



# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta strojní

Ústav procesní a zpracovatelské techniky

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Skládkovat nebo spalovat odpady – ekonomika versus  
vliv na životní prostředí**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a veškeré k tomu použité podklady a literaturu uvádím v přiloženém seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

Jméno a příjmení

# **Poděkování**

Děkuji vedoucímu mé bakalářské práce doc. Ing. Lukáši Krátkému, PhD. a konzultantovi Ing. Petrovi Seghmanovi za jejich konstruktivní připomínky a rady, ochotu a trpělivost.

# Anotační list

<b>Jméno autora:</b>	Jonáš
<b>Příjmení autora:</b>	Kareis
<b>Název práce česky:</b>	Skládkovat nebo spalovat odpady – ekonomika versus vliv na životní prostředí
<b>Název práce anglicky:</b>	Landfilling or combustion of wastes – a study on economics and impact to environment
<b>Rozsah práce:</b>	počet stran: 53 počet obrázků: 21 počet tabulek: 12 počet příloh: 0
<b>Akademický rok:</b>	2019/2020
<b>Jazyk práce:</b>	český
<b>Ústav:</b>	Ústav procesní a zpracovatelské techniky
<b>Studijní program:</b>	Teoretický základ strojíňho inženýrství
<b>Vedoucí práce:</b>	Ing. Lukáš Krátký, Ph.D.
<b>Konzultant práce:</b>	Ing. Petr Seghman
<b>Anotace česky:</b>	Tato bakalářská práce si bere za cíl odpovědět na otázku, která z technologií spalování a skládkování komunálního odpadu je z environmentálního a ekonomického hlediska výhodnější. K tomuto účelu byly použity již existující studie publikované ve vědeckých časopisech. Součástí obsahu práce je seznámení se s odpadovým hospodářstvím v České republice a popis technologie skládkování a spalování. Obsahem druhé části práce je SWOT analýza těchto technologií a jejich zhodnocení z environmentálního a ekonomického hlediska.
<b>Anotace anglicky:</b>	The goal of this thesis is to determine which one of the two ways of municipal solid waste management – landfilling and incineration – is more advantageous from the environmental and economic point of view. Studies published in scientific journals were used for this assessment. This thesis consists of an introduction to

municipal solid waste management in the Czech Republic and the description of technologies of landfilling and incineration. The second half focuses on the SWOT analysis of these technologies and their evaluation from an environmental and economic standpoint.

- Klíčová slova:** komunální odpad, skládkování, spalování, posuzování životního cyklu, porovnání
- Klíčová slova anglicky:** municipal waste, incineration, landfilling, life cycle assessment, comparison
- Využití:** přiblížení technologie skládkování a spalování; nalezení vhodnějšího řešení nakládání s odpady

# Obsah

1	Úvod .....	1
2	Komunální odpad v ČR .....	2
2.1	Produkce komunálního odpadu .....	3
2.2	Nakládání s odpady .....	5
3	Technologie zpracování komunálního odpadu .....	7
3.1	Skládkování .....	7
3.1.1	Podklady pro návrh skládky .....	8
3.1.2	Technologické schéma .....	9
3.1.3	Technická zabezpečení .....	9
3.1.4	Mechanická zařízení na skládkách .....	12
3.1.5	Ekonomická bilance skládky .....	13
3.1.6	Uzavírání a rekultivace skládky .....	14
3.2	Spalování .....	14
3.2.1	Proces spalování .....	14
3.2.2	Technologické schéma .....	16
3.2.3	Technická zařízení při spalování .....	16
3.2.4	Proces čištění spalin .....	20
4	SWOT analýza .....	24
4.1	SWOT analýza skládkování .....	24
4.1.1	Silné stránky .....	24
4.1.2	Slabé stránky .....	25
4.1.3	Příležitosti .....	25
4.1.4	Hrozby .....	25
4.2	SWOT analýza spaloven odpadu .....	25
4.2.1	Silné stránky .....	26
4.2.2	Slabé stránky .....	26
4.2.3	Příležitosti .....	26
4.2.4	Hrozby .....	26
4.3	Porovnání .....	27
5	Environmentální hodnocení technologií .....	28
5.1	LCA (Life Cycle Assessment) .....	28
5.1.1	Fáze metody LCA .....	28
5.1.2	Výsledky LCA analýz .....	32
6	Technické zhodnocení technologií .....	38

6.1	TRL (Technology readiness level).....	38
6.1.1	Význam úrovní TRL.....	38
6.1.2	Zhodnocení skládkování a spalování.....	39
7	Ekonomické zhodnocení technologií .....	40
7.1	Skládky.....	40
7.1.1	Investiční náklady .....	40
7.1.2	Provozní náklady a výnosy .....	40
7.2	Spalovny.....	41
7.2.1	Investiční náklady .....	41
7.2.2	Provozní náklady a výnosy .....	42
8	Závěr.....	45
9	Reference.....	47
10	Seznam obrázků.....	52
11	Seznam tabulek.....	53

# 1 Úvod

S rostoucí životní úrovní roste i množství a mění se složení komunálního odpadu. V České republice se jen za minulý rok vyprodukovalo rekordních 28 milionu tun odpadu, z toho 3,7 milionu komunálního odpadu, což v přepočtu na jednoho obyvatele činí 351 kg. Je tedy velmi důležité, jak se s takovým množstvím odpadu bude nakládat.

Existuje více možností, jak nakládat s komunálními odpady. U nás je nejběžnější skládkování, dále recyklace, spalování a kompostování. V ideálním případě by bylo 100% odpadu recyklováno či kompostováno, to však není z technologických i ekonomických možností providitelné.

V této práci se zaměřuji na spalování a skládkování a na jejich dopad na životní prostředí a ekonomickou náročnost.



*Obrázek 1: Komunální odpad. [1]*



## 2 Komunální odpad v ČR

V souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech, je pojem komunální odpad vymezen takto: „Komunální odpad je 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.” [2]

Komunální odpad je dále rozdělen v Katalogu odpadů takto:

Tabulka 1: Katalog odpadů. [3]

<b>20</b>	<b>Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů), včetně složek odděleného sběru</b>
20 01	Složky z odděleného sběru
20 01 01	Papír a lepenka
20 01 02	Sklo
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven
20 01 10	Oděvy
20 01 11	Textilní materiál
20 01 13*	Rozpouštědla
20 01 14*	Kyseliny
20 01 15*	Zásady
20 01 17*	Fotochemikálie
20 01 19*	Pesticidy
20 01 21*	Zářivky a jiný odpad obsahující rtuť
20 01 23*	Vyřazená zařízení obsahující chlorofluorouhlovodíky
20 01 25	Jedlý olej a tuk
20 01 26*	Olej a tuk neuvedený pod číslem 20 01 25
20 01 27*	Barvy, tiskařské barvy, lepidla a pryskyřice obsahující nebezpečné látky
20 01 28	Barvy, tiskařské barvy, lepidla a pryskyřice neuvedené pod číslem 20 01 27
20 01 29*	Detergenty obsahující nebezpečné látky
20 01 30	Detergenty neuvedené pod číslem 20 01 29
20 01 31*	Nepoužitelná cytostatika
20 01 32*	Jiná nepoužitelná léčiva neuvedená pod číslem 20 01 31
20 01 33*	Baterie a akumulátory, zařazené pod čísla 16 06 01, 16 06 02 nepo pod číslem 16 06 03 a netříděné baterie a akumulátory obsahující tyto baterie
20 01 34	Baterie a akumulátory neuvedené pod číslem 20 01 33
20 01 35*	Vyřazené elektrické zařízení obsahující nebezpečné látky neuvedené pod čísly 20 01 21 a 20 01 23
20 01 36	Vyřazené elektrické a elektronické zařízení neuvedené pod čísly 20 01 21, 20 01 23 a 20 01 35
20 01 37*	Dřevo obsahující nebezpečné látky
20 01 38	Dřevo neuvedené pod číslem 20 01 37
20 01 39	Plasty

20 01 40	Kovy
20 01 41	Odpady z čištění komínů
20 01 99	Další frakce jinak blíže neurčené
20 02	Odpady ze zahrad a parků (včetně hřbitovního odpadu)
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad
20 02 02	Zemina a kameny
20 02 03	Jiný biologický nerozložitelný odpad
20 03	Ostatní komunální odpady
20 03 01	Směsný komunální odpad
20 03 02	Odpad z tržišť
20 03 03	Uliční smetky
20 03 04	Kal ze septiků a žump
20 03 06	Odpad z čištění kanalizace
20 03 07	Objemný odpad
20 03 99	Komunální odpady jinak blíže neurčené

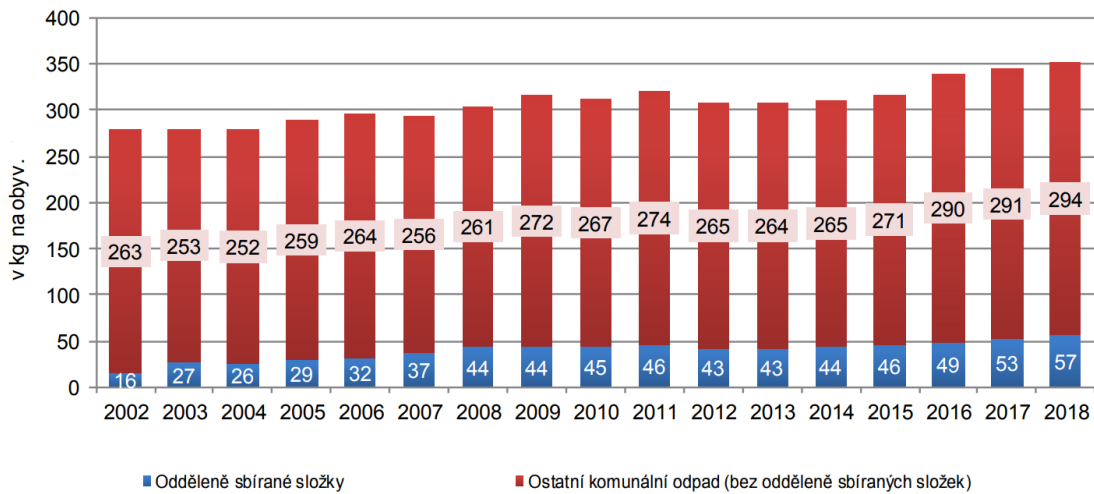
## 2.1 Produkce komunálního odpadu

Jak už bylo dříve zmíněno, s rostoucí životní úrovní roste i množství komunálního odpadu. Nejenže bohatší společnost kupuje více produktů, ale často nakupuje nad rámec své spotřeby a produkty jsou pak tedy zbytečně vyhazovány (jídlo, elektronika). Vývoj produkce komunálního odpadu má tedy u nás stále vzestupnou tendenci, jak je vidno v tab. 2. [4]

Tabulka 2: Produkce komunálních odpadů. [5]

V tunách	2002	2015	2016	2017	2018
Produkce komunálních odpadů celkem	2 845 077	3 337 336	3 579 614	3 642 958	3 732 219
Z toho:					
Běžný svoz	2 121 953	2 069 760	2 094 329	2 071 155	2 099 843
Svoz objemného odpadu	290 186	308 607	348 138	365 487	392 542
Odpady z komunálních služeb	266 482	60 919	58 059	56 246	47 515
Odděleně sbírané složky	166 456	484 710	518 797	558 382	600 893
Z toho:					
Papír	-	155 669	161 899	169 045	181 815
Sklo	-	120 327	126 731	132 506	138 795
Plasty	-	118 196	127 904	138 752	147 381
Kovy	-	29 857	27 057	32 923	42 846
Biologicky rozložitelný odpad	-	1 647 194	1 817 338	1 868 060	1 906 549

Pro lepší představu přikládám graf vývoje produkce komunálních odpadů na obyvatele v České republice.

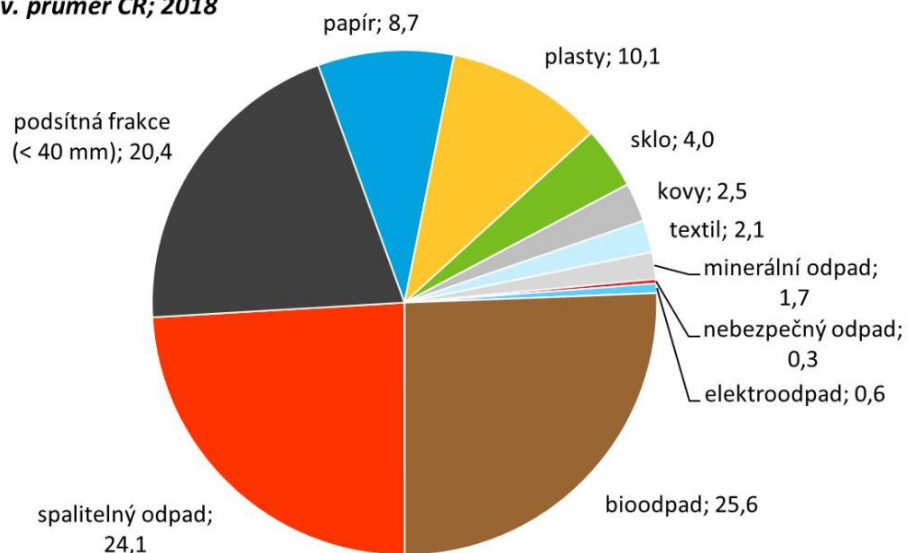


Obrázek 2: Graf vývoje produkce komunálních odpadů. [5]

Dle plánu odpadového hospodářství České republiky na období 2015 – 2024 z roku 2014 by měla roční produkce komunálních odpadů od roku 2015 klesat přibližně o 0,18 % ročně. Vývoj byl však zcela opačný a za poslední rok se produkce zvýšila o 2,5 %. Na tento trend má jistě značný vliv výrazný ekonomický a hospodářský růst ČR od roku 2014, který po recesi v letech 2012 – 2013 očekával málokdo. [6]

Skladba směšného komunálního odpadu v ČR vypadala v roce 2018 následovně:

**skladba SKO: v. průměr ČR; 2018**  
[% hm.]



© EKO-KOM, a.s.

Obrázek 3: Skladba směšného komunálního odpadu. [7]

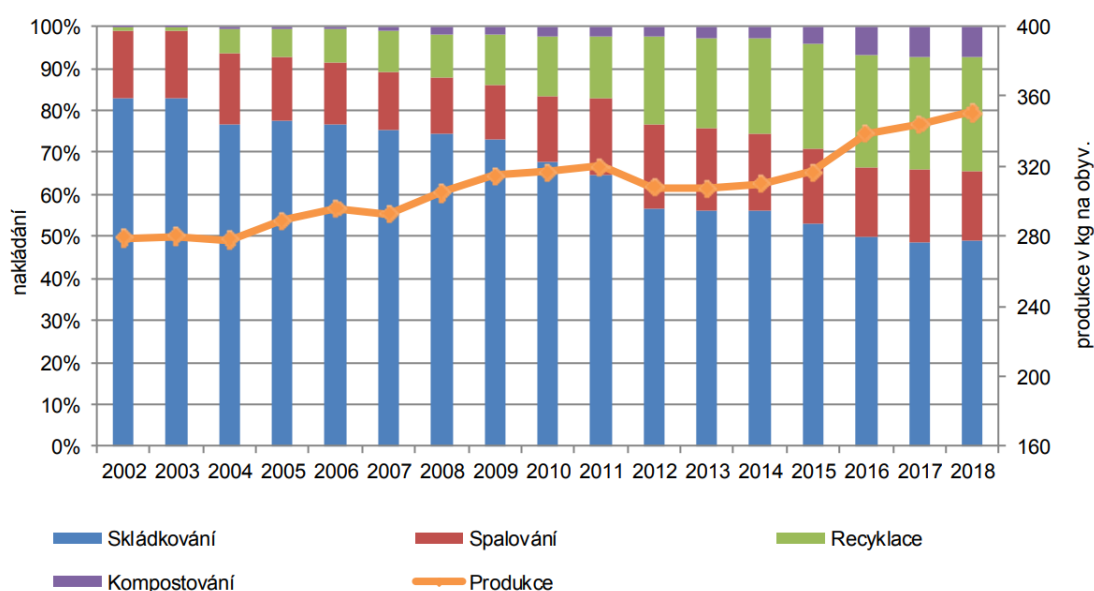
Tento graf vychází z analýzy společnosti EKO-KOM. Z 16 různých lokalit bylo přezkoumáno 121 vzorků ze sídlištní, typicky městské a venkovské zástavby. Rozbory byly všude opakovány v pravidelných čtvrtletních intervalech, aby byly zachyceny změny v odpadovém chování lidí v různých ročních obdobích.

