]. 30. 1. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://ct24.ceskatelevize.cz/domaci/2720834-skladky-se-asi-budou-rozrustat-i-po-roce-2024-rychly-konec-nechteji-obce>

- [58] HOLÍNEK, Tomáš. Sklárky se asi budou rozrůstat i po roce 2024, rychlý konec nechtějí obce. *OEnergetice* [online]. 5. 8. 2015 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/teplarenstvi/zarizeni-pro-energeticke-vyuziti-odpadu-spalovny/>
- [59] *Waste-to-Energy Plants in Europe in 2017* [online]. CEWEP [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.cewep.eu/waste-to-energy-plants-in-europe-in-2017/>
- [60] *AEB Amsterdam* [online]. aebamsterdam [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.aebamsterdam.com/>
- [61] Müllverbrennungsanlage Spittelau. *Wienenergie* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.wienenergie.at/eportal3/ep/channelView.do?channelId=-49106>
- [62] *Spittelau Waste Incineration Plant, Vienna, Austria* [online]. building [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.building.am/buildingimages/bigimages/288/0.jpg>
- [63] ZILVAR, Jiří. Když je dominantou hlavního města spalovna.... *TZB-info* [online]. 24. 10. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/16458-kdyz-je-dominantou-hlavniho-mesta-spalovna>
- [64] *Amager Bakke* [online]. [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://dragoernyheder.dk/wp-content/uploads/2018/08/amager-bakke-1180x600.jpg>
- [65] BALDWIN, Eric. World's Largest Waste-to-Energy Plant Set to Open Next Year in Shenzhen. *Archdaily*[online]. 21. 1. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.archdaily.com/909843/worlds-largest-waste-to-energy-plant-set-to-open-next-year-in-shenzhen>
- [66] VECKA, Jiří. Mechanicko-biologická úprava je slepá ulička. *Odpady-online* [online]. 12. 7. 2012 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/mechanicko-biologicka-uprava-je-slepa-ulicka/>
- [67] *Materiál pro stavební účely* [online]. tmz [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/produkty-a-sluzby/material-pro-stavebni-ucely/>
- [68] ŠŤASTNÁ, Jarmila. Dopravní studie pro spalovnu Mělník. *Odpady-online* [online]. 19. 6. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/dopravni-studie-pro-spalovnu-melnik/>
- [69] BELL, Bethany. Why Rome sends trains filled with rubbish to Austria. *BBC* [online]. 23. 5. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.bbc.com/news/world-europe-39641761>

- [70] ŠŤASTNÁ, Jarmila. Jedná se o spalovně v Opatovicích. *Odpady-online* [online]. 25. 4. 2019 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://www.odpady-online.cz/jedna-se-o-spalovne-v-opatovicich/>
- [71] *Evidence povolení ke spalování a spoluspalování odpadu* [online]. ČHMÚ [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/evidence/evidence_povoleni.doc
- [72] Odborný posudek Ústavu energetiky ČVUT k výhřevnosti odpadu. *ČAOH* [online]. 1. 6. 2016 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.caoh.cz/odborne-clanky-a-aktuality/odborny-posudek-ustavu-energetiky-cvut-k-vyhrevnosti-odpadu.html>
- [73] Konec velkých spaloven? Evropská unie chce recyklaci. *Moravskohospodarstvi* [online]. 19. 2. 2017 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://moravskohospodarstvi.cz/article/ekonomika/konec-velkych-spaloven-evropska-unie-chce-recyklaci/>
- [74] DIOXIN - strašidlo obcházející spalovny, nebo reálná hrozba? Fakta a pověry... *Enviweb* [online]. 15. 2. 2010 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/80558>
- [75] *Denmark: Waste composition* [online]. atlas.d-waste [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.atlas.d-waste.com/index.php?view=country_report&country_id=70
- [76] *Greece: Waste composition* [online]. atlas.d-waste [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: http://www.atlas.d-waste.com/index.php?view=country_report&country_id=83
- [77] Dioxinová blamáž v režii ČEZ. *Arnika* [online]. 27. 2. 2018 [cit. 2019-05-24]. Dostupné z: <https://arnika.org/dioxinova-blamaz-v-rezii-cez>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka/značka	Význam
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
ČSÚ	Český statistický úřad
ČHMÚ	Český hydrometeorologický ústav
BREF	Referenční dokumenty o nejlepších dostupných technikách (z anglického BAT – best available techniques)
CZT	Centrální zásobování teplem
EVO	Energetické využití odpadů
ZEVO	Zařízení na energetické využití odpadů
KO	Komunální odpad
SKO	Směsný komunální odpad
NO	Nebezpečný odpad
SNCR	Selektivní nekatalytická redukce
MBÚ	Mechanicko-biologická úprava
TAP	Tuhé alternativní palivo
POH	Plán odpadového hospodářství
Q_i^r	Výhřevnost [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
Q_s	Spalné teplo [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
W^r	Obsah vody v palivu [–]
r	Výparné teplo vody [$\text{kJ}\cdot\text{kg}^{-1}$]
H_2	Obsah vodíku v surovém palivu [–]