



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

## METODY ENERGETICKÉHO ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU

METHODS OF ENERGY TREATMENT OF MUNICIPAL WASTE

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

#### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Štork

#### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jakub

Linda

BRNO 2023

# Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Martin Štork**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Jakub Linda**  
Akademický rok: 2022/23

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:

## Metody energetického zpracování komunálního odpadu

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Přijetím evropské zelené dohody v roce 2019 a akčního plánu EU pro oběhové hospodářství v roce 2020 se Evropská unie zavázala dosáhnout klimatické neutrality do roku 2050. Jedním z klíčových aspektů pro dosažení tohoto cíle je správné nakládání s vyprodukovaným odpadem. S tím souvisí i nakládání s komunálním odpadem. Jednou z možností je energetické zpracování. Bakalářská práce je zaměřena na to podat přehled moderních metod energetického zpracování odpadů spolu s jejich charakteristikou. Identifikované charakteristiky procesu budou použity v modelovém příkladu zpracování odpadu pocházejícího z velkého města.

### Cíle bakalářské práce:

1. Přehled dostupných moderních metod energetického zpracování komunálního odpadu.
2. Vliv metod na klima a globální oteplování.
3. Vzhledem k určeným metodám zpracování odpadu a reálným hodnotám množství odpadu produkovaného ve velkém městě určete soubor nejvhodnějších technik zpracování odpadu, aby se maximalizoval energetický výnos.

### Seznam doporučené literatury:

Biela kniha energetického zhodnocovania odpadov v Slovenskej republike. Údaje, čísla, fakty. Ewia a.s., UVP, EKOCONSULT- enviro, a.s. Bratislava 2020, ISBN 978-80-570-2270-1

KUMAR, Atul; SAMADDER, Sukha Ranjan. A review on technological options of waste to energy for effective management of municipal solid waste. Waste Management, 2017, 69: 407-422

GREENHOUSE GAS EMISSIONS FROM MANAGEMENT OF SELECTED MATERIALS IN MUNICIPAL SOLID WASTE. U.S. Environmental Protection Agency. September 1998.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Bakalářská práce se zabývá tématem, jak nakládat s odpady, abychom z nich získali co nejvíce energie. Proto řešíme omezení skládkování. V teoretické části práce nalezneme druhy odpadů a jejich charakteristiku, a také způsoby, jakými lze s odpadem nakládat. V praktické části práce se snažím ukázat, jak by se dalo pracovat s odpadem v budoucnu, v ideálním případě pro velký výnos energie a s minimálním znečištěním ovzduší při zpracování odpadů. To má za následek úplné omezení skládkování.

## **Klíčová slova**

Odpad, Skládkování, ZEVO, Recyklace, Bioplynová stanice

## **Abstract**

The bachelor's thesis deals with the topic of how to deal with waste in order to obtain as much energy as possible from it. That's why we are dealing with restrictions on landfilling. In the theoretical part of the thesis, we will find the types of waste and their characteristics, as well as the ways in which waste can be worked. In the practical part of the thesis, I try to show how waste could be worked in the future, ideally for a large yield of energy and with minimal air pollution during waste processing. This results in a complete restriction of landfilling.

## **Keywords**

Waste, Landfilling, Waste to Energy, Recycling, Biogas plant design

## **Bibliografická citace**

ŠTORK, Martin. Metody energetického zpracování komunálního odpadu [online]. Brno, 2023 [cit. 2023-01-09]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/145864>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Jakub Linda.

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že tato práce je moje originální práce, pod vedením Jakuba Lindy a s použitím informačních zdrojů uvedených v seznamu.

-----  
Datum

-----  
Podpis

## **Poděkování**

Především bych chtěl poděkovat panu Ing. Jakubu Lindovi, jako vedoucímu této práce, a také své rodině za podporu

## Obsah

<b>ÚVOD</b> .....	<b>10</b>
<b>TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>11</b>
<b>1 ODPAD</b> .....	<b>11</b>
<b>2 ODPADOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ</b> .....	<b>11</b>
<b>3 KLASIFIKACE ODPADŮ</b> .....	<b>12</b>
<b>4 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ PODLE SKUPENSTVÍ</b> .....	<b>12</b>
4.1 TUHÉ ODPADY .....	12
4.2 TUHÝ DOMOVNÍ ODPAD .....	13
4.3 PRŮMYSLOVÝ ODPAD .....	14
4.4 TUHÉ ODPADY ZE ZEMĚDĚLSTVÍ A LESNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ .....	14
4.5 KAPALNÉ ODPADY .....	14
4.6 ODPADY PLYNNÉ A ODPADNÍ TEPLA .....	14
4.7 OFICIÁLNÍ KLASIFIKACE .....	14
<b>5 NEBEZPEČNÝ ODPAD</b> .....	<b>16</b>
5.1 VLASTNOSTI .....	16
5.2 RECYKLACE .....	19
5.3 KLASIFIKACE NEBEZPEČNÉHO ODPADU .....	19
<b>6 OSTATNÍ ODPAD</b> .....	<b>19</b>
6.1 KOMUNÁLNÍ ODPAD .....	19
6.1.1 Tuhý komunální odpad .....	20
6.1.2 Směsný komunální odpad .....	20
6.1.3 Zbytkový komunální odpad .....	20
6.1.4 Biologicky rozložitelný komunální odpad .....	20
6.1.5 Domovní komunální odpad .....	20
6.1.6 Živnostenský komunální odpad .....	20