Odpad, který propadne sítím je z větší části netříditelný. Jedná se o drobné plasty, útržky papíru, bioodpad, drobnou suť atd. Spalitelný odpad je zcela netříditelný a řadí se sem např. hygienický odpad, gumové výrobky, obuv, dřevěné úlomky. Množství tříditelného odpadu se v směsném odpadu stále snižuje. V roce 2008 byl měrný obsah těchto materiálů v směsném komunálním odpadu 77 kg/ob./rok, v roce 2018 byl tento obsah už jen 50 kg/ob./rok. Naopak netříditelný spalitelný odpad se zvýšil z 23 kg/ob./rok na 47 kg/ob./rok. [7]

## 2.2 Nakládání s odpady

Nakládáním s odpady se rozumí obchodování, shromažďování, sběr, výkup, přeprava, doprava, skladování, úprava, využití a odstranění odpadů. V této práci se zabývám posledním krokem tohoto procesu, tedy odstraňováním odpadů.

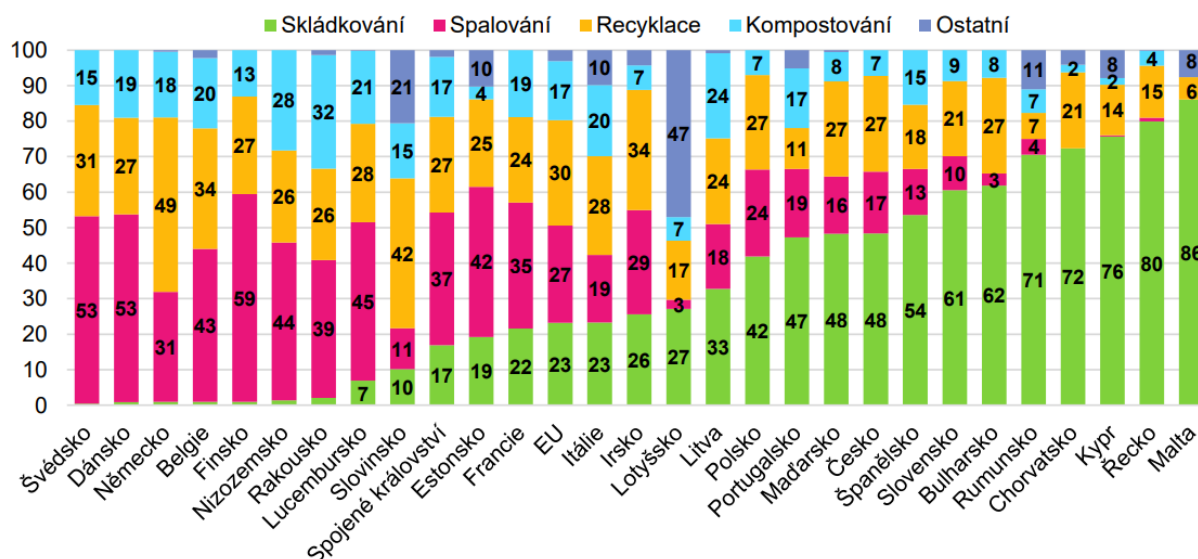
V České republice jsou odpady odstraňovány čtyřmi různými způsoby. Odpady jsou skládkovány, recyklovány, spalovány či kompostovány. V roce 2018 bylo 49 % komunálních odpadů skládkováno, 27 % recyklováno, 17 % spalováno a 7 % kompostováno. Využití jednotlivých způsobů zpracování odpadu se v posledních letech výrazně proměnilo, jak je vidno na následujícím grafu. [5]



Obrázek 4: Nakládání s odpady v ČR. [5]

Trendem posledních desetiletí je snižovat podíl skládkování a zvyšovat podíl recyklování a kompostování odpadu. Kompostovat však lze jen biologický odpad a recyklovat také nelze vše. Recyklovat má smysl ty odpady, kterých je větší množství a jejichž zpracování je například z důvodů ochrany přírody či úspory energetických zdrojů a energií žádoucí. Některé materiály lze recyklovat bez významných ztrát kvality (sklo), jiným se s každou recyklací zhoršují jejich původní vlastnosti (papír).

Česká republika patří mezi státy Evropské unie k zemím s průměrným zastoupením recyklace, nicméně podíl skládkování, na jehož pokles se v posledních letech klade velký důraz, je přibližně dvakrát větší než jeho průměr v zemích EU. [8]



Obrázek 5: Nakládání s odpady v EU. [8]

V České republice se nachází 178 skládek odpadu, které jsou rovnoměrně rozmístěny po celém území ČR. Tou největší je skládka v pražských Ďáblicích. Spalovny jsou na našem území pouze čtyři a to v Praze, Plzni, Liberci a Brně. Jejich počet by se však měl do budoucna zvyšovat. Kompostáren v provozu je u nás přibližně 120, ale zakládají se stále nové.

## 3 Technologie zpracování komunálního odpadu

### 3.1 Skládkování

Skládkování je bezpochyby nejstarším způsobem nakládání s odpady. Je to levné a jednoduché řešení a právě proto má stále u nás většinové zastoupení. Dle zákona č. 185/2001 Sb. – Zákon o odpadech: „*skládka je zařízení zřízené v souladu se stavebním zákonem a provozované ve třech na sebe bezprostředně navazujících fázích provozu, včetně zařízení provozovaného původcem odpadů za účelem odstraňování vlastních odpadů a zařízení určeného pro skladování odpadů s výjimkou přechodného skladování odpadů. První fází je provozování skládky za účelem odstraňování odpadů jejich ukládáním na nebo pod úroveň terénu. Druhou fází je provozování skládky k případnému využívání odpadů při uzavírání a rekultivaci skládky. Třetí fází provozu skládky je provozování zařízení neurčeného k nakládání s odpady za účelem zajištění následné péče o skládku po jejím uzavření.*“ [2]

Skládky můžeme dělit podle různých kritérií do několika skupin [9]:

- Z hlediska zabezpečení a provozování:
  - Zabezpečené (řízené)
  - Nezabezpečené (neřízené, nelegální)
- Z hlediska umístění skládky vzhledem k terénu:
  - Podúrovňové
  - Nadúrovňové
  - Podzemní
  - Svahové
  - Násypové
  - Kombinované
- Podle typu dopadu
  - Skládky pro inertní odpad
  - Skládky pro ostatní odpad
  - Skládky pro ukládání nebezpečného odpadu

### 3.1.1 Podklady pro návrh skládky

Chceme-li zakládat skládku, musíme vybrat vhodnou lokalitu. Tu vybíráme podle hodnotících kritérií, mezi které patří [9]:

- Údaje o množství a druhu odpadu, který bude na skládce ukládán.
- Výsledky hydrogeologického a inženýrsko-geologického průzkumu (vlastnosti geologického podloží, dostupnost vhodné zeminy, hladina podzemních vod).
- Dopravní řešení s ohledem na svozové území a místo skládky.
- Klimatické a hydrologické údaje (směr převládajících větrů, průměrný roční úhrn srážek).
- Údaje o hygienických ochranných pásmech (ochranná pásma vodních zdrojů, vzdálenost od nejbližší zástavby)
- Údaje o sítichtechnické a dopravní infrastruktury a jejich ochranných pásmech (vedení elektrického proudu, telekomunikační vedení, plynovody, dopravní komunikace).
- Údaje o chráněných územích a kulturních památkách (NP, CHKO).
- Mapové a geodetické podklady (územní plány, katastrální mapy).

Varianty lokace posuzujeme dle výše uvedených kritérií. Lokace pak mohou být vhodné, podmíněně vhodné nebo nevhodné. Mezi nevhodné lokace můžeme zařadit ty, které splňují následující charakteristiky [9]:

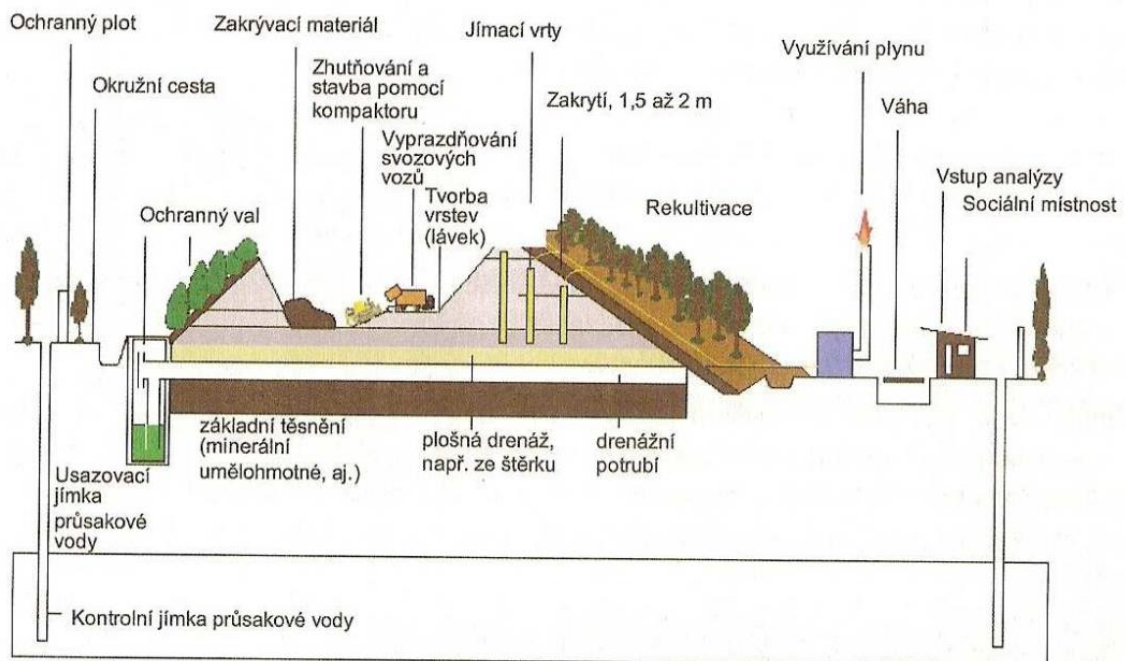
- Nachází se v záplavovém území.
- Nachází se na území, kde není se skládkou počítáno v územním plánu.
- Nachází se na území s nevhodnými vlastnostmi geologického podloží (vysoká propustnost, nízká únosnost, poddolová území, území se sklony k erozi).
- Nachází se na zvláště chráněném území.
- Nachází se na území v ochranných pásmech letišť a s výskytem inženýrských sítí, jejichž přeložka je nemožná z technických či ekonomických důvodů.

Pro představu přikládám tabulku s dobou rozkladu jednotlivých složek odpadu.

Tabulka 3: Doba rozkladu složek odpadu. [10]

Druh odpadu	Doba rozkladu
Papír	4 měsíce
Tvrdé dřevo	50 let
Měkké dřevo	15 let
PVC (igelit)	25 let
PET	100 let
Polystyren	Desetitisíce let
Sklo	Tisíce let
Hliník (plechovka)	15 let

### 3.1.2 Technologické schéma



Obrázek 6: Technologické schéma skládkování. [11]

### 3.1.3 Technická zabezpečení

Po vybrané lokaci je nutné skládku vhodně zabezpečit, aby odpovídala požadované míře zabezpečení dle skupiny skládek. Mezi základní bezpečnostní prvky skládek patří těsnicí systém, odvodňovací systém, odplyňovací systém, provozně technická zařízení a zařízení pro monitoring. [9,12]



### 3.1.3.1 Těsnicí systém

Skládka musí být zabezpečena hydroizolačním systémem, kvůli značnému podílu vody v odpadu, vznikajícímu výluhu z odpadů, zatékání dešťových vod a hlavně kvůli ohrožení podzemních vod. Těsnění je aplikováno na dně i na povrchu skládky. Těsnicí systém se skládá ze soustavy vrstev různých těsnících materiálů a vrstev chránící izolační vrstvy před mechanickým poškozením. Zvolený typ těsnění závisí na druhu ukládaného odpadu, podmínkách v místě skládky a uspořádání skládky.

Těsnění rozlišujeme na jednoduché, mezi které patří:

- Minerální těsnění
- Bentonitové rohože
- Těsnicí fólie

Druhým typem jsou těsnění kombinované, kde je využíváno těsnicí fólie, jež zabraňuje průniku vody, spolu s minerálním těsněním proti chemické difúzi.

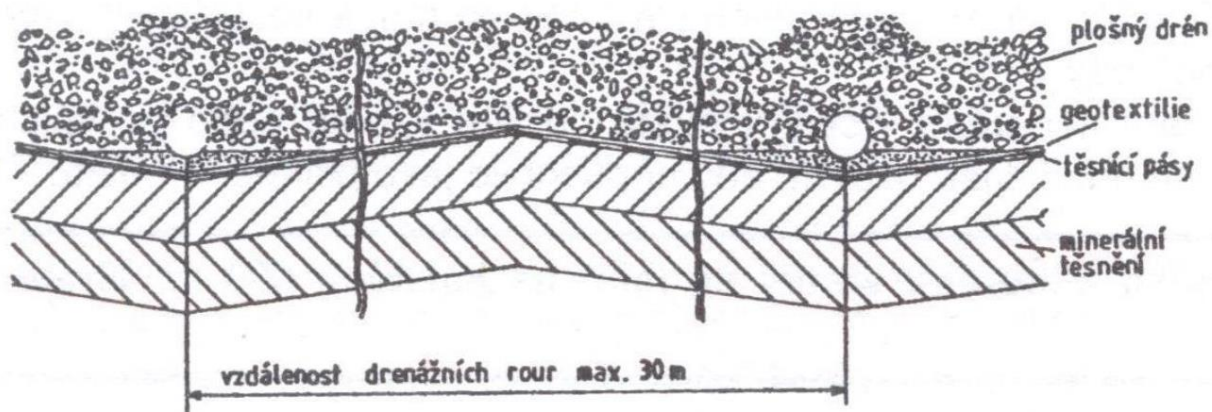
Provedení těsnění můžeme rozlišit na plošné a svislé. Plošné těsnicí systémy jsou realizované z přírodní nebo upravené zeminy, plastové fólie, bentonitových rohoží, asfaltu atd. Svislá ochrana je realizovaná z hloubených či vrtaných podzemních těsnících stěn vyplněných jílem nebo cementem. [9,12]

### 3.1.3.2 Odvodňovací systém

Těleso skládky je nutné chránit před působením vnitřních i vnějších vod. Nekontaminovaná vnější voda je od skládky odváděna odvodňovacími příkopy. Kontaminovaná průsaková voda je schromažďována v záchytné nádrži a používá se k zavlažování odpadu pro urychlení rozkladných procesů, prevence vzniku požárů a snížení prašnosti. V případě přebytku průsakové vody, je tento přebytek odveden do nejbližší čističky odpadních vod. Pro odvod vody z povrchu skládky je využíván drenážní systém.

Odvodňovací systém se tedy skládá z plošné drenáže, trubní drenáže, akumulární nádrže a zařízení na znovuvyužití nebo odstranění průsakových vod. Plošná drenáž je tvořena vrstvou přírodního (štěrk) nebo umělého zrnitého materiálu (drenážní rohož). Syntetické drenážní rohože jsou používány ve formě geomřížky nebo geotkaniny. Geomřížka má vyšší pevnost, ale disponuje horšími drenážními vlastnostmi.