6.1.7	Velkoobjemový komunální odpad .....	20
<b>7</b>	<b>ZPŮSOBY NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍM ODPADEM .....</b>	<b>21</b>
<b>8</b>	<b>ENERGETICKÉ VYUŽITÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU .....</b>	<b>21</b>
8.1	ENERGETICKY VYUŽITELNÉ ODPADY .....	21
8.2	ZEVO .....	22
8.3	ZPLYŇOVÁNÍ .....	25
8.4	BIOPLYNOVÉ STANICE .....	25
8.5	DEPOLYMERIZACE .....	26
<b>9</b>	<b>VLIV METOD NA KLIMA A GLOBÁLNÍ OTEPLOVÁNÍ .....</b>	<b>26</b>
9.1	SKLÁDKOVÁNÍ .....	27
9.2	ZEVO .....	27
	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>28</b>
<b>10</b>	<b>SOUBOR NEJVHODNĚJŠÍ TECHNIK ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ Z VELKÉHO MĚSTA S MAXIMALIZACÍ ENERGETICKÉHO VÝNOSU .....</b>	<b>28</b>
<b>11</b>	<b>POROVNÁNÍ METOD NA ZPRACOVÁNÍ KOMUNÁLNÍHO ODPADU .....</b>	<b>29</b>
<b>12</b>	<b>REÁLNÉ HODNOTY MNOŽSTVÍ ODPADU PRODUKOVANÉHO VE VELKÉM MĚSTĚ .....</b>	<b>30</b>
12.1	SCÉNÁŘ 1 .....	30
12.1.1	Zpracování BRKO pomocí BPS .....	31
12.1.2	Zpracování odpadu pomocí ZEVO .....	33
12.1.3	Výnos energie z odpadu .....	35
12.1.4	Uhlíková stopa .....	36
12.2	SCÉNÁŘ 2 .....	36
12.3	POROVNÁNÍ HODNOT .....	39
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>41</b>
	<b>SEZNAM ZDROJŮ .....</b>	<b>42</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK .....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH OBRÁZKŮ .....</b>	<b>44</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH TABULEK .....</b>	<b>44</b>

## Úvod

Toto téma je v současné době často probíráno, jelikož odpady představují velký problém dnešní doby. Převážně mezi odpady zařazujeme věci, které jsou vyrobeny z ropy. Bohužel, rozložitelnost těchto věcí je nesnadná, a to je důvod, proč představují velké zatížení pro životní prostředí. Při jejich likvidaci se do ovzduší uvolňují škodlivé látky, což je také velký problém. Proto je důležité vědět, jakými způsoby s takovými odpady nakládat. Těmito způsoby je myšleno, aby byly co nejšetrnější pro životní prostředí a umožňují získání nějakého využití, ať už materiálové či energetické.

V teoretické části je cílem přiblížit pojem odpad. Dále provést základní rozdělení odpadů a charakterizovat jednotlivé druhy odpadů. Následně přiblížit jednotlivé moderní metody a jejich charakteristiku.

V praktické části bude vše názorně předvedeno v praxi. Konkrétně se bude jednat o výběr metody či několika metod zpracování odpadů, kdy vše bude vycházet z reálných dat velkého města, s cílem maximalizovat energetický zisk a současně minimalizovat znečištění ovzduší.

## Teoretická část

### 1 Odpad

U většiny výrob a spotřebních postupů vznikají vedlejší produkty. Jestliže výrobce nebo společnost neumí tyto vedlejší produkty následně zpracovat, nedají se zkrátka nijak dále využít. Potom jsou tyto vedlejší produkty nazývány odpadem. [1]

Odpad je definován přesně pomocí zákona, a to zákona č. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. Tento zákon definuje odpad jako každou movitou věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. [2] Účel zbavení této věci je, že už není možné využívat tuto věc k původnímu účelu. Osoba je povinna se této movité věci zbavit ze tří důvodů dle tohoto zákona. Prvním důvodem je, pokud movitá věc už nemůže být využívána k původnímu účelu a zároveň ohrožuje životní prostředí. Pokud byla vyražena nebo stažena na základě právního předpisu, je dalším důvodem zbavení. A poslední důvodem je vzniknutí při výrobě, jejímž původním cílem nebylo získání této věci a není vedlejším produktem dle § 8 odst. 1. Pokud jsou nějaké pochybnosti o tom, zda je movitá věc odpadem, poté učiní rozhodnutí krajský úřad.

### 2 Odpadové hospodářství

Pojem odpadové hospodářství je definován zákonem o odpadech. Dle tohoto zákona se odpadovým hospodářstvím rozumí činnost na předcházení vzniku odpadu, nakládání s odpadem, následnou péči o místo, kde je trvale uložen, zprostředkování nakládání s odpady a kontrola těchto činností. [2]

Odpadové hospodářství je založeno na hierarchii odpadového hospodářství, podle níž je prioritou předcházení vzniku odpadu. [2] Jestliže nelze vzniku odpadu předejít, pak je volena příprava k opětovnému použití v následujícím pořadí: recyklace, jiné využití včetně energetického využití a není-li možné ani to, tak jeho odstranění.

Při uplatnění hierarchie odpadového hospodářství se zohledňuje:

- Celý životní cyklus výrobků a materiálů, zejména s ohledem na snižování vlivů nakládání s odpady na životní prostředí a zdraví lidí.
- Zásada předběžné opatrnosti a udržitelnosti.
- Technická proveditelnost a hospodářská udržitelnost.
- Ochrana zdrojů, životního prostředí, zdraví lidí a hospodářské a sociální dopady.
- Cíle, zásady a opatření Plánu odpadového hospodářství České republiky. [2]

Od hierarchie odpadového hospodářství je možné se odklonit v případě, že je to při zohlednění celkových dopadů životního cyklu, zahrnující vznik odpadu a nakládání s ním, výrobků a materiálů, vhodné s ohledem na nejlepší výsledek z hlediska ochrany životního prostředí a zdraví lidí. [2]

### 3 Klasifikace odpadů

Odpad můžeme klasifikovat dle rozdílných kritérií

a) Skupenství:

Do této skupiny patří různé kapalné odpady, odpadní plyny a také pevný odpad. Můžeme říct, že dle skupenství odpadu lze odhadnout, jak s odpadem nakládat a kde jej můžeme nalézt.

b) Místo vzniku:

Zde bychom mohli najít skupiny odpadů jako odpad z těžby, z výroby a ze spotřeby. Například jako odpad ze spotřeby je komunální odpad. Poznámka k odpadu z výroby, konkrétně k zpracovatelskému odpadu, který se vyznačuje tzv. homogeností. Například piliny, hobliny, odstřížky látek, kovové odřezky, dřevěné špalíky atd. Výhodou pro recyklaci odpadu a v jeho dalším využití této homogenity spočívá v tom, že lze vynechat procesy třídění a čištění odpadu. Například piliny je možno hned použít pro výrobu cihel a briket, hobliny k výrobě dřevotřísky, kovový odpad lze přetavit atd.

c) Stupně a charakter škodlivosti:

Podle zákona o odpadech je odpad rozdělen na nebezpečný odpad a ostatní.

d) Využitelnost:

Odpad rozlišujeme na dva druhy-využitelný a nevyužitelný odpad. Odpad, kterým je možno nahradit ve výrobních procesech původní surovinu, je nazýván jako druhotná surovina. Odpad, který je možno vrátit zpět na začátek výrobního procesu, z něhož vyšel, se nazývá vratný odpad.

e) Druhy:

Tato skupina je velmi různorodá, zde se odpady dělí dle různých detailů. Například dělení podle chemického složení nebo původu odpadů. Členění podle původu odpadů: rostlinného a živočišného původu (nejčastěji ze zemědělské výroby), minerálního původu (suť, některé popílký), z chemického procesu (kyseliny), komunální odpad atd. [3]

### 4 Základní rozdělení podle skupenství

Rozdělení odpadů se může provést dle různých hledisek, ale mezi nejvíce objektivní patří členění dle skupenství. [3] Mezi základní tři skupiny tohoto členění (plynné, kapalné, tuhé) se může přidat členění dle původu vzniku odpadů. Například v zemědělství, v domácnosti atd.

#### 4.1 Tuhé odpady

Do této skupiny se řadí odpady, jak biologického původu, tak tuhé odpady ze zemědělství a lesního hospodářství, z průmyslu, komunální a bytové sféry. [3]

## 4.2 Tuhý domovní odpad

Tato skupina je známá pod zkratkou TDO. TDO by se dal charakterizovat jako směs odpadů z domácností, komunálních zařízení, veřejných prostranství, rekreačních středisek atd. Odpady z TDO se dále rozdělují do několika skupin:

- a) Odpady z domácností  
Pod tuto složku spadá veškerý odpad vznikající v domácnosti z hygienických, estetických a funkčních důvodů. Například odpad z vytápění, zbytky potravin, kuchyňské odpady, odpad po malých stavebních úpravách a organické a anorganické odpady (dřevo, obalové materiály).
- b) Odpady z komunálních zařízení  
Veškeré tuhé odpady z komunálních zařízení, které jsou složením a rozměrem obvykle analogického odpadu z domácností, se zařazují pod tuto skupinu. Konkrétním příkladem jsou odpady ze správních a obchodních zařízení a škol, odpady z hotelů a restaurací, odpady z řemeslných dílen a služeb, odpady z nemocnic a dalších zařízení.
- c) Objemový odpad  
Další skupinou je objemový odpad, který zahrnuje nepotřebné, nefungující spotřebiče, dále součásti z domácností a různých sociálních, kulturních a správních zařízení, např. z kanceláří a obchodů. Patří sem věci jako nábytek, koberce a matrace. Dále pak rádia a TV přijímače, chladničky, pračky, osvětlovací tělesa, radiátory atd. Je známo, že objemový odpad je využitelný pouze z části, jeho zařazení je tedy spíše mezi sběrné suroviny.
- d) Tuhé odpady z veřejných prostranství  
Sem zapadají odpady z míst, jako jsou parky, kulturní a sportovní zařízení. Jsou to například smetí z vozovek, ulic, parkovišť a náměstí. Poté odpad z odpadkových košů, zbytky rostlin z parků a sadů, led a sníh. Ani tato skupina nezahrnuje odpady, které by se daly dobře energeticky využít.
- e) Tuhé odpady z rekreačních středisek  
Sem patří odpady z kempingů a stanovacích míst, odpady z chatových oblastí, odpady z rekreačních a lázeňských komplexů [3]

Jestliže budeme řešit TDO, je tedy potřeba brát v potaz jednotlivé vlastnosti, a to zdroje, množství a skladbu TDO. Dále pak shromažďování a odvoz, využití, uložení a zneškodnění.

### 4.3 Průmyslový odpad

Odpad, jenž vzniká z průmyslové (výrobní) činnosti, je přiřazen ke skupině tuhého průmyslového odpadu. Složky převládající v tomto odpadu jsou charakteristické svou specifickou výrobou, avšak bohužel ve většině případů už je nelze dále zpracovat. Stav techniky a jejího vývoje ovlivňuje strukturu tuhého průmyslového odpadu. Struktura je dále ovlivněna hlavně hospodářskou situací. [3] Průmyslový podnik produkuje téměř konstantní množství odpadu, i přestože výroba a technologie jsou ve stagnačním stavu. Nastane-li tento stav, tak množství odpadu má závislost na několika faktorech. Těmi faktory jsou počet pracovníků v závodě, vyrobené množství produktů a finanční hodnota výrobků.

### 4.4 Tuhé odpady ze zemědělství a lesního hospodářství

Prvotně se jedná o odpady ze zemědělské velkovýroby, u kterých je možnost vrátit tyto odpady zpět do půdy, ale pouze za podmínek, že tyto odpady budou předem příčinně upraveny nebo zpracovány. [3] Budeme-li hodnotit odpady z této skupiny z hlediska energetického využití, tak nejzajímavější hodnotu z tohoto hlediska má systém výroby bioplynu a spalování dřevních odpadů.

### 4.5 Kapalné odpady

Primárně vznikají v čistírnách odpadních vod jako čistírenské kaly. [3] Dále vznikají v činnostech jako jsou úpravy uhlí, petrochemický průmysl, rafinérie minerálních olejů, automobilový průmysl, průmysl barev a laků atd. Jsou to odpady jako různé kaly, kapalné odpady ropného charakteru atd. Jedná se tedy zejména o odpady z různých průmyslových odvětví v kapalném skupenství. Způsob zpracování zde není tak rozmanitý. Kapalné odpady lze zpracovat nějakým tepelným způsobem jako je spalování. Mezi výjimky patří čistírenské kaly, které lze zpracovat odlišným způsobem, než je tepelný způsob, a to kompostováním.

### 4.6 Odpady plynné a odpadní teplo

V průmyslovém odvětví nezaregistrujeme skoro žádné spalitelné plynné odpady. Mezi výjimky patří kychtové plyny, které vznikají při výrobě surového železa. Avšak většinou jsou zpracovány ve výrobě nebo využity na spalování jako přídavné palivo v kotli. Ve většině případů jsou obdobně využity i odpadní hořlavé plyny různých technologií. [3] Často tak bývají mezi plynnými odpady právě ty nehořlavé anebo už vyhořelé plyny, které obsahují velké množství tepla. Mezi nejvýznamnější průmysly patří hutnický, sklářský a keramický průmysl. Zužitkování odpadního tepla stále patří mezi mladé energetické obory a je zde potřeba ještě tento proces pořádně prozkoumat a vyřešit značné nedokonalosti.

### 4.7 Oficiální klasifikace

Do různých kategorií rozděluje odpad také Katalog odpadů vyhláška č. 8/2021 Sb. [4] Ten zařazuje jednotlivé odpady do konkrétních kategorií a přiřazuje jim jednotlivé kódy.