Trubní drenáž odvádí vodu přitékající z plošné drenáže. Při navrhování trubních vedení musí být počítáno s rizikem ucpání trubek. Trubní drenáž je od okolního tělesa skládky izolována geotextilií a štěrkem. [7,8]



Obrázek 7: Odvodňovací systém. [9]

### 3.1.3.3 Odplyňovací systém

V nahromaděném odpadu dochází v průběhu času k biochemickým reakcím, v jejichž důsledku je uvolňován skládkový plyn. Optimálními podmínkami pro jeho tvorbu jsou: pH 6,5 – 8, vlhkost větší než 20 % a teplota 25 – 40 °C. Během tvorby skládkového plynu probíhají exotermní procesy. V hlubokých a dobře odkysličených skládkách může teplota vzrůst až na 75 °C. Plyn je tvořen především oxidem uhličitým, metanem, oxidem síry a oxidem dusíku. Skládkový plyn ohrožuje bezpečnost skládky a životní prostředí. Může být příčinou požárů a výbuchů, páchne a jedná se o skleníkový plyn. Aby skládky předešly negativním důsledkům, musí disponovat účinným odplyňovacím systémem, který odstraňuje skládkový plyn. Množství a kvalita skládkového plynu je závislá na délce provozu skládky, rychlosti rozkladných procesů, tvaru skládky a množství organických materiálů v odpadu. Z jednoho kg odpadu se v průběhu života skládky uvolní 180 až 370 litrů skládkového plynu.

Odplyňovací systém se skládá z:

- Svislé prvky (vrty, jímací studny)
- Vodorovné prvky (drény, horizontální vrty)
- Kombinované prvky (svislé, vodorovné a šikmé drény a vrty)

Odplyňovací systém je často propojen s odvodňovacím systémem. Drenážní potrubí je vyrobeno nejčastěji z plastu (PE), dále se používá technologie zdvihaných

studen, kdy je ocelová výpažnice vyplněná štěrkem posunovaná do výšky v závislosti na množství odpadu, případně se pouze vyvrtá vrt. Odvod plynu může probíhat pasivně či aktivně (podtlak, až 5x účinnější).

Skládkový plyn je po jeho separaci vyčištěn a energeticky využit v kogenerační jednotce. Pokud kvůli své kvalitě nebo jinému problému nemůže být energeticky využit, je plyn zneškodněn spálením v spalovacím zařízení. Výhřevnost skládkovacího plynu je kolem 11 MJ/ kg. [9,12]

#### **3.1.3.4 Provozně technická zařízení**

Ke každé skládce patří účelová komunikace, která umožňuje vjezd vozidel do areálu skládky, dále je vybavena dočasnými účelovými komunikacemi, které se budují v jednotlivých sekcích skládky podle potřeby dané sekce. Při výstavbě komunikace se musí počítat s prašností, tíhou, kterou vozidla působí, maximální rychlostí prostředků a sklonem komunikace. Dočasné komunikace bývají zpevněné, montované ze silničních panelů. V areálu skládky by mělo být v provozu zařízení pro očistu mechanismů. Součástí skládky je mostní váha, detekční rám a kontrolní plocha odpadu. Zde je kontrolována hmotnost a složení přivezeného odpadu. Další nezbytnou součástí skládek jsou sítě pro zachytávání odpadu unášeného větrem a oplocení zabraňující nelegálnímu navážení odpadu. [9,12]

#### **3.1.3.5 Zařízení pro monitoring**

Každá skládka má povinnost monitorovat své okolí a zjišťovat, zda nedochází k negativnímu ovlivňování životního prostředí v důsledku provozování skládky. Monitoring probíhá již před vybudováním skládky a končí až minimálně 15 let po uzavření skládek. Sledují se zejména vlastnosti povrchových a podzemních vod v okolí, produkce a složení skládkového plynu, spolehlivost odvodňovacího a odplyňovacího systému, prašnost atd. [9,12]

### **3.1.4 Mechanická zařízení na skládkách**

Jednou z nejdůležitějších pracovních operací na skládkách je jednoznačně zhutňování odpadu. Zhutňováním je dosaženo zvýšené objemové hmotnosti odpadu a to až o 50 %. Na skládku se tedy vejde větší množství odpadu, zároveň se zabraňuje pozdějšímu sedání tělesa skládky, které může poškodit těsnící systém. Zhutňováním

se taktéž urychlují rozkladné procesy tělesa, snižuje se propustnost a zabraňuje se unášení lehkých odpadů větrem. Zařízení, která na skládkách provádějí zhutňování, se nazývají kompaktory. Jedná se o až 40 tun těžký dopravní prostředek s upravenými koly s ocelovými hroty. Jeho opakovaným přejezdem na povrchu skládky dochází k zhutňování odpadu. Kompaktor je taktéž vybaven radlicí, kterou rovnoměrně rozprostírá odpad v dané sekci skládky. Kromě kompaktoru může být využit i dozer s pásovým podvozkem. Méně častým prostředkem zhutňování je pak dynamická konsolidace, kdy je odpad udusáván závažím.

Daným prostředkem se tvoří až 2 m tlustá vrstva zhutněného odpadu. Následně je nutné zhotovit mezivrstvu z inertních materiálů o tloušťce 0,3 m. Tato vrstva je tvořena z důvodu zvýšení pevnosti skládkového tělesa a omezení šíření zápachu. [9,12]



*Obrázek 8: Kompaktor. [13]*

### **3.1.5 Ekonomická bilance skládky**

Ekonomickou bilanci skládky můžeme rozdělit na výnosy a náklady. Mezi výnosy patří poplatky za ukládání odpadu a produkce energie a surovin. Mezi náklady patří náklady na výstavbu a provoz skládky, vytváření finanční rezervy pro uzavření a rekultivaci skládky, monitoring skládky, skládkové vodní hospodářství a případné kompenzace za snížení atraktivity území. [14]

### 3.1.6 Uzavírání a rekultivace skládky

Po ukončení prací na skládce nebo na dané sekci skládky musí dojít k co nejrychlejšímu uzavření a rekultivaci. Rekultivaci lze definovat jako zkulturnění znehodnoceného území a jeho opětovné začlenění do krajiny. Uzavření a rekultivace probíhá postupně po jednotlivých sekcích skládky, které dosáhly maximální kapacity naváženého odpadu. Bez brzké rekultivace by mohlo docházet k vyluhování kontaminantů, erozi svahů skládky, porušení vrstev skládkového tělesa a produkci skládkových průsakových vod. Vlastní řešení rekultivace je přímo závislé na typu skládky a odpadu, který tam byl navážen. Rekultivace probíhá v několika krocích: [9,12]

- Úprava tvaru skládkového tělesa.
- Svrchní těsnění.
- Ochrana izolačních vrstev.
- Zapojení skládky do okolního prostředí. [9,12]

## 3.2 Spalování

Spalováním odpadu odpad energeticky využíváme. Generujeme tuhé odpady, plynné emise a primárně elektrickou energii a teplo. Tento způsob odstraňování odpadů často převažuje ve vyspělých zemích a do budoucna by měl i u nás tvořit stále větší podíl na nakládání s odpady. Spalování lze využívat pro velmi široký okruh odpadů, já se však zaměřuji na nakládání s komunálními odpady. [9,15]

### 3.2.1 Proces spalování

Proces spalování komunálního odpadu lze rozdělit do několika fází: sušení, uvolnění a hoření prchavé hořlaviny a hoření uhlíku. Při sušení je změněn těkavý obsah odpadu (např. uhlovodíky, voda) při stupních mezi 100 a 300 °C. Tento proces je závislý pouze na dodávkách tepla. V dalším kroku se rozkládají organické látky při teplotě 250 až 700 °C. Uhlíkaté zbytky reagují s vodní parou a CO<sub>2</sub> při teplotách mezi 500 a 1000 °C a jsou tak převedeny do plynné fáze. Vzniklé spaliny pak hoří při teplotách mezi 800 a 1450 °C. Vše probíhá za přibližného tlaku 1 bar. Obsah kyslíku se pohybuje kolem 6 %. Vzduch se přivádí přibližně v množství 6 m<sup>3</sup> na kg odpadu. Obecně platí, že vzduchu se přivádí s přebytkem 1,5 až 2,5 vůči stechiometrii spalovacích reakcí.

Tyto jednotlivé stupně se navzájem překrývají a není tedy zcela možné je prostorově a časově oddělit. Můžeme je však pozitivně ovlivňovat tak, aby se snížily znečišťující emise. Komplikací při spalování komunitního odpadu je jeho heterogenita. Fyzikální vlastnosti jako výhřevnost, teplota vznícení, tvar a velikost se můžou výrazně lišit, proto jsou i teplotní intervaly jednotlivých procesů tak široké. Výhřevnost směsného komunálního odpadu v ČR se pohybuje kolem 8-12 MJ/kg. Podobných hodnot dosahuje méně kvalitní hnědé uhlí či lignit. Výhřevnost jednotlivých složek komunálního odpadu je znázorněna v následující tabulce. [9,15,16]

Tabulka 4: Výhřevnost složek komunálního odpadu. [16]

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

Obecně lze sestavit rovnici dokonalého hoření takto:

- Palivo + vzduch  $\rightarrow$  oxid uhličitý + voda + teplo + škodliviny

Konkrétní příklady dokonalého hoření pak vypadají následovně:

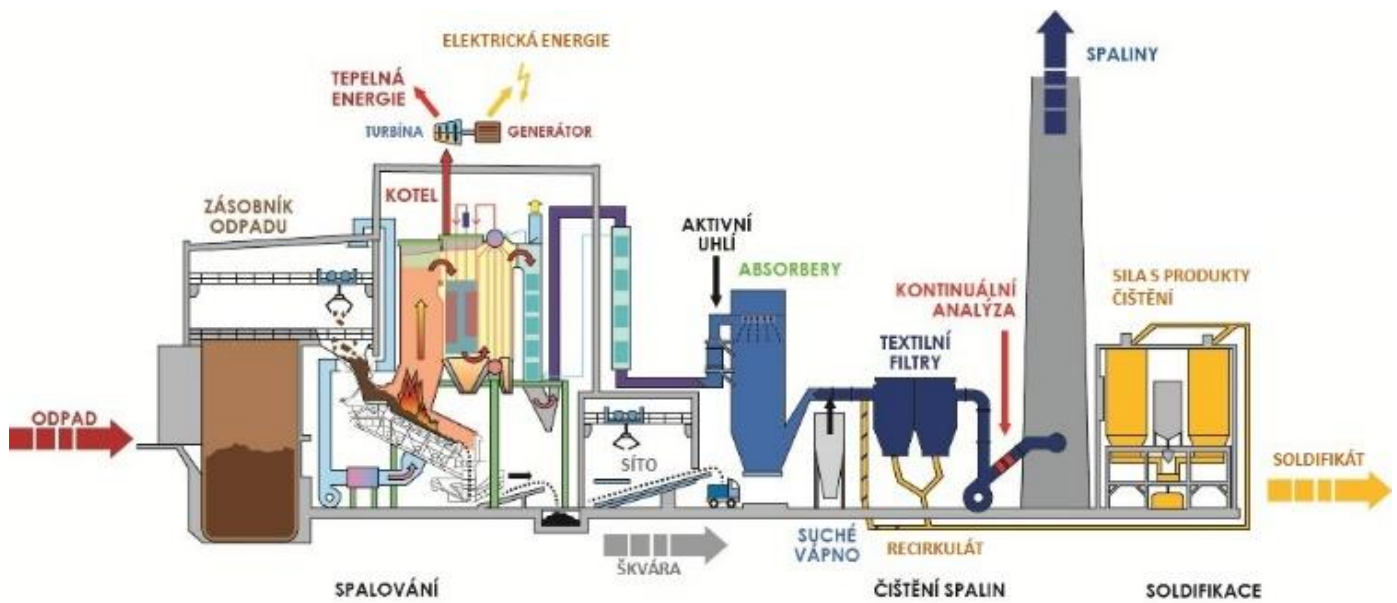
- Methanol:  $2\text{CH}_3\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 2\text{CO}_2 + 4\text{H}_2\text{O}$
- Ethanol:  $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH} + 3\text{O}_2 \rightarrow 3\text{H}_2\text{O} + 2\text{CO}_2$
- Methan:  $\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$

Spalovací rovnice jednotlivých prvků odpadu uvádím níže:

- $\text{C} + \text{O}_2 \rightarrow \text{CO}_2$
- $2\text{H}_2 + \text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O}$
- $2\text{N} \rightarrow \text{N}_2$
- $\text{S} + \text{O}_2 \rightarrow \text{SO}_2$
- $\text{Cl} + \text{H} \rightarrow \text{HCl}$
- $\text{F} + \text{H} \rightarrow \text{HF}$  [17]

Z 1 kg odpadu v pražských Malešicích bylo v roce 2018 vygenerováno 82 Wh elektřiny a 2,95 MJ tepla. [18]

### 3.2.2 Technologické schéma

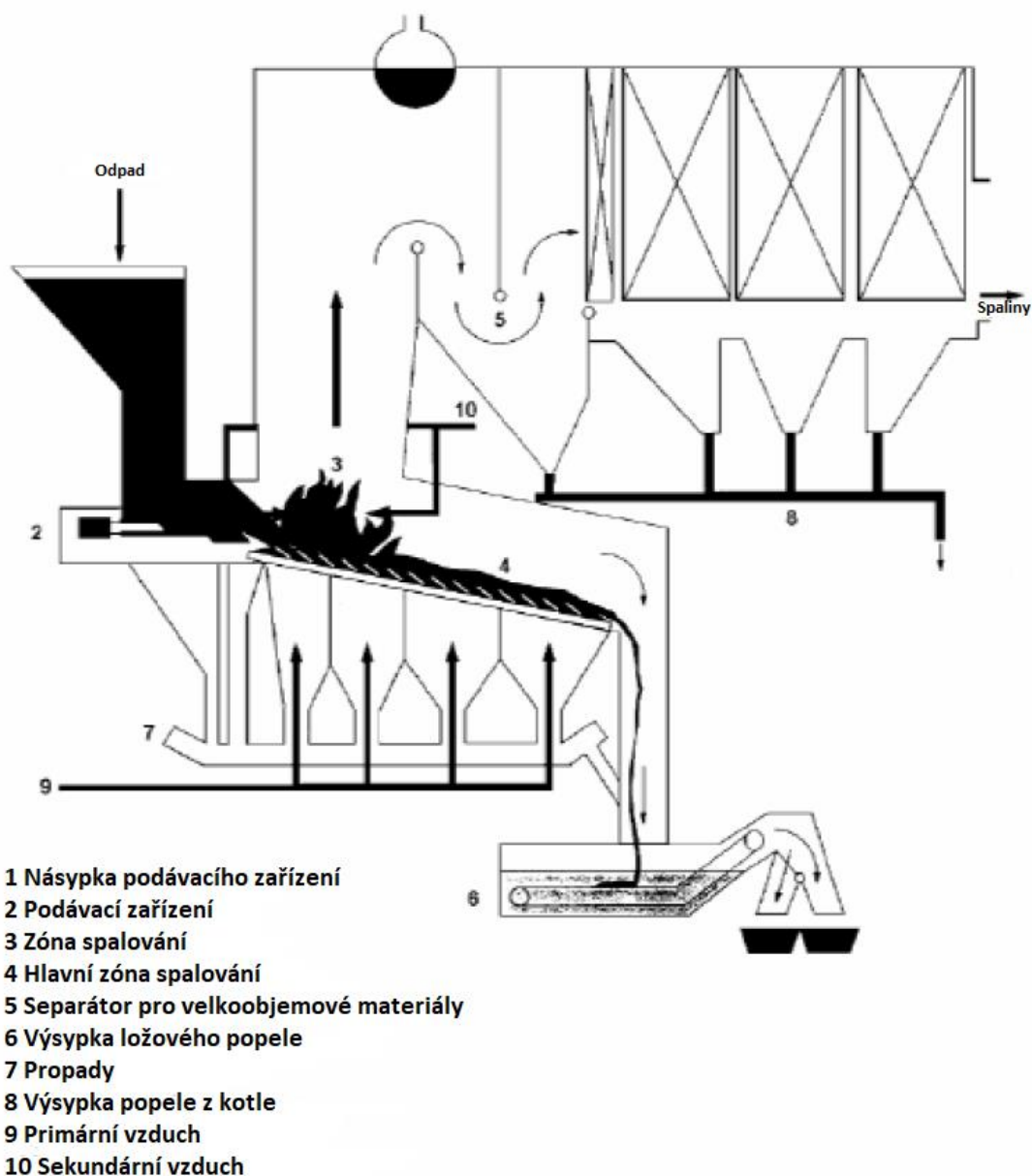


Obrázek 9: Technologické schéma spalovny SAKO Brno. [19]

### 3.2.3 Technická zařízení při spalování

Pro spalování komunálního odpadu se nejvíce využívá spalovacích zařízení s roštem. Roštové spalovny obsahují tyto součásti [15]:

- Podávací zařízení
- Spalovací rošt
- Výsypka ložového popele
- Systém přívodu spalovacího vzduchu
- Spalovací komora
- Pomocné hořáky



Obrázek 10: Roštová spalovna. [15]

### 3.2.3.1 Podávací zařízení

Odpad je dopravován ze skladovacího bunkru do násypky podávacího zařízení mostovým jeřábem a následně na roštový systém pomocí dopravníku. Odpad se na roštu pohybuje převalováním. Díky násypce je zaručen nepřetržitý přísun odpadu. Násypka je zhotovena z otěruvzdorného materiálu a navržena tak, aby objemné materiály propadaly soustavou mostů a zabránilo se zablokování. Stěny násypky jsou vystaveny kromě pnutí i vysokým teplotám. Stěny lze chránit pomocí vodou chlazené konstrukce s dvojitým pláštěm, konstrukce s membránovými stěnami nebo žáruvzdornou vyzdívkou. [15]



### 3.2.3.2 *Spalovací rošty*

Spalovací rošt zajišťuje dobrou distribuci spalovacího vzduchu do pece. Primární vzduch je z dmyhadla vytlačován přes vrstvy malých otvorů v roštu. Rošt by měl splňovat tyto funkce: doprava materiálu ke spálení v peci, prohrabování a kypření materiálu, umístění hlavní zóny spalování do spalovací komory. Jemný materiál propadající roštem je využíván v zařízení pro odstraňování ložového popele.