1	Odpady z geologického průzkumu, těžby, úpravy a dalšího zpracování nerostů a kamene
2	Odpady z prvovýroby v zemědělství, zahradnictví, myslivosti, rybářství a z výroby a zpracování potravin
3	Odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky
4	Odpady z kožedělného, kožešnického a textilního průmyslu
5	Odpady ze zpracování ropy, čištění zemního plynu a z pyrolytického zpracování uhlí
6	Odpady z anorganických chemických procesů
7	Odpady z organických chemických procesů
8	Odpady z výroby, zpracování, distribuce a používání nátěrových hmot (barev, laků a smaltů), lepidel, těsnicích materiálů a tiskařských barev
9	Odpady z fotografického průmyslu
10	Odpady z tepelných procesů
11	Odpady z chemických povrchových úprav, z povrchových úprav kovů a jiných materiálů a z hydrometalurgie neželezných kovů
12	Odpady z tváření, z fyzikální a z mechanické úpravy povrchu kovů a plastů
13	Odpady olejů a odpady kapalných paliv (kromě jedlých olejů a odpadů uvedených ve skupinách 05 a 12)
14	Odpady organických rozpouštědel, chladiv a hnacích médií (kromě odpadů uvedených ve skupinách 07 a 08)
15	Odpadní obaly, absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené
16	Odpady v tomto katalogu jinak neurčené
17	Stavební a demoliční odpady (včetně vytěžené zeminy z kontaminovaných míst)
18	Odpady ze zdravotní nebo veterinární péče nebo z výzkumu s nimi souvisejícího (s výjimkou kuchyňských odpadů a odpadů ze stravovacích zařízení, které bezprostředně nesouvisejí se zdravotní péčí)

19	Odpady ze zařízení na zpracování (využívání a odstraňování) odpadu, z čištění odpadních vod pro čištění těchto vod mimo místo jejich vzniku a z výroby vody pro spotřebu lidí a vody pro průmyslové účely
20	Komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů) včetně složek z odděleného sběru

Tabulka: Příklad různých kategorií podle Katalogu odpadů [4]

## 5 Nebezpečný odpad

Mezi nebezpečný odpad se řadí odpad, jenž vykazuje nebezpečné vlivy ke zdraví člověka a zvířat, tak i k životnímu prostředí. Zároveň bývá i nebezpečným materiálem. Když s ním budeme manipulovat, tak musíme dbát důraz na pozornost, jelikož hrozí nebezpečí vycházející z jeho vlastností. Zákon říká, že není možné s ním zacházet jako s běžným komunálním odpadem. [5] V tom spočívá, že se nesmí ukládat na běžné skládky odpadu a nesmí se spalovat ve spalovnách komunálního odpadu. Z toho vychází, že se s takovým odpadem musí nakládat specificky, například ho spalovat ve speciálních spalovnách pro nebezpečný odpad, z nichž je v ČR pouze 22. Dále se může likvidovat ve specializovaných firmách nebo se může ukládat na zabezpečené skládky pro nebezpečný odpad. Odpad, který se řadí mezi nebezpečný odpad, je takový odpad, který splňuje alespoň jednu z patnácti nebezpečných vlastností.

### 5.1 Vlastnosti

Všechny kritéria pro uvedené vlastnosti lze najít ve vyhlášce č.376/2001 Sb. [6]

#### Výbušnost

Odpady obsahující tuto vlastnost jsou náchylné na explozi při působení vnějších tepelných podnětů či při nárazu nebo tření. Dále, pokud je možné, u nich vyvolat reakce s detonativním potenciálem či uvnitř probíhá rychlé výbuchové hoření. [6]

#### Oxidační schopnost

Tuto vlastnost obsahují pevné odpady, kapalné odpady, odpady stávající se výbušnými a odpady organických peroxidů. Nicméně, pro každý druh odpadu existují odlišná kritéria pro hodnocení této vlastnosti. [6]



**Vysoká hořlavost**

Jako u předchozí vlastnosti, i tato vlastnost se vyskytuje u několika druhů odpadů a nazývá se vysoká hořlavost. Mezi odpady, které mají tuto vlastnost, patří kapaliny s bodem vzplanutí nižším než 21°C, pevné látky nebo kapaliny, plyny a pevné odpady. Tyto odpady se opět liší v kritériích hodnocení. [6]

**Hořlavost****Dráždivost**

Odpady s touto vlastností se vyznačují dráždivými látkami či přípravky, ale nejsou žíravé. Dále pak jsou schopny vyvolat zanícení pokožky nebo sliznice při styku s těmito látkami. [6]

**Škodlivost zdraví**

Jak už název napovídá, tak do této kategorie vlastností patří odpady, které mohou způsobit jakékoliv problémy se zdravím po vdechnutí, požití či proniknutí kůží. [6]

**Toxicita**

Odpady, které obsahují toxické látky, mají vlastnost s názvem Toxicita. Střetnutí s takovými odpady může mít závažné následky. [6]

**Karcinogenita**

Tato vlastnost se týká odpadů obsahujících karcinogenní látky nebo přípravky. Tyto látky mohou způsobit onemocnění rakovinou nebo zvýšenou četnost výskytu rakoviny [6].

**Žíravost**

Odpady se žíravými látkami nebo přípravky. Zde hrozí poškození pokožky nebo sliznice. [6]

**Infekčnost**

Mezi odpady s touto vlastností se řadí odpady obsahující životaschopné mikroorganismy nebo jejich toxiny a další infekční agens. Pokud mají dostatečnou koncentraci nebo množství, mohou způsobit onemocnění člověka nebo jiných živých organismů. [6]

**Teratogenita**

Odpady s vlastností Teratogenita zahrnují látky nebo přípravky, které mohou způsobit zvýšení výskytu nedědičných vrozených malformací nebo funkčních poškození po vdechnutí nebo proniknutí kůží. [6]

### **Mutagenita**

Mutagenní látky nebo přípravky jsou součástí odpadů s vlastností Mutagenita. Tyto odpady mohou po vdechnutí nebo po průniku kůží vyvolat vznik nebo zvýšit šance na výskyt dědičných genetických vad. [6]

### **Schopnost uvolňovat vysoce toxické plyny ve styku s vodou nebo kyselinami**

Touto vlastností se vyznačují ty odpady, uvolňující při střetnutí se s vodou, kyselinou nebo vzduchem více než 1 l.h-1.kg-1 vysoce toxického nebo toxického plynu. [6]

### **Schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při nebo po jejich odstranění**

Odpady s touto vlastností vedou ke vzniku škodlivých látek po svém odstranění nebo už během samotného odstraňování. Tyto látky mohou být zdraví škodlivé nebo mohou mít negativní vliv na životní prostředí. [6]

### **Ekotoxicita**

Představuje-li odpad náhlé nebo pozdní nebezpečí pro jednu nebo i více složek životního prostředí, tak má vlastnost Ekotoxicita. [6]

## 5.2 Recyklace

Je jasné, že ne všechny nebezpečné odpady se dají recyklovat. V některých případech je dokonce zakázáno je recyklovat, a proto se musejí spálit ve spalovnách pro nebezpečný odpad nebo podstoupit jinou odbornou likvidaci. [5]

V dnešní době by měl být na většině obalů uveden způsob naložení s produktem, když se stane odpadem. Dalším způsobem, jak zjistit následné nakládání s takovým odpadem, jsou informace od výrobce nebo od prodejce.

Další způsob, jak ulehčit nakládání s nebezpečným odpadem, je, že každá obec je povinna určit místa, kam fyzické osoby budou mít možnost odkládat nebezpečné složky komunálního odpadu, a následně je k tomuto úkonu uzpůsobit. [3] Nebezpečnými složkami komunálního odpadu jsou například zbytky barev, plechovky od ředidla nebo zářivky. Místa, které obec nejčastěji vyhrazuje pro odklad tohoto odpadu, jsou sběrné dvory nebo mobilní svozy nebezpečného odpadu.

## 5.3 Klasifikace nebezpečného odpadu

Rozpoznat běžný odpad od nebezpečného odpadu je schopen laik dle vzhledu odpadu (označení, výstražné symboly, složení, uzávěr apod.) a zdravého rozumu nebo již zmíněných vlastností odpadu. Nicméně informace, které nám mohou pomoci s tím, co zařadit mezi komunální odpad a co mezi separovaný nebezpečný odpad, můžeme nalézt na příslušných městských nebo obecních úřadech. [3] Dalším místem, kde informace lze získat, jsou místní platné vyhlášky. Kvůli zdraví škodlivých a životnímu prostředí negativních látkách je na místě věnovat nebezpečnému odpadu zvýšenou pozornost. Když se zaměříme na konkrétní druhy, tak bychom měli namysli například baterie, akumulátory, chemikálie, automobilové oleje, zbytky drog, tonery do tiskáren atd.

## 6 Ostatní odpad

Zjednodušeně řečeno, mezi ostatní odpad patří vše, co nespadá mezi nebezpečný odpad, tedy odpad, který nemá ani jednu z již zmíněných nebezpečných vlastností. [3] Mezi konkrétní příklady ostatního odpadu patří například papír, staré knihy, plast, nábytek, koberce, textil, sklo, stavební suť, okna, pneumatiky a další. Ostatní odpad se dále dělí do více skupin.

### 6.1 Komunální odpad

Komunální odpad nemá úplně přesnou definici, spoustu zdrojů ho definuje jinak. Z pohledu legislativy je však jeho definice následující: veškerý odpad, který vzniká při činnosti fyzických osob na území obce. [7] Když se však zamyslíme, odpad vznikající za hranicí obce také může být odpadem komunálním, takže žádná definice není úplně přesná.