Rošty lze rozdělit na dvě skupiny podle přísunu materiálu. První skupinou jsou rošty na principu kontinuálního přísunu materiálu (např. válcové, řetězové rošty) a druhou rošty na principu přerušovaného přísunu materiálu (např. posuvné rošty).

V moderních spalovnách se nejčastěji využívají posuvné rošty, které svým pohybem nejen posouvají palivo (odpad), ale zároveň ho promíchávají. [15]

### 3.2.3.3 *Výsypka ložového popele*

Výsypka ložového popele slouží k chlazení a odstraňování zbytků paliva, které se shromáždí na roštu, je také vzduchovým uzávěrem pece. Nejčastěji se používají konstrukce vodou plněných tlakových válců a zarážek. Chladicí voda se na výstupu odděluje od roštového popele a může recirkulovat do výsypky popele. Snahou je mít ve výsypce neustálý tok vody, který zamezuje tvorbě solí a nahrazuje ztráty vypařováním. Šachta k odstranění ložového popele bývá žáruvzdorná. [15]

### 3.2.3.4 *Spalovací komora a kotel*

Samotné spalování odpadu probíhá nad roštem spalovací komory. Při návrhu spalovací komory musíme dbát následujících požadavků:

- Tvar a velikost spalovacího roštu.
- Protřepávání a homogenita toku spalin.
- Dostatečná doba zdržení spalin v horké peci.
- Částečné chlazení spalin.

Rozlišujeme tři základní návrhy pecí:

Pece s jednosměrným, souběžným nebo paralelním tokem spalin a odpadu:

V souběžném uspořádání jsou spalovací vzduch a odpady vedeny spalovací komorou v souběžném proudu. Výstup spalin je umístěn na konec roštu. Mezi odpadními plyny a odpadem se na roštu vymění jen malé množství energie. Výhodou tohoto řešení

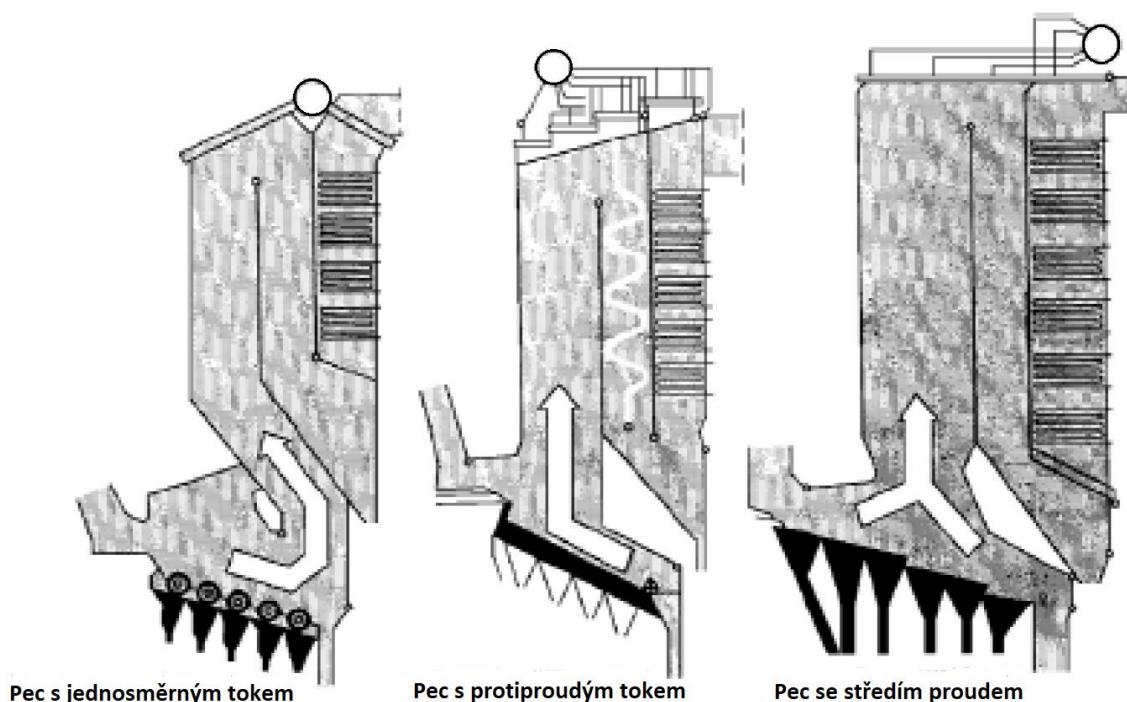
je dlouhé setrvávání spalin v zážehovém prostoru a nutnost menšího predehřátí primárního vzduchu.

#### Protiproudé pece:

Primární spalovací vzduch a odpad je veden spalovací komorou v protiproudém uspořádání a výstup spalin je umístěn na přední straně roštu. Horké spaliny usnadňují sušení a vznícení odpadu. Nevýhodou je však nutnost přidávání většího přebytku vzduchu nebo sekundárního vzduchu k zabránění průchodu proudu nespálených plynů.

#### Střední proud a pece s centrálním odtokem:

Koncepce středního proudu je kompromisem mezi souběžným a protiproudým proudem. Výstup spalin je umístěn ve středu roštu. [15]



Obrázek 11: Návrhy pecí. [15]

#### **3.2.3.5 Přívod spalovacího vzduchu**

Spalovací vzduch poskytuje oxidant při spalování, působí jako chladící médium, brání vzniku strusky v peci a promíchává spaliny. Vzduch je přidáván do různých míst spalovací komory a podle toho je označován za primární nebo sekundární.

Primární vzduch je obvykle veden z bunkru na odpady. Snižuje se tak tlak v bunkru a eliminují se zápachové emise z bunkru. Vzduch je pak ventilátory vyfukován do prostoru pod roštem, kde je dále distribuován pomocí dmychadel a ventilů. Pokud je nutné sušení odpadu, je vzduch predehříván. Sekundární vzduch je pak do spalovací komory veden např. pomocí vstřikování. [15]

### 3.2.4 Proces čištění spalin

Při spalování komunálního odpadu vzniká celá řada škodlivých látek, které nemohou být volně vypouštěny do ovzduší. Povolené koncentrace těchto látek jsou uvedeny ve vyhlášce č. 415/2012 Sb. Uvádím je v následující tabulce.

Tabulka 5: Emisní limity. [20]

Látka	Denní průměr [mg.m <sup>-3</sup> ]
SO <sub>2</sub>	50
NO <sub>x</sub>	200
Tuhé znečišťující látky	10
CO	50

Ke každé spalovně komunálního odpadu patří čistička spalin, která reguluje emise vypuštěné do ovzduší. Mezi hlavní škodlivé látky ve spalinách patří:

- Oxid uhelnatý CO  
Vzniká jako produkt spalování při nedostatečném přísunu kyslíku, kdy dochází k neúplné oxidaci uhlíku na CO<sub>2</sub>.
- Oxid siřičitý SO<sub>2</sub>  
Vzniká spalováním fosilních paliv a odpadu obsahujících síru.
- Oxidy dusíku NO, NO<sub>2</sub>  
Vznikají spalováním paliv obsahujících dusíkaté látky. Dalším zdrojem pro oxidy dusíku je vzdušný dusík.
- Tuhé znečišťující látky  
Jedná se o soubor tuhých kapalných nebo směsných částic o velikosti v rozsahu 1 – 100 nm. Tyto částice mohou obsahovat různé množství škodlivých látek, které se na ně absorbují při průchodu zařízením spalovny.
- Těžké kovy  
Jedná se o kovy jako arsen, azbest, kadmium, chrom, fluoridy, olovo, mangan, rtuť, nikl, platina, vanad atd. Kovy se absorbují na malé částice prachu či atmosférického aerosolu a mohou být transportovány na velké vzdálenosti.
- Perzistentní organické látky  
Jedná se o skupinu toxických organických látek, které mají schopnost zůstat v prostředí dlouhou dobu beze změny. Jsou odolné vůči chemickému, fotochemickému, termickému i biologickému rozkladu.

- Halogenovodíky  
Vznikají při spalování plastů. Jedná se o sloučeniny skbh d vodíků s fluorem, chlorem, bromem nebo jodem. Jsou toxické a rakovinotvorné.  
[9,15,21]

Přikládám tabulku vypouštěných škodlivin spalovny v Malešicích za rok 2018.

*Tabulka 6: Emise spalovny v Malešicích v roce 2018. [18]*

	<b>Koncentrace [mg/m<sup>3</sup>]</b>	<b>% z limitu</b>
SO <sub>2</sub>	0,37	1
NO <sub>x</sub>	152,89	76
Tuhé znečišťující látky	1,08	11
CO	25,43	51

#### **3.2.4.1 Snižování obsahu kyselých plynů**

Čištění spalin můžeme rozdělit podle skupenství chemických reagentů, které se v daném systému užívají, na suché, polosuché a mokré. Při užití mokřých metod se spaliny musí zchladit pod teplotu 100 °C.

U suché metody se používá suchý rozemletý prášek, jehož hlavní složkou je hydroxid vápenatý nebo hydrogenuhličitan sodný, který ve spalinách reaguje s kyselými složkami. V průběhu procesu je jemný prášek rozptýlen ro proudu spalin a po jeho zreagování je zachytáván na látkovém filtru. Výsledný produkt je z filtru sejmut a následně uložen na skládku nebezpečného odpadu. Výhodou postupu je jednoduchost a cena, nevýhodou je pak nízká účinnost a velká produkce nebezpečného odpadu.

Při polosuché metody je hydroxid vápenatý, nebo jiné látky, rozmíchán ve vodě a pak vstříkovan do proudy spalin. Zvýšíme tak účinnost procesu, ale také se zvýší náklady.

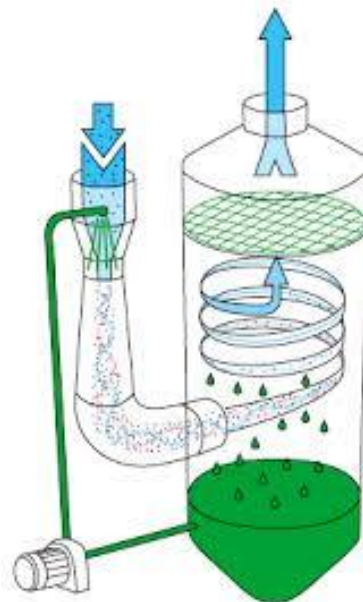
Mokřý postup využívá fyzikálně-chemických procesů. Kapalně činidlo je rozptýleno do proudících spalin. Dojde k prudkému ochlazení spalin, což má za následek kondenzaci par a částice prachu se tak dostávají do styku s velkými částicemi vody. Na těchto částicích prach ulpívá a s nimi je pak i odlučován. Během procesu dochází k absorpci a chemickým reakcím mezi plynnými škodlivinami ve spalinách a vzniklým roztokem. Mokřá metoda je nejúčinnější, ale zároveň nejdražší. [15]

### 3.2.4.2 Odstranění tuhých znečišťujících látek

Mezi suché metody patří elektroodlučováč. Spaliny zde procházejí komorou, jejíž stěny fungují jako elektrody a nabíjejí částice prachu. Ty jsou pak elektricky přitahovány stěnami s opačným nábojem. Zde částice ulpívají a musejí být po nějakém časovém intervalu oklepány. Elektroodlučováč je schopen zachytit jen větší částice.

Aplikovány mohou být i látkové filtry patřící taktéž mezi suché metody. Spaliny jsou přiváděny na filtr, kde jsou zachytávány větší částice. Stejně jako odlučováč se i filtr musí po nějaké době odprášit. Filtračním materiálem bývá papír, bavlna, polyestery atd. Při vyšších teplotách se užívají keramické filtry.

Mezi mokré metody patří Venturiho pračka. Tok spalin je urychlen a veden do komory, kde je vstříkována voda a dochází k silnému promíchání vody a prachových částic. Dále je tok nasměrován do cyklonové nádoby, kde se tok zpomalí. Špinavá voda plná prachových částic stéká do nádrže a čistý plyn pokračuje dále do odlučovače vlhkosti, který ho zbaví zbylých malých kapek vody. Na podobném principu jako Venturiho pračka pracuje i scrubber. [21]



Obrázek 12: Venturiho pračka. [22]

### **3.2.4.3 Denitrifikace**

Oxidů dusíku se můžeme zbavit selektivní nekatalickou redukcí, kdy je do proudu spalin vstřikován amoniak nebo močovina. Zde se NO zredukuje na dusík a další doprovodné látky. Reakce probíhají při teplotách od 900 do 1050 °C.

Druhou metodou je selektivní katalytická redukce. NO je redukován pomocí čpavku a katalyzátorů umístěných ve formě mřížek v proudu spalin. Reakce mohou probíhat i při nižších teplotách a často se tato metoda řadí za nekatalickou selektivní redukcí. Jako katalyzátory se používají oxidy vanadu, molybdenu nebo wolframu. Obě dvě metody se řadí mezi mokré metody. [21,23]

### **3.2.4.4 Odstraňování dioxinů**

Dioxiny je souhrnný název pro skupinu toxických polychronovaných organických heterocyklických sloučenin. Vznikají spalováním plastů a jsou velmi nebezpečné.

První (suchou) metodou odstraňování dioxinů je absorpční metoda. Do proudu spalin se dávkuje aktivní uhlí ve formě jemného prášku. Uhlí absorbuje dioxiny a pak je z proudu spalin vyfiltrováno a odvezeno na skládku nebezpečného odpadu.

Dioxiny se mohou odstraňovat také selektivní katalytickou oxidací, která je spjata se selektivní katalytickou redukcí oxidů dusíku. Proces je stejný, jen je nutné použít jako katalyzátor oxid titaničitý.

Poslední metodou je katalycká filtrace, kde je využito filtračního materiálu s naneseným katalyzátorem. Filtr zachytává tuhé znečišťující látky a zároveň zde probíhá katalytická oxidace dioxinů. [23]

## 4 SWOT analýza

SWOT analýza je jednou ze základních metod strategické analýzy. Jedná se o hodnocení silných a slabých stránek, příležitostí a hrozeb (strengths, weaknesses, opportunities, threats). Analýza se rozděluje na hodnocení vnitřního prostředí, které lze snadněji kontrolovat. Hledají se silné a slabé stránky. Druhým prostředím je vnější prostředí, na jehož změnu máme malý vliv. Hodnotí se příležitosti a hrozby. Ze zpracovaných informací ve SWOT analýze se následně vybírá z různých variant strategií [24]:

- Max – max strategie
  - Strategie, která maximalizuje silné stránky a příležitosti.
- Max – min strategie
  - Strategie, která maximalizuje silné stránky a minimalizuje hrozby.
- Min – max strategie
  - Strategie, která minimalizuje slabé stránky a maximalizuje příležitosti.
- Min – min strategie
  - Strategie, která minimalizuje slabé stránky a hrozby.

### 4.1 SWOT analýza skládkování

Tabulka 7: SWOT analýza skládkování.

Silné stránky	Slabé stránky
Nízké náklady	Možnost skládkování na jednom místě je omezená
Jednoduchá výstavba	Uvolňování skládkového plynu do ovzduší
Příležitosti	Hrozby
Možnost využití skládkovacího plynu	Náзор obyvatelstva
	Regulace skládkování
	Zahoření

#### 4.1.1 Silné stránky

Hlavním důvodem, proč u nás i v jiných zemích světa zůstává skládkování nejčastějším způsobem nakládání s odpady je jednoduchá a rychlá výstavba skládek a jejich nízké investiční a provozní náklady.

#### 4.1.2 Slabé stránky

Množství odpadu, který můžeme na skládku uložit je omezen. Po navržení limitu skládky je nutné přejít k její rekultivaci. Přestože musí být každá skládka vybavena odplyňovacím systémem, ne všechny skládkové plyny je systémem zachycen. Do atmosféry se tedy uvolňují skleníkové plyny (zejména CH<sub>4</sub>).

#### 4.1.3 Příležitosti

Skládkovací plyn může být energeticky využíván. Jeho výhřevnost se pohybuje kolem 11 MJ/kg.

#### 4.1.4 Hrozby

Skládky se potýkají se stejným problémem jako spalovny a to je názor obyvatelstva. Skládka hyzdí krajinu a kontaminuje ovzduší, proto se budují nejčastěji za obcemi. Kvůli tlaku Evropské unie jsou zavedena regulační opatření týkající se skládkování odpadů. Energetické využití odpadu je tak bráno jako ekologická cesta nakládání s odpady a je upřednostňována před skládkováním. Kvůli uvolňování skládkovacího plynu na skládkách může vypuknout požár. Skládky jsou preventivně zavlažovány, aby k požárům nedocházelo.

### 4.2 SWOT analýza spaloven odpadu

Tabulka 8: SWOT analýza spalování.

Silné stránky	Slabé stránky
Snížení objemu a hmotnosti odpadu	Vysoké kapitálové a provozní náklady
Využití tepla	Kvalifikovaní zaměstnanci
Snížení spotřeby fosilních paliv	
Likvidace nebezpečného odpadu	
Příležitosti	Hrozby
Vývoj dokonalejších technologií	Názor obyvatelstva
Regulace skládkování	Zpřísnění limitů pro vypouštění nebezpečných látek do ovzduší
	Havárie



### **4.2.1 Silné stránky**

Hlavním důvodem budování spaloven byla eliminace odpadu a likvidace nebezpečných odpadů. Později se začal odpad energeticky využívat. Spalovny odpadu můžou z části nahrazovat teplárny a elektrárny. Z toho vychází i snížení spotřeby fosilních paliv (uhlí, ropa, zemní plyn).

### **4.2.2 Slabé stránky**

Nevýhodou spalovny jsou její vysoké kapitálové a provozní náklady. K zajištění správného chodu spalovny je třeba kvalifikovaných zaměstnanců, kteří byli přeškoleni na práci s technologiemi spalovny.

### **4.2.3 Příležitosti**

Vyvíjejí se stále dokonalejší technologie převážně v oblasti čištění spalin, které zajistí ekologičtější nakládání s odpady. Díky tlaku Evropské unie jsou zavedena regulační opatření týkající se skládkování odpadů. Energetické využití odpadu tak je bráno jako ekologická cesta nakládání s odpady a je upřednostňována před skládkováním. [25]

### **4.2.4 Hrozby**

Problémem při výstavbě spalovny je vždy lokace. Obyvatelé obcí nechtějí, aby byla spalovna součástí jejich města, jelikož hyzdí své okolí a kontaminuje ovzduší. Kontamice ovzduší je sice minimální, ale názor obyvatelstva se i s vývojem stále dokonalejších technologií čištění spalin nemění. Další problém může přijít se zpřísněním limitů vypouštění škodlivých látek do ovzduší. Spalovna je pak nucena zahájit nákladnou rekonstrukci bloku čištění spalin. Technologie se neustále posouvají kupředu a limity se neustále zpřísnují. Spalovny tedy musí počítat s pravidelnými rekonstrukcemi. Každá spalovna by měla minimalizovat hrozbu havárie, která má největší dopad. Může dojít k úniku škodlivých látek, destrukci částí spalovny atd. [25]

### **4.3 Porovnání**

Hlavními rozdíly mezi technologiemi, které rozhodují o výsledné realizaci jedné z technologií, jsou cena, která je u skládkování nižší, a podpora technologie ze strany Evropské unie, která upřednostňuje spalování. Výhodou skládkování je kromě ceny i potřeba méně kvalifikovaných pracovníků.

Společné pro obě technologie je negativní pohled obyvatelstva na technologii a riziko havárií. V případě skládkování se jedná hlavně o požáry komunálního odpadu, které nejsou výjimečné.

# 5 Environmentální hodnocení technologií

## 5.1 LCA (Life Cycle Assessment)

Jedním ze základních hodnocení technologií je její vliv na životní prostředí. Šetrnost k životnímu prostředí má stále větší váhu. Už v začátcích druhé poloviny 20. století se objevují první metodiky posuzování výrobků vzhledem k vlivu na životní prostředí. Metoda LCA byla definována v 90. letech a od té doby prošla výrazným vývojem. Do češtiny je tato metoda překládána jako posuzování životního cyklu.

LCA hodnotí environmentální dopad výrobků, technologií či služeb na okolní prostředí. Hodnotí se dopad produktů od stádia získávání surovin až po odstranění. Rozsah hodnocení však může být zúžen.

Studie LCA je tvořena jednotlivými procesy, při kterých dochází k přeměně vstupního toku surovin a energie na výstupní tok emisí. Souhrn těchto procesů se nazývá produktový systém. Procesy jsou pak propojeny mezi sebou, s jiným produktovým systémem nebo s okolním prostředím. Metoda tedy posuzuje dopad jednotlivých procesů posuzovaného životního cyklu na okolní prostředí. [26]

### 5.1.1 Fáze metody LCA

Metoda LCA se skládá ze 4 hlavních fází:

- Definice cílů rozsahu
- Inventarizace životního cyklu
- Hodnocení dopadu životního cyklu
- Interpretace životního cyklu

#### 5.1.1.1 Definice cílů rozsahu

První fází metody LCA je stanovení cílů studie. Od toho se odvíjí rozsah, který musí být s cíli jasně definován. Rozsah určuje, co bude do studie zahrnuto a jak dlouhý časový rámec bude v studii obsažen. Rozsah musí být dostatečně široký, aby výsledky byly dostatečně přesné k dosažení cíle studie.

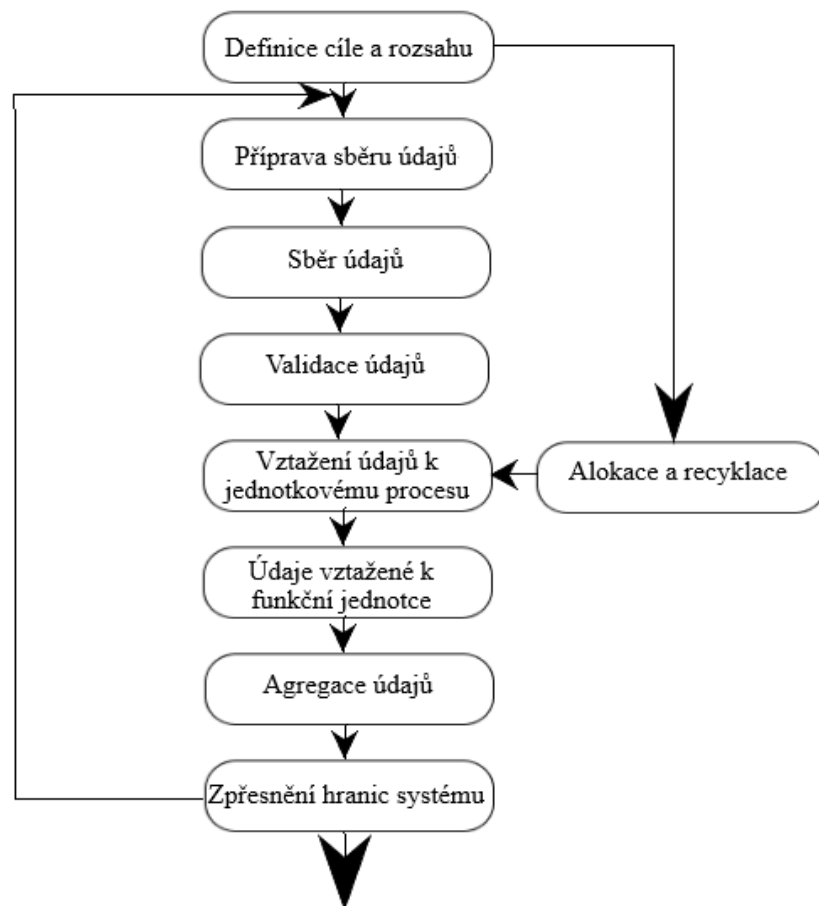
Při definování rozsahu studie je důležité určit:

- Funkce produktu – Musí se přesně stanovit využití daného produktu a kdy této funkce nabývá. Jeden produkt může plnit i více funkcí.

- Funkční jednotka – Funkční jednotka je nutná pro porovnávání jednotlivých produktů. Všechny vstupy a výstupy jsou vztaženy k funkční jednotce a musí být tedy pro tyto vstupy a výstupy stejná (tuna, kilowatt, atd.).
- Referenční tok – Referenční tok představuje množství produktu k naplnění funkční jednotky.
- Hranice systému – Určením hranice systému definujeme, které procesy do studie zahrnujeme a které nikoliv. Hranici určujeme tak, abychom naplnili cíl studie a dosáhli požadované přesnosti. V praxi se běžně vynechávají části životního cyklu, které výrazně nezmění konečné závěry studie. [25,26]

### 5.1.1.2 Inventarizace životního cyklu

Inventarizační analýza má za cíl kvantifikovat všechny elementární toky přes hranici systému v obou směrech. Rozsah analýzy lze měnit v průběhu jejího provádění. Po prvním zpracování analýzy dojde k lepšímu poznání systému a lze následně zjistit další požadavky na doposud nezjištěné údaje. Struktura inventarizační analýzy je znázorněna na *Obr. 14*. [25,26]



Obrázek 13: Struktura inventarizační analýzy. [25]

#### *5.1.1.2.1 Sběr údajů*

Aby měla LCA analýza nějaký význam, je velmi důležitá kvalita vstupních údajů. Základními požadavky na kvalitu údajů jsou: přesnost, rozsah, úplnost, reprezentativnost, konzistence, reprodukovatelnost a zdroj dat. Data jsou často čerpány z databázových modelů LCA. Originální údaje získané sběrem dat mají před daty z databáze přednost, ale jejich sběr bývá drahý a někdy i nereálný. [25,26]

#### *5.1.1.2.2 Validace údajů*

Všechna data je třeba během sběru kontrolovat, zda dosahují požadovaných kvalit. Kontrola je realizována například materiálovou a energetickou bilancí, která by měla vždy platit. [25,26]

#### *5.1.1.2.3 Vztažení údajů k funkční jednotce*

Pro každý proces musí být určen vhodný referenční tok. Výsledkem výpočtu má být přepočítání všech vstupů a výstupů na funkční jednotku.

#### *5.1.1.2.4 Zpřesnění hranic systému*

Hranice systému je třeba po analýze dat zpřesnit. Údaje jsou pak tříděny podle jejich významnosti. Cílem je zmenšit množství zpracovaných dat a zjednodušit tak celou studii. Vycházíme pak jen z těch vstupních a výstupních údajů, které jsou prokazatelně významné pro splnění studie LCA. [25,26]

#### *5.1.1.2.5 Alokace*

Alokace je postup, který umožňuje rozdělit environmentální dopady jednoho procesu mezi více produktů. Tento postup je třeba použít v případě, kdy z jednoho zdroje vystupuje více produktů. Ideální je však se alokaci vyhnout například rozšířením hranic systému. [25,26]

### **5.1.1.3 Hodnocení dopadu životního cyklu**

Díky inventarizaci máme data o daném produktu, ale ty nemají samy o sobě žádnou výpovědní hodnotu. Je nutné tato data převést na konkrétní měřitelné dopady na životní prostředí. K výsledkům inventarizace se přiřadí kvantifikovaná kategorie odpadu, pro kterou se zvolí veličina, v níž bude velikost dopadu vyjádřena. Závažnost

environmentálních dopadů je pak možné porovnávat pomocí těchto kategorií dopadu, mezi které patří například globální oteplování, ekotoxicita atd. [25,26]

Fáze hodnocení dopadu životního cyklu:

- Výběr kategorie dopadu.
- Přiřazení výsledků inventarizační analýzy ke kategoriím dopadu.
- Výpočet výsledků indikátorů kategorie.

#### 5.1.1.3.1 Výběr kategorie odpadu

Při výběru kategorie dopadu je nutné postupovat tak, aby byly do kategorie zahrnuty všechny environmentální problémy, které se vztahují ke zkoumanému systému a zároveň se musí brát v úvahu cíl a rozsah studie. Dále se setkáváme s pojmem charakterizační model, který uvádí do souvislosti výsledky inventarizační analýzy a indikátoru kategorie, což je měřitelná veličina sloužící k vyjádření míry přispění k prohloubení problému životního prostředí. Z charakterizačního modelu odvodíme charakterizační faktory, které vyčíslují, jak silně se daná látka podílí na rozvoji určitého problému. K lepšímu pochopení jednotlivých termínů je určena následující tabulka. [25,26]

Tabulka 9: Termíny hodnocení dopadu životního cyklu. [25]

<b>Termín</b>	<b>Příklad</b>
Kategorie odpadu	Změna klimatu
Výsledky inventarizace	Množství skleníkového plynu na funkční jednotku
Charakterizační model	Eco-indicator 99
Indikátor kategorie	Infračervené záření
Charakterizační faktor	Potenciál globálního oteplování pro každý skleníkový plyn
Výsledek indikátoru kategorie	kg CO <sub>2</sub>
Konečný bod kategorie	Korálové útesy, úroda, lesy
Environmentální závažnost	Infračervené záření je prostředníkem pro potenciální vlivy na klima. Závisí na adsorpci celkového atmosférického tepla způsobeného emisemi a distribuci tepla.