Pravděpodobně je komunální odpad bez složek, které je možno recyklovat nebo dále zpracovávat či v klidu likvidovat. Likvidace komunálního odpadu tedy obvykle spočívá v odkladu na skládku. Dále je možná likvidace ve spalovnách.

I komunální odpad lze dále rozdělit do několika podskupin, jako jsou tuhý komunální odpad, směsný komunální odpad, zbytkový komunální odpad a biologicky rozložitelný odpad.

### **6.1.1 Tuhý komunální odpad**

Za tuhý komunální odpad považujeme odpad, jenž je schopen si uchovat svůj tvar a objem. Nejspíše je to odpad z každodenní potřeby v domácnosti. [7]

### **6.1.2 Směsný komunální odpad**

Jestliže oddělíme využitelné a nebezpečné složky z odpadu, tak nám zůstane SKO [3]

### **6.1.3 Zbytkový komunální odpad**

Takový odpad bychom mohli nazvat nezařazeným odpadem. [7]

### **6.1.4 Biologicky rozložitelný komunální odpad**

Rozklad odpadu spolu s kyslíkem nebo bez něj charakterizuje tuto skupinu odpadu. Pod touto skupinou si představme odpad ze zeleně, potravin nebo odpad ze dřeva, atd. [7]

### **6.1.5 Domovní komunální odpad**

Legislativa tento druh v podstatě nezná, ale tato skupina komunálního odpadu je známá. Jedná se o veškerý odpad vznikající v domácnostech z každodenní spotřeby, tedy odpad vznikající na území obce a pocházející z činnosti fyzických osob. [7]

### **6.1.6 Živnostenský komunální odpad**

Jeho vznik je při nevýrobní činnosti právnických nebo fyzických osob oprávněných k podnikání, tedy například v kancelářích. [7]

### **6.1.7 Velkoobjemový komunální odpad**

Pokud odpad nelze umístit do běžných popelnic nebo kontejnerů, nazýváme ho velkoobjemový odpad. Tento druh odpadu je možné odevzdat na sběrných dvorech. [7]

## 7 Způsoby nakládání s komunálním odpadem

Jak vyplývá z legislativy ČR nebo i EU, že jedno z hlavních priorit jak nakládat s odpadem, je vyvarovat se mu, respektive předejít jeho vzniku. [8] Recyklace je stále před energetickým využitím odpadu. Na posledním místě, co se týká legislativy, je odstranění odpadu, což můžeme chápat jako jeho spalování. Tyto zásady jsou zakotveny v jednotlivých právních předpisech.

Jedním z hlavních cílů je dosáhnout co největšího procenta energetického využití odpadu před jeho odstraněním. Spalování odpadu, jako proces na hranici mezi energetickým využitím a nechtěným odstraněním odpadu, je nutné přesně definovat. Z toho důvodu jsou v právních předpisech, které se týkají termického zpracování odpadů, zavedeny pojmy "odstraňování odpadů" a "energetické využití odpadů" (EVO), které se od sebe technicky i právně liší. [9] Jedním z nejkritičtějších aspektů nakládání s komunálním odpadem je skládkování. Pokud odpad nelze recyklovat, tak je skládkování stále nejčastějším způsobem nakládání s odpadem v ČR. Přestože má skládkování negativní dopad na životní prostředí a je nežádoucí z hlediska některých cílů, stále se používá. Technická opatření nezměnily jeho status. Jediným pozitivem je zisk skládkového plynu, jehož energetické využití alespoň částečně kompenzuje tyto negativní faktory. Energetické využití skládkového plynu je však 5x-6x menší než v případě EVO. Proto je nutné hledat alternativní řešení, jak nakládat s nerecyklovatelným odpadem. Možná bychom si mohli vzít příklad z vyspělých zemí EU, které už tyto alternativní řešení našly v podobě energetického využití.

## 8 Energetické využití komunálního odpadu

Dle hierarchie nakládání s odpady je energetické využití odpadu preferovaný způsob, pokud nelze odpad recyklovat. [9] Z toho plyne, že množství odpadu pro energetické využití závisí na množství odpadu, které je vhodné pro recyklaci.

### 8.1 Energeticky využitelné odpady

V laických termínech by se dalo říci, že energeticky využitelné odpady jsou odpady, které mají dostatečné množství energie, kterou lze z nich získat. Nicméně, musíme být opatrní a zvážit to z více úhlů pohledu:

- a) Každá technologie má své požadavky na výhřevnost odpadu, které nelze překročit, neboť by došlo k poškození technologie.
- b) Technologie pro energetické využívání odpadů mají také své limity, co se týče čištění zplodin hoření.
- c) Každá taková technologie produkuje odpadní látky, které jsou různě využitelné a rozdílně zatěžují životní prostředí.
- d) Technologie k provozu využívá buď pouze odpady nebo odpady smíchané s palivem. [9]

Jak tedy určit odpad pro EVO? Jedním z aspektů je již zmíněná výhřevnost, kterou je nutné určit. [9] Dalšími důležitými ukazateli jsou obsah nespalných látek (kovy, nekovy, inert, sklo, popel), obsah látek produkujících chlór vlivem tepla, vlhkost a velikost frakcí.