#### 5.1.1.3.2 *Přiřazení výsledků ke kategoriím odpadu*

Při přiřazování výsledku inventarizační analýzy k jednotlivým kategoriím odpadu se musí myslet na to, že některé výsledky patří jen do jedné kategorie, jiné spadají po více kategoriích najednou. [25,26]

#### 5.1.1.3.3 *Výpočet výsledků indikátorů kategorie*

Výsledky se v rámci kategorie přepočítají na společné jednotky. Konečným výsledkem je pak číselný výsledek indikátoru. [25,26]

#### 5.1.1.4 *Interpretace životního cyklu*

Poslední fází analýzy je interpretace výsledků. Důležitá je identifikace nejzávažnějších environmentálních problémů. Při vyhodnocení se provádí kontrola kompletnosti, citlivosti a konzistence. Kontrola kompletnosti zjišťuje, zda nechybí žádný údaj, který by mohl významně ovlivnit výsledky. Kontrola citlivosti sleduje, jak moc výsledky ovlivňuje změna vstupních údajů a kontrolou konzistence se přesvědčíme, zda je dodržena shoda s cílem studie a rozsahem. [25,26]

### 5.1.2 **Výsledky LCA analýz**

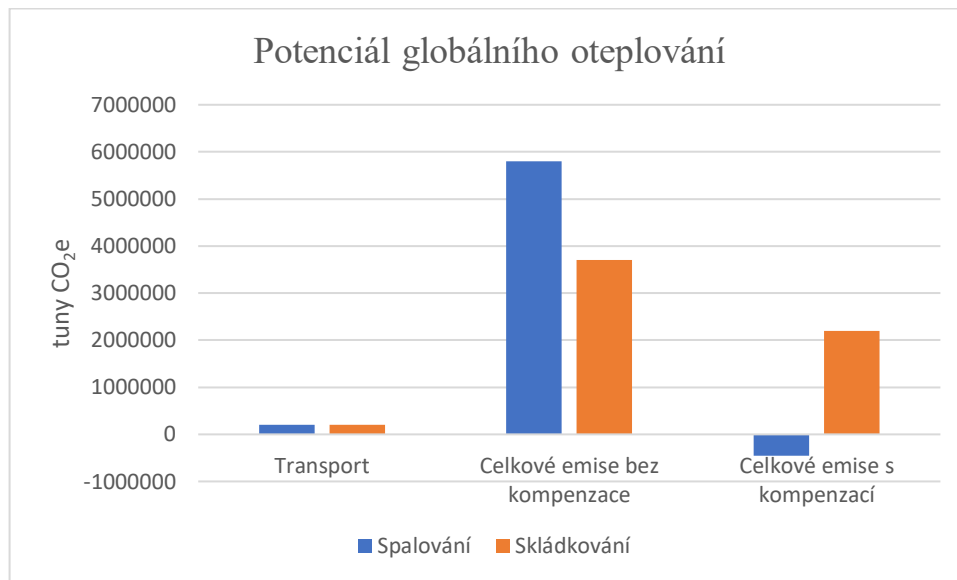
#### *The environmental comparison of landfilling vs. Incineration of MSW accounting for waste diversion; Bernadette Assamoi, Zuri Lawryshyn; 2011*

Studie z Torontské university mezi sebou porovnává dvě řešení nakládání s odpady. V prvním řešení je všechn odpad odvážen na skládky. V druhém je přibližně polovina odpadu likvidována ve spalovnách, zbytek je pak taktéž ukládán na skládky. V obou případech se odpad využívá a vyrábí se elektrická energie. Studie vychází z dat pro město Toronto.

Studie bere v potaz emise uvolněné ze skládek, emise při spalování, emise z transportu odpadu a emise, které se díky výrobě elektřiny na skládkách a spalovnách neuvolní z tepelných elektráren. Studie taktéž počítá se změnou složení odpadu v rozmezí 30 let, která bude zapříčiněna změnami v sociální skladbě obyvatelstva Toronta.

Z LCA analýzy vychází lépe spalování, které sice produkuje více emisí CO<sub>2</sub>, NO<sub>3</sub> i SO<sub>2</sub>, ale díky zdatelně vyšší produkci elektrické energie je jeho negativní vliv na životní prostředí menší. Produkci elektrické energie se zamezí uvolnění emisí z tepelných elektráren. Celková emisní bilance spalovny je tak dokonce záporná, jak je vidět

v následujícím grafu potenciálu globálního oteplování, kde CO<sub>2e</sub> značí ekvivalent CO<sub>2</sub>, který představuje množství CO<sub>2</sub>, které ohřeje Zemi stejně jako daný plyn za 100 let. [27]



Obrázek 11: Potenciál globálního oteplování. [27]

***Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration; Francesco Cherubini, Silva Bargigli, Sergio Ulgiati; 2009***

Tato studie mezi sebou porovnává 4 různé scénáře nakládání s odpady. V prvním je odpad ukládán na skládku a není dále využíván. V druhém je skládkový plyn využíván k výrobě elektřiny. V třetím případě je odpad svážen do třídírny, kde je tříděn organický odpad od anorganického a dále se separuje železo pro opětovné využití. Vytríděný organický materiál je pak využit pro výrobu bioplynu, který se také energeticky využívá. V posledním případě je odpad likvidován ve spalovně a využívá se k výrobě elektřiny. Studie vychází z dat pro město Řím.

Studie pracuje s různými metodami hodnocení. Kromě potenciálu globálního oteplování (CO<sub>2</sub>), potenciálu acidifikace (SO<sub>2</sub>) a eutrofizace (NO<sub>3</sub>) pracuje s metodou *material flow accounting*, kterou se snaží vyhodnotit narušení životního prostředí spojeného s odebráním či odkloněním materiálových toků z přirozených ekosystémových cest. Dále využívá metodu *gross energy requirements*, kterou se vyhodnocuje spotřeba energie.

Z pohledu všech hledisek se jeví varianta spalovny a třídírny lepší nežli varianty skládkování. Přikládám tabulku jednotlivých emisí jednotlivých scénářů nakládání s odpady za jejich životní cyklus. [28]



Tabulka 10: Emise jednotlivých scénářů. [28]

Scénář		kt CO <sub>2</sub>	t SO <sub>2</sub>	t NO <sub>3</sub>
<b>Skládkování</b>	Hrubé emise	1914	546	126
	Bilance	-	-	-
<b>Skládkování s energetickým využitím</b>	Hrubé emise	966	338	126
	Bilance	868	186	126
<b>Třídírna</b>	Hrubé emise	704	852	-
	Bilance	-340	-441	-
<b>Spalovna</b>	Hrubé emise	948	1902	-
	Bilance	224	780	-

***Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau; Quingbin Song, Zhishi Wang, Jinhui Li; 2013***

Studie z čínského města Macau mezi sebou porovnává 6 scénářů nakládání s odpady. V prvním případě je odpad spalován v spalovně a vyrábí se elektřina. Podle druhého scénáře se všechny odpad ukládá na skládku. V třetím případě je odpad tříděn. Organický materiál je kompostován, kovy, sklo, papír a plasty jsou recyklovány a zbytek je odvážen na skládku. Čtvrtým řešením je vytrídění organického materiálu z odpadu, který je nevhodný pro spalování. Ten je kompostován a zbytek odpadu spalován. Pátým scénářem je recyklování odpadu a zbytek je spalován. V posledním případě je z odpadu vytríděn materiál pro recyklování, dále organický materiál pro kompostování a zbytek je spalován.

Pro hodnocení jednotlivých scénářů studie využívá metodu *Eco-indicator 99*, která jednotlivé scénáře hodnotí podle jejich environmentálních přínosů. Všechny scénáře, kromě druhého scénáře (skládkování), byly vyhodnoceny jako přínosné. Jako nejprínosnější byl vyhodnocen případ pátý, tedy recyklování a následné spalování zbytku odpadu. Za ním skončil scénář šestý. Tato dvě řešení mají výrazně vyšší environmentální přínos než řešení první, třetí a čtvrté. [29]

***Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya; A. Suna Erses Yay; 2015***

V této studii se mezi sebou porovnává pět řešení nakládání s odpady. V prvním případě se všechno odpady odváží na skládku, kde není energeticky využíván. Podle druhého řešení je odpad tříděn a recyklován, zbytek se ukládá na skládku. V třetím případě se odpad třídí, recykluje, organické složky se kompostují a zbytek je odvážen na skládku. Čtvrtým řešením je spalování odpadu. Pátou alternativou je recyklování spojeno s kompostem a spalovnou.

Tato studie nebrala v potaz emise, které se díky spalování odpadu neuvolní z uhelných elektráren. Zaměříme-li se pouze na první a čtvrtou alternativu, tedy skládkování a spalování, obě vycházejí z této analýzy jako řešení, které mají negativní vliv na životní prostředí. Podrobnější analýza je v následující tabulce. [30]

*Tabulka 11: Výsledky charakterizace životního cyklu. [30]*

<b>Dopad</b>	<b>Indikátor</b>	<b>A1</b>	<b>A2</b>	<b>A3</b>	<b>A4</b>	<b>A5</b>
Abiotická deplece	kg Sb ekv.	1,99E-6	1,76E-6	4,74E-6	9,93E-6	6,54E-6
Potenciál globálního oteplování	kg CO <sub>2</sub> ekv.	1,84E3	512	-874	346	-1,03E3
Úbytek ozonové vrstvy	kg CFC-11 ekv.	3,83E-6	3,82E-6	3,71E-6	5,4E-7	2,54E-6
Potenciální toxicita pro člověka	kg 1,4-DB ekv.	47,9	42,8	25	20,6	9,79
Sladkovodní ekotoxicita	kg 1,4-DB ekv.	20,8	18,4	20,7	29,8	19,6
Mořská ekotoxicita	kg 1,4-DB ekv.	7,16E4	6,35E4	6,37E4	8,33E4	5,49E4
Pozemní ekotoxicita	kg 1,4-DB ekv.	1,28	1,13	0,568	0,0658	0,0265
Fotochemická oxidace	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ekv.	0,405	0,112	-0,0237	0,0143	-0,0748
Acidifikace	kg SO <sub>2</sub> ekv.	0,169	0,162	-3,31	0,414	-3,27
Eutrofizace	kg PO <sub>4</sub> ekv.	0,0662	0,057	-1,21	0,181	-1,18

***Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain); Y. Fernández-Nava, J. del Río, J. Rodríguez-Iglesias, L. Castrillón, E. Marañón; 2014***

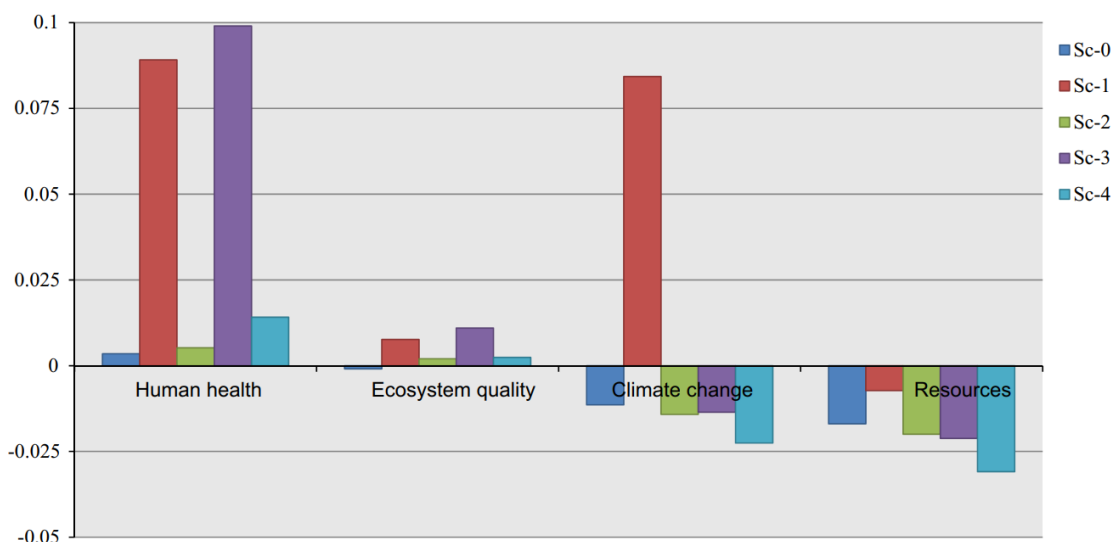
Studie ze španělské provincie Asturias mezi sebou porovnává 6 řešení nakládání s komunálními odpady. Prvním řešením je skládka s energetickým využitím skládkového plynu. Druhým řešením je spalování komunálního odpadu. Třetí možností je spojení spalování s anaerobní digescí. Čtvrtý scénář je podobný třetímu řešení s tím rozdílem, že odpad je před likvidací vytříděn na obnovitelný a neobnovitelný a do spalovny putuje pouze neobnovitelný odpad. U pátého řešení je postup stejný jako u čtvrtého, ale odpad je před spalováním podroben aerobní stabilizaci. Poslední řešení se od pátého liší tím, že po aerobní stabilizaci je odpad odvezen na skládku.

Studie hodnotila jednotlivé scénáře podle jejich dopadu na lidské zdraví, změnu klimatu a čerpání přírodních zdrojů. Ve všech těchto kategoriích bylo skládkování vyhodnoceno jako nejhorší varianta. Spalování má negativní vliv na lidské zdraví a ovlivňuje změnu klimatu, na druhou stranu chrání přírodní zdroje. Jako nejlepší řešení vychází z analýzy řešení čtvrté. [31]

***Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran; M. Ali Rajaeifar, M. Tabatabaei, H. Ghanavati, B. Khoshnevisan, S. Rafiee; 2015***

Tato iránská studie hledá nejlepší řešení nakládání s odpady pro hlavní město Teherán. Porovnává mezi sebou 5 scénářů. V prvním scénáři je odpad vystaven anaerobní digesci a skládkován. Dle druhého scénáře je odpad skládkován a kompostován. Ve třetím scénáři je spalován. Čtvrtým řešením je kombinace spalování a kompostování. Pátou možností nakládání s odpady je kombinace anaerobní digesce a spalování.

Studie hodnotila jednotlivé scénáře podle jejich dopadu na lidské zdraví, změnu klimatu, čerpání přírodních zdrojů a kvalitu ekosystému. Analýza vyhodnotila jako nejlepší řešení scénář pátý, tedy spalování spojené s anaerobní digescí. Nejhuře pak dopadlo skládkování spojené s kompostováním. Dopady jednotlivých scénářů jsou vyzobrazeny v následujícím grafu. [32]



Obrázek 14: Normalizované hodnoty poškození v každém scénáři. [32]

***Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China; W. Zhao, E. van der Voet, Y. Zhang, G. Huppes; 2008***

Studie z čínského města Tianjin mezi sebou porovnává 7 scénářů nakládání s odpady z hlediska emisí skleníkových plynů. Prvním scénářem je reálné řešení nakládání s odpady z roku 2006. Skleníkové plyny jsou z 68 % produkovány skládkováním a z 26 % spalováním. V druhém scénáři je energeticky využíván skládkový plyn. Dle třetího scénáře je odpad energeticky využíván ve spalovnách. Další scénáře se odvíjejí od prvního scénáře, nicméně přidávají určitý prvek navíc. Čtvrtý scénář přidává recyklaci, pátý kompostování a šestý anaerobní digesci. Šestý scénář kombinuje skládkování s využitím skládkovacího plynu, recyklaci a anaerobní digesci.

Nejlepším řešením je dle analýzy řešení šesté. Díky tomuto řešení se mohou snížit emise skleníkových plynů o 45 %. Druhé nejúčinnější řešení je skládkování s využitím skládkového plynu, kterým redukuje emise o 39 %. Spalováním redukuje emise o 32 %. [33]

## 6 Technické zhodnocení technologií

### 6.1 TRL (Technology readiness level)

K technickému zhodnocení technologií slouží metoda TRL. Tato metoda byla vyvinuta v 70. letech a poté zdokonalena v 90. letech agenturou NASA. Užitím TRL stanovujeme jasnou zralost dané technologie, nezávisle na typu technologie. Definováno je 9 úrovní vyspělosti, přičemž úroveň 9 je nejvyspělejší technologie. Jednotlivé definice byly poupraveny pro užití mimo kosmický prostor a nyní je to běžně používaná metoda například Evropskou unií. [34]

#### 6.1.1 Význam úrovní TRL

Význam jednotlivých úrovní je popsán níže:

- TRL 1
  - Základní principy jsou pozorované a reportované.
  - Jde pouze o výzkum technologie. Neexistuje žádná konkrétní technologie.
- TRL 2
  - Formulován technologický koncept.
  - Díky pozorování přicházíme s praktickým využitím technologie. Jedná se stále spíše o spekulaci.
- TRL 3
  - Experimentální důkaz konceptu.
  - Je zahájen aktivní výzkum a vývoj. Snažíme se ověřit hypotézy z TRL 2.
- TRL 4
  - Ověření technologie v laboratoři.
  - Ověření hypotéz v laboratorním prostředí.
- TRL 5
  - Ověření technologií v příslušném prostředí.
  - Ověření technologie ve větším měřítku. Technologie musí obstát simulovaným překážkám.
- TRL 6
  - Prokázání technologie v reálném prostředí.
  - Realizace dané technologie v reálném prostředí a měřítku. Prototyp by měl plnit všechny funkce, které budou vyžadovány v provozním prostředí.

- TRL 7
  - Ukázka prototypu v operačním prostředí.
  - Testování plnohodnotného prototypu v terénu v širokém rozsahu. Konečný návrh je prakticky úplný.
- TRL 8
  - Systém je kompletní a kvalifikovaný.
  - Technologie byla ověřena v konečné podobě za předpokládaných podmínek.
- TRL 9
  - Prověřený systém v provozním prostředí. [34]

### 6.1.2 Zhodnocení skládkování a spalování

Technologie skládkování i spalování dosahují úrovně TRL 8 či TRL 9. Technologie skládkování se za poslední roky zdokonaluje už jen velmi pomalu. Jedná se o kompletní systém prověřený v provozním prostředí. K razantní změně v technologii nedojde. Zvyšuje se pouze účinnost jednotlivých zařízení a snižuje se jejich energetická náročnost.

Technologie spalování prochází neustálým vývojem hlavně díky tlaku okolí na snižování emisí. Často diskutovaným tématem je například využití odpadu ze spaloven a to převážně toxického popílku, který vzniká při čištění spalin. Objevují se nové technologie jako například bioleaching, kdy jsou bakteriemi uvolňovány kovy z popela a ty se mohou opětovně využít. [35]

Další relativně novou technologií je plazmové zplynování odpadu. Výhodou této technologie je vznik syntézního plynu, který lze dále energeticky využívat nebo ho lze použít k produkci biopaliv v dopravě. [36]

Technologie skládkování se jeví jako zralejší technologie s úrovní TRL 9. Spalování pak náleží úroveň TRL 8.

## 7 Ekonomické zhodnocení technologií

### 7.1 Skládky

#### 7.1.1 Investiční náklady

Investiční náklady skládky sestávají z několika složek:

- získání pozemku
- výstavba skládky

Průměrné celkové investiční náklady v EU se pohybují kolem 555 000 dolary za akr, což se v přepočtu rovná přibližně 32,5 mil. korun za hektar. Tato cena bude však výrazně kolísat. Cena se odvíjí od daní dané země, geologických podmínek, které se sebou nesou rozdílné inženýrské nároky, využitelnosti skládkového plynu a dalších faktorů. [37,38]

#### 7.1.2 Provozní náklady a výnosy

Hlavními složkami nákladů skládek komunálního odpadu jsou:

- splácení investic
- mzdové náklady
- rezerva na rekultivaci skládky
- služby a nájemné

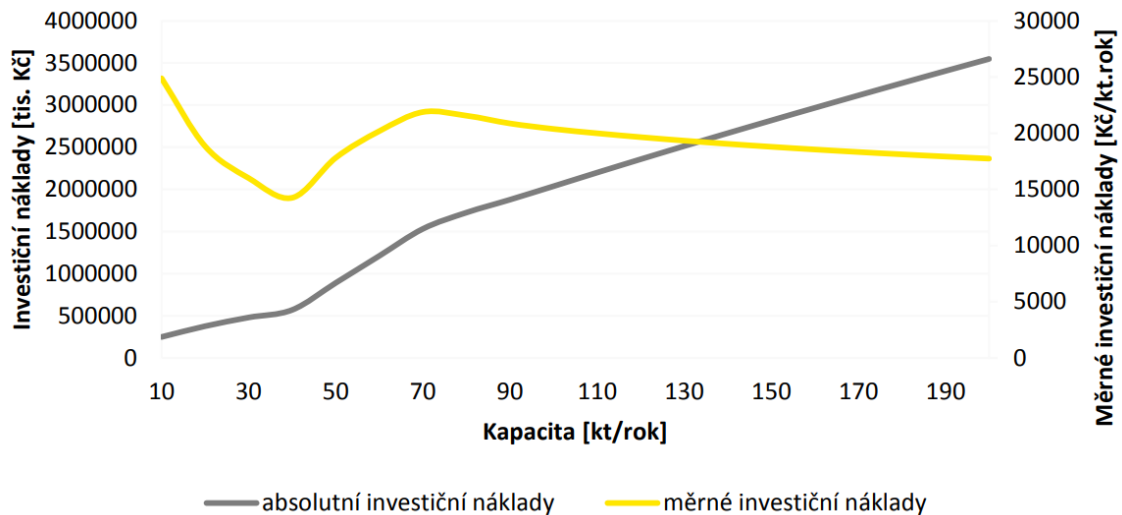
Provozní náklady na jednu tunu odpadu se pak pohybují pod hranicí 1000 Kč/t. Příkladem může být skládka Hraničky. Za rok 2018 bylo na skládku dovezeno 29 007 tun odpadu. Celkové náklady se vyšplhaly na hodnotu 28 579 000 Kč. Náklady na jednu tunu odpadu jsou tedy 985 Kč. Díky tržbám ve výši 28 670 000 Kč skládka hospodařila v roce 2018 se ziskem 91 000 Kč. [39]

Skládka komunálního odpadu ve Stráži nad Nežárkou dosáhla za rok 2018 podobných nákladů. Tato menší skládka přijala 6012 tun odpadu s ročními náklady 5 266 710 Kč. Náklady na jednu tunu odpadu jsou tedy menší a to 869 Kč. [40]

## 7.2 Spalovny

### 7.2.1 Investiční náklady

Odhad investičních nákladů spalovny závisí na její kapacitě. Pro každé zařízení spalovny je odhadnut koeficient změny investičních nákladů v souvislosti se změnou kapacity. Pomocí těchto koeficientů jsou pak vypočítány investiční náklady pro různé kapacitní řešení. Tyto náklady jsou znázorněny v následujícím grafu. [41]



Obrázek 15: Uvažované investiční náklady v závislosti na kapacitě. [41]

V následující tabulce je rozdělení investičních nákladů podle jednotlivých provozních souborů. Toto rozdělení počítá se stavbou „na zelené louce“. Pokud by se jednalo například o přestavbu již existující tepelného zařízení, procentuální zastoupení by vypadalo jinak. V tabulce rozlišujeme malé a velké zařízení pro energetické využití odpadu. Malé zařízení dosahuje maximální kapacity 40 kt/rok, velké pak dosahuje kapacity větší než 80 kt/rok. Do této kategorie spadají všechny spalovny v České Republice. [41]

Příkladem může být spalovna Termizo, a.s. v Liberci, která během své výstavby v letech 1996-1999 stála 1,9 mld. Kč. Přihlédneme-li k inflaci, dnešní pořizovací cena by přesáhla 2 mld. Kč. [42]



Tabulka 12: Rozdělení investičních nákladů podle jednotlivých provozních souborů. [41]

Provozní soubor	% z celkových investic	
	Technologie malé ZEVO	Technologie velké ZEVO
Stavba	32,8	26,3
Turbína a generátor	2,2	5,0
Energocentrum	2,1	1,8
Čištění spalin	7,5	6,4
Příjem, skladování a úprava odpadů	6,7	6,4
Spalovací zařízení a utilizace tepla	12,8	10,7
Pomocné provozy	2,2	2,0
Odvod spalin, spalínovody	5,5	4,9
Elektro, MaR	11,3	10,4
Ostatní	16,9	26,2

### 7.2.2 Provozní náklady a výnosy

Provozní náklady spaloven komunálního odpadu jsou dané několika faktory:

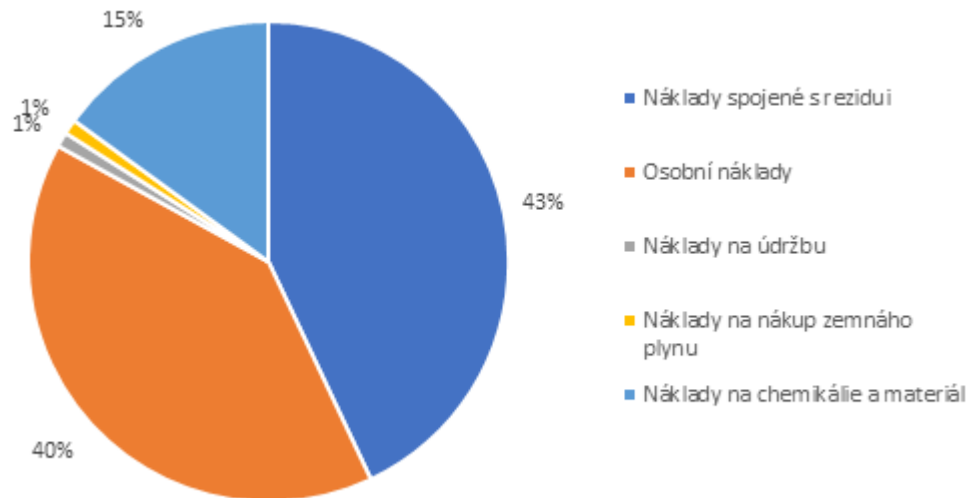
- velikost zařízení
- zvolená technologie zařízení (kotel, systém čištění spalin atd.)
- lokální dispozice (daně)

Hlavními složkami nákladů jsou:

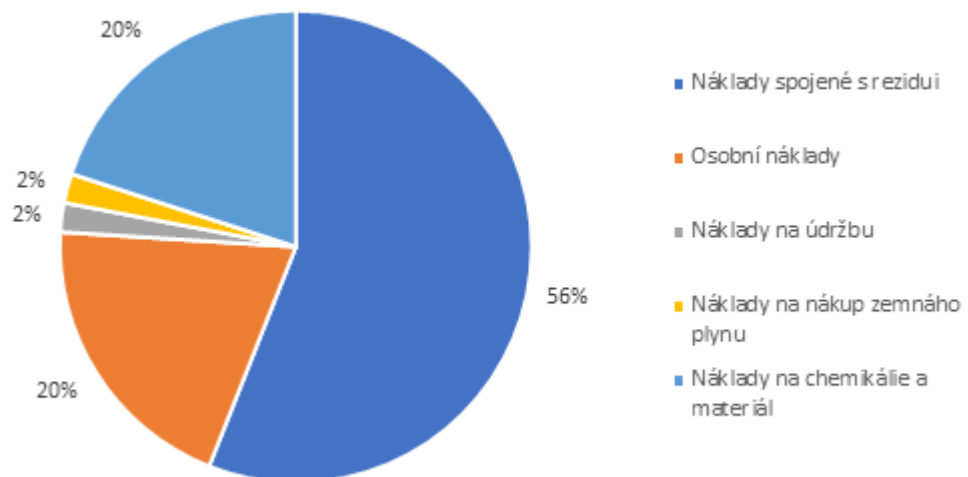
- splácení investic
- náklady na údržbu
- mzdové náklady
- náklady spojené s provozem (chemikálie atd.)
- náklady na odstraňování odpadů ze zařízení (struska, popílek atd.)

Porovnáme-li mezi sebou dvě spalovny odpadu, jednu s kapacitou 90 t/rok, druhou s kapacitou 190 t/rok, jejich náklady na tunu odpadu budou výrazně odlišné. Na základě ekonomického modelu společnosti Bioprofit s.r.o. byly náklady menší spalovny odhadnuty na 2308 Kč/t. Náklady větší spalovny jsou skoro o tisíc korun na tunu menší a to 1380 Kč/t. [42]

Na základě kapacity zařízení se bude měnit i procentuální zastoupení jednotlivých složek v celkových provozních nákladech. Srovnání spalovny s kapacitou 20 kt/rok a 200 kt/rok je v následujících grafech.

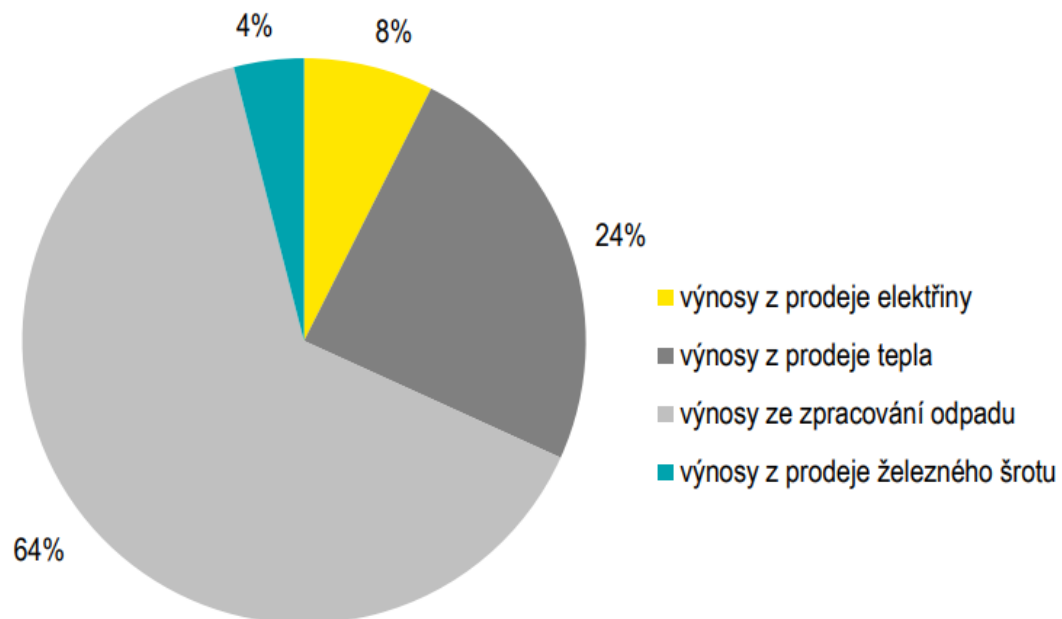


Obrázek 16: Nákladový koláč spalovny s kapacitou 20 kt/rok. [41]



Obrázek 17: Nákladový koláč spalovny s kapacitou 200 kt/rok. [41]

Tržby spalovna získává z prodeje elektrické energie a tepla, prodejem kovu a za zneškodnění odpadu. Procentuální zastoupení jednotlivých výnosů se s kapacitou výrazně nemění. Příkládám pouze graf výnosů spalovny s kapacitou 200 kt/rok.



Obrázek 18: Výnosový koláč spalovny s kapacitou 200 kt/rok. [41]

Náklady a výnosy můžeme porovnat na konkrétním příkladu spalovny odpadů TERMIZO v Liberci. Ta v roce 2018-2019 spálila 80 147 tun odpadu. Celkové náklady činily 204 636 000 Kč, což odpovídá 2555 Kč/t. Celkové výnosy činily 262 744 000 Kč. Po odečtení daně z příjmu nám vychází celkový zisk spalovny za roční období 2018-2019 46 726 000 Kč. [43]

## 8 Závěr

Porovnáme-li skládkování a spalování z environmentálního hlediska, spalování se jeví jako lepší varianta v globálním měřítku. Díky energetickému využití odpadu spalovny nahrazují uhelné elektrárny a tím snižují celkovou emisi plynů do ovzduší. Emisní bilance spaloven je tedy lepší než skládek, jejichž energetické využití odpadu nedosahuje takové účinnosti jako u spaloven.

Budeme-li však hodnotit lokální dopad zařízení, vyjdou z toho lépe skládky. Hodnoty emisí vypuštěných do ovzduší spalovnami jsou vyšší. Mají tedy větší vliv na životní prostředí a zdraví člověka v okolí zařízení. Množství emisí se však pohybuje v hodnotách, které pro člověka nejsou nijak nebezpečné a do budoucna se budou ještě snižovat.

Porovnáme-li spalování a skládkování z ekonomického hlediska, skládkování je stále v České republice tou levnější variantou. Tato skutečnost by se však měla do budoucna měnit. Poplatek za skládkování se každoročně zvyšuje. V roce 2015 dosahoval poplatek za tunu odpadu hodnoty 500 korun. Za 5 let se téměř ztrojnásobil na 1350 korun. Spalování by se mělo stát ekonomicky výhodnější variantou, pokud se bude poplatek pohybovat kolem 1500 až 1800 korun. To by se mělo stát už příští rok, kdy poplatek vzroste na 1550 korun. Poplatek by se měl dále zvyšovat až na částku 1850 korun. Skládkování využitelných odpadů by pak mělo být kompletně zakázáno od roku 2030.

Česká republika se připravuje na přechod ze skládkování na spalování výstavbou nových spaloven například v Komořanech na Mostecku či v Karviné. Realizace nových spaloven je však velmi pomalá, jelikož stále naráží na odpor ekologických a občanských hnutí.

Zmírnit negativní vztah obyvatel ke spalovnám by mohl netradiční vzhled spalovny. Příklad si můžeme vzít z kodaňské spalovny, na které je vybudovaná lyžařská sjezdovka nebo ze spalovny ve Vídni, kterou ve svém typickém stylu navrhnul světoznámý rakouský architekt Friedensreich Hundertwasser.



*Obrázek 19: Spalovna v Kodani. [44]*



*Obrázek 20: Spalovna ve Vidni. [45]*

## 9 Reference

- [1] Dobrá zpráva do nového roku: Poplatek za komunální odpad se nezmění ani v roce 2015 - OLOMOUC.CZ. OLOMOUC.CZ - nejlepší adresa ve městě [online]. Copyright © Depositphotos.com [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <https://www.olomouc.cz/zpravy/clanek/Dobra-zprava-do-noveho-roku-Poplatek-za-komunalni-odpad-se-nezmeni-ani-v-roce-2015-23813>
- [2] 185/2001 Sb. Zákon o odpadech. Zákony pro lidi - Sbíрка zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © AION CS, s.r.o. 2010 [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185>
- [3] Zákony pro lidi - Sbíрка zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online] [cit. 02.11.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93#p3>
- [4] BORKOVCOVÁ, Marie a Markéta ŽÁKOVÁ. Biologie pro odpadové hospodářství [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015 [cit. 2019-11-05]. ISBN 978-80-7509-240-3.
- [5] Český statistický úřad | ČSÚ [online]. Copyright ©x [cit. 02.11.2019]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/documents/10180/91605329/28002019.pdf/9ee05f2d-39d8-4215-b4ee-849b7761433f?version=1.2>
- [6] Ministerstvo životního prostředí [online]. Copyright © [cit. 05.11.2019]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh\\_cr\\_prislusne\\_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH\\_CR\\_2015\\_2024\\_schvalena\\_verze\\_20150113.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)
- [7] Infoservis | EKO-KOM. Systém sběru a recyklace obalových odpadů | EKO-KOM [online]. Copyright © 2011 [cit. 05.11.2019]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/news/715/212/Skladba-smesneho-komunalniho-odpadu-z-domacnosti-cR>
- [8] Produkce odpadů v ČR [online]. Copyright © [cit. 09.11.2019]. Dostupné z: [https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www\\_csas\\_cz/Dokumenty-korporat/Dokumenty/Analytici/produkce\\_odpadu\\_v%20%C4%8CR\\_2019.pdf](https://www.csas.cz/content/dam/cz/csas/www_csas_cz/Dokumenty-korporat/Dokumenty/Analytici/produkce_odpadu_v%20%C4%8CR_2019.pdf)
- [9] JUNGA, Petr, Tomáš VÍTĚZ a Petr TRÁVNÍČEK. Technika pro zpracování odpadů [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015 [cit. 2019-11-02]. ISBN 978-80-7509-207-6.
- [10] PÁNKOVÁ, Barbora. INFOGRAFIKA: Jak dlouho se rozkládá odpad? PET lahvi to trvá skoro půl tisíciletí. E15 [online]. 2018, 29.5.2018, 2018, 1 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://www.e15.cz/magazin/infografika-jak-dlouho-se-rozklada-odpad-pet-lahvi-to-trva-skoro-pul-tisicileti-1347264>

- [11] ŠTEFÁNEK, Stanislav. Využití odpadního tepla ze spalovny nebezpečného odpadu [online]. Brno, 2009 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/www\\_base/zav\\_prace\\_soubor\\_verejne.php?file\\_id=14496](https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=14496). Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [12] NETRESTOVÁ, Veronika. *Porovnání procesu skládkování v České republice a Evropské unii* [online]. Brno, 2008 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10003;studium=23852;zp=14874;download\\_prace=1;lang=sk](https://is.mendelu.cz/lide/clovek.pl?zalozka=13;id=10003;studium=23852;zp=14874;download_prace=1;lang=sk). Bakalářská práce. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.
- [13] Kompaktory. In: Czech M.A.T. [online]. [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <http://www.czechmat.cz/kompaktory>
- [14] K143 | Katedra hydromeliorací a krajinného inženýrství [online]. Copyright © [cit. 21.11.2019]. Dostupné z: <http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/ODKO/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/04-Skladka.pdf>
- [15] Ministerstvo průmyslu a obchodu [online]. Copyright © [cit. 09.11.2019]. Dostupné z: [https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/20080407\\_BREF\\_WI\\_CZ\\_final.pdf](https://www.mpo.cz/assets/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/ipcc-integrovana-prevence-a-omezovani-znecisteni/referencni-dokumenty-bref/2017/1/20080407_BREF_WI_CZ_final.pdf)
- [16] Spalovny odpadu – odpad jako palivo - TZB-info. Energetika - TZB-info [online]. Copyright © Fotolia.com [cit. 02.05.2020]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/nakladani-s-odpady/11897-spalovny-odpadu-odpad-jako-palivo>
- [17] VENHODA, Tomáš. Simulace technologií pro termické zpracování odpadu [online]. Brno, 2013 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=63205](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=63205). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [18] Výroční zpráva 2018. Pražské služby [online]. Praha: Pražské služby, 2019 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/upload/files/akcionari/2019/vyrocnizprava-2018-final.pdf>
- [19] Energetické využití odpadu | SAKO - svoz a zpracování odpadu Brno. SAKO - svoz a zpracování odpadu Brno [online]. Copyright © 2018 SAKO Brno a.s. [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/pro-brnaky/cz/801/energeticke-vyuziti-odpadu/>
- [20] Vyhláška č. 415/2012 Sb. o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší [online] [cit. 06.05.2020]. Dostupné z: <http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/vyhlaska-c-415-2012-sb-o-pripustne-urovni-znecistovani-a-jejim-zjistovani-a-o-provedeni-nekterych-dalsich-ustanoveni-zakona-o-ochrane-ovzdusi>

- [21] KUBÍČEK, Jan. Moderní metody mokrého čištění spalin [online]. Brno, 2010 [cit. 2019-11-15]. Dostupné z: [https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp\\_id=29466](https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace?zp_id=29466). Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [22] Čištění plynů [online]. Univerzita J.E.Purkyně [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [http://fzp.ujep.cz/ktv/uc\\_texty/pt3/13%20CisteniPlynu.pdf](http://fzp.ujep.cz/ktv/uc_texty/pt3/13%20CisteniPlynu.pdf)
- [23] Západočeská univerzita v Plzni [online]. Copyright © [cit. 15.11.2020]. Dostupné z: [https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/21\\_-Krajina-a-ZP\\_54-55/54\\_IUT/136\\_Cisteni-spalin-2---Spilacek---P1.pdf](https://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/21_-Krajina-a-ZP_54-55/54_IUT/136_Cisteni-spalin-2---Spilacek---P1.pdf)
- [24] HOLÍNEK, Tomáš. Porovnání regulatorního prostředí energetického využití odpadu v ČR a v jiných zemích EU [online]. Praha, 2015 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62116/F3-DP-2015-Holinek-Tomas-DP\\_Energeticke%20vyuziti%20odpadu\\_Holinek\\_final\\_KOS.pdf?sequence=2&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/62116/F3-DP-2015-Holinek-Tomas-DP_Energeticke%20vyuziti%20odpadu_Holinek_final_KOS.pdf?sequence=2&isAllowed=y). Diplomová práce. České vysoké učení technické v Praze.
- [25] VLACH, Josef. Posuzování životního cyklu komunitního odpadu [online]. Brno, 2008 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://dspace.vutbr.cz/handle/11012/13785>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně.
- [26] KOSOVÁ, Kristýna. Posuzování životního cyklu skládkování odpadu [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/92634>. Diplomová práce. Univerzita Karlova v Praze.
- [27] ASSAMOI, Bernadette a Yuri LAWRYSHYN. The environmental comparison of landfilling vs. incineration of MSW accounting for waste diversion. Waste Management [online]. 2012, 32(5), 1019-1030 [cit. 2020-04-19]. DOI: 10.1016/j.wasman.2011.10.023. ISSN 0956053X. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0956053X1100482X>
- [28] CHERUBINI, Francesco, Silvia BARGIGLI a Sergio ULGIATI. Life cycle assessment (LCA) of waste management strategies: Landfilling, sorting plant and incineration. Energy [online]. 2009, 34(12), 2116-2123 [cit. 2020-04-19]. DOI: 10.1016/j.energy.2008.08.023. ISSN 03605442. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0360544208002120>
- [29] SONG, Qingbin, Zhishi WANG a Jinhui LI. Environmental performance of municipal solid waste strategies based on LCA method: a case study of Macau. Journal of Cleaner Production [online]. 2013, 57, 92-100 [cit. 2020-04-19]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2013.04.042. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652613002904>



- [30] ERSES YAY, A. Suna. Application of life cycle assessment (LCA) for municipal solid waste management: a case study of Sakarya. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2015, 94, 284-293 [cit. 2020-04-19]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2015.01.089. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S095965261500102X>
- [31] FERNÁNDEZ-NAVA, Y., J. DEL RÍO, J. RODRÍGUEZ-IGLESIAS, L. CASTRILLÓN a E. MARAÑÓN. Life cycle assessment of different municipal solid waste management options: a case study of Asturias (Spain). *Journal of Cleaner Production* [online]. 2014, 81, 178-189 [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.06.008. ISSN 09596526. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0959652614005940>
- [32] RAJAEIFAR, Mohammad Ali, Meisam TABATABAEI, Hossein GHANAVATI, Benyamin KHOSHNEVISAN a Shahin RAFIEE. Comparative life cycle assessment of different municipal solid waste management scenarios in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2015, 51, 886-898 [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.1016/j.rser.2015.06.037. ISSN 13640321. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1364032115006097>
- [33] ZHAO, Wei, Ester van DER VOET, Yufeng ZHANG a Gjalte HUPPES. Life cycle assessment of municipal solid waste management with regard to greenhouse gas emissions: Case study of Tianjin, China. *Science of The Total Environment* [online]. 2009, 407(5), 1517-1526 [cit. 2020-05-08]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2008.11.007. ISSN 00489697. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969708011364>
- [34] Technology readiness level [online]. Copyright ©7 [cit. 07.05.2020]. Dostupné z: <https://cptt.tul.cz/files/prezentace/seminar4.pdf>
- [35] Drahocenný popel ze spaloven - bakterie z něj vyrobí měď i hliník - Euro.cz. Euro.cz / Ekonomika, byznys, finance [online]. Copyright © 2020 Mladá fronta a. s. [cit. 06.05.2020]. Dostupné z: <https://www.euro.cz/byznys/drahocenny-popel-ze-spaloven-bakterie-z-nej-vyrobi-med-i-hlinik-1353903>
- [36] Unikátní technologie pro boj s odpadem: česká firma zvládla plazmové zplyňování. *Obnovitelně* [online]. Copyright © 2017 Obnovitelně.cz [cit. 06.05.2020]. Dostupné z: <https://www.obnovitelne.cz/cz/clanek/652/unikatni-technologie-pro-boj-s-odpadem-ceska-firma-zvladla-plazmove-zplynovani/>
- [37] Costs for Municipal Waste Management in the EU [online]. Copyright © 2002 [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <https://ec.europa.eu/environment/waste/studies/pdf/eucostwaste.pdf>

- [38] U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OFFICE OF AIR AND RADIATION. Municipal Solid Waste Landfills: Economic Impact Analysis for the Proposed New Subpart to the New Source Performance Standards [online]. 2014, , 62 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://www3.epa.gov/ttn/ecas/regdata/EIAs/LandfillsNSPSPProposalEIA.pdf>
- [39] Skládka Hraničky, spol. s r.o. : mutenice.cz. mutenice.cz [online]. Copyright © 2020 Obec Mutěnice. [cit. 06.07.2020]. Dostupné z: <http://mutenice.cz/verejne-institute/skladka-hranicky/>
- [40] Skládka Stráž nad Nežárkou [online]. Copyright © 2019 [cit. 25.04.2020]. Dostupné z: <https://www.smrzov.eu/files/2019/skladka2020.pdf>
- [41] Analýza potenciálu energetického využití odpadů v ČR včetně ekonomického a regionálního vyhodnocení [online]. EY, 2015 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OODP-4\\_3\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_3_MZP_FIN-20160810.pdf)
- [42] Příprava výzvy k předkládání žádostí na projekty zařízení mechanickobiologické úpravy odpadů a příslušné infrastruktury a výzvy na úpravu kotlů za účelem splnění pro spalování odpadů [online]. Bioprofit, 2009 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1456/jaro2010/MPV\\_TMHV/12003184/Bioprofit.pdf](https://is.muni.cz/el/1456/jaro2010/MPV_TMHV/12003184/Bioprofit.pdf)
- [43] Výroční zpráva 2018-2019 [online]. Termizo, 2019 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2020/04/V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD-zpr%C3%A1va-2019.pdf>
- [44] Návštěva stavby Amager Bakke. Velvyslanectví České republiky v Kodani [online]. Kodaň: Velvyslanectví České republiky v Kodani, 2017 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: [https://www.mzv.cz/copenhagen/cz/novinky/navsteva\\_stavby\\_amager\\_bakke.html](https://www.mzv.cz/copenhagen/cz/novinky/navsteva_stavby_amager_bakke.html)
- [45] TŮMA, Jan. Vídeňská spalovna nepohoršuje, naopak přitahuje turisty. Třípól [online]. Třípól, 2017 [cit. 2020-07-06]. Dostupné z: <https://www.3pol.cz/cz/rubriky/fyzika-a-klasicka-energetika/1995-videnska-spalovna-nepohorsuje-naopak-pritahuje-turisty>

## 10 Seznam obrázků

Obrázek 1: Komunální odpad. [1] .....	1
Obrázek 3: Graf vývoje produkce komunálních odpadů. [5] .....	4
Obrázek 4: Skladba směsného komunálního odpadu. [7].....	4
Obrázek 5: Nakládání s odpady v ČR. [5] .....	5
Obrázek 6: Nakládání s odpady v EU. [8] .....	6
Obrázek 7: Technologické schéma skládkování. [11] .....	9
Obrázek 8: Odvodňovací systém. [9] .....	11
Obrázek 9: Kompaktor. [13] .....	13
Obrázek 10: Technologické schéma spalovny SAKO Brno. [19] .....	16
Obrázek 11: Roštová spalovna. [15].....	17
Obrázek 12: Návrhy pecí. [15] .....	19
Obrázek 13: Venturiho pračka. [22] .....	22
Obrázek 14: Struktura inventarizační analýzy. [25] .....	29
Obrázek 15: Normalizované hodnoty poškození v každém scénáři. [32] .....	37
Obrázek 16: Uvažované investiční náklady v závislosti na kapacitě. [41].....	41
Obrázek 17: Nákladový koláč spalovny s kapacitou 20 kt/rok. [41].....	43
Obrázek 18: Nákladový koláč spalovny s kapacitou 200 kt/rok. [41].....	43
Obrázek 19: Výnosový koláč spalovny s kapacitou 200 kt/rok. [41].....	44
Obrázek 20: Spalovna v Kodani. [44] .....	46
Obrázek 21: Spalovna ve Vídni. [45] .....	46

## 11 Seznam tabulek

Tabulka 1: Katalog odpadů. [3] .....	2
Tabulka 2: Produkce komunálních odpadů. [5] .....	3
Tabulka 3: Doba rozkladu složek odpadu. [10] .....	9
Tabulka 4: Výhřevnost složek komunálního odpadu. [16] .....	15
Tabulka 5: Emisní limity. [20] .....	20
Tabulka 6: Emise spalovny v Malešicích v roce 2018. [18] .....	21
Tabulka 7: SWOT analýza skládkování. ....	24
Tabulka 8: SWOT analýza spalování. ....	25
Tabulka 9: Termíny hodnocení dopadu životního cyklu. [25] .....	31
Tabulka 10: Emise jednotlivých scénářů. [28] .....	34
Tabulka 11: Výsledky charakterizace životního cyklu. [30] .....	35
Tabulka 12: Rozdělení investičních nákladů podle jednotlivých provozních souborů. [41] .....	42