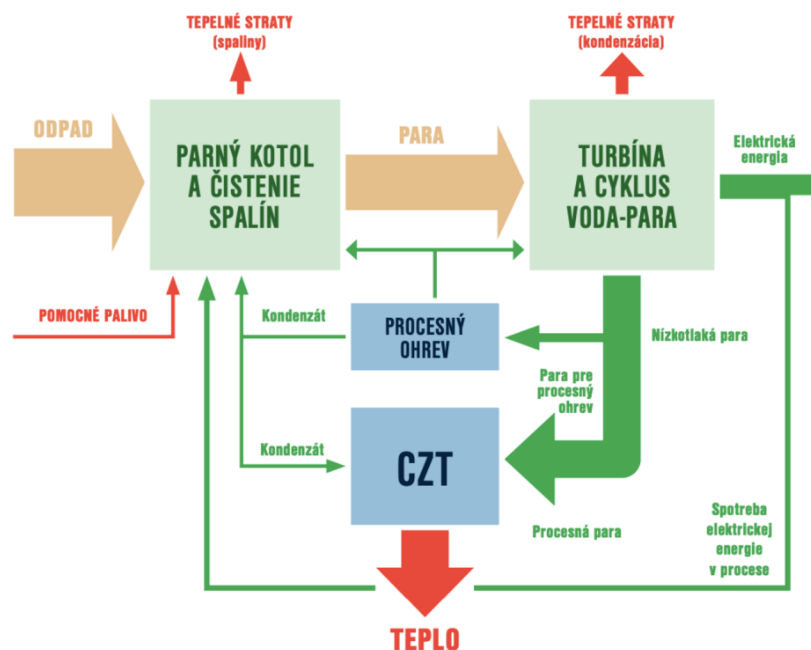
Jaká bude potřebná úprava odpadů před EVO? Řekneme-li, že odpad, který využijeme, má vlhkost 30-33 % a je ve směsi, úprava bude následující:

- a) Příjem na zpevněnou plochu
- b) Odseparování materiálů a NO
- c) Primární nadržení na frakci 250x250 – 400x400 mm
- d) Separace Fe a neFe
- e) Separace biofrakce
- f) Separace těžké frakce
- g) Sekundární drcení nadsítného, sušení a separace PVC
- h) Konečné alternativní palivo, případně jeho peletizace
- i) Energetické zpracování
  - Spálení alternativního paliva
  - Termální depolymerizace alternativního paliva nebo jen odseparovaných frakcí
  - Zpracování biofrakce v bioplynové stanici nebo kompostárně [9]

## 8.2 ZEVO

Zařízení pro energetické využití odpadu umožňují termické využití odpadů pro výrobu tepelné a elektrické energie. Tudiž se liší od klasické spalovny. Rozdíl vyplývá ze zákona. [10] Tyto zařízení se od klasických spaloven liší především díky přísné evropské a české legislativě, která zajistí, že jsou šetrné vůči zdraví a životnímu prostředí. Další výhodou ZEVO je, že šetří neobnovitelné zdroje surovin, jako je například ropa. Pro zbylý odpad ze ZEVO je možnost ho využít v podobě druhotných surovin, například ve stavebnictví. V ČR máme možnost se setkat se čtyřmi ZEVO, umístěné v Praze, Brně, Liberci a Chotíkově u Plzně.

Pokud bychom chtěli blíže charakterizovat ZEVO, můžeme je popsat jako technologie využívající spalování neupraveného odpadu na roštu. Proces probíhá s přímou reakcí hořlaviny v odpadu za přebytku spalovacího vzduchu. [8] Postup lze zjistit z obr.1, který představuje blokové schéma ZEVO.



Obrázek 1: Blokové schéma ZEVO [8]

Tepelná energie získaná v ZEVO je transferovaná do spalin. Spaliny pak při chlazení umožňují využít energii ze spalin nebo čištění spalin před vypuštěním do okolního ovzduší. V ZEVO je používán parní kotel pro získání tepla, ten funguje na bázi absorbování tepla z rozpálených spalin. Tím se voda mění z kapalného skupenství na plynné, tedy na páru. Teplota a tlak páry závisí na lokálních požadavcích a omezeních. [8]

Pokud chceme dosáhnout maximální účinnosti, tak jej budeme využívat jako zdroj procesního tepla v průmyslu nebo přímo pro centrální systémové zásobování teplem. Budeme-li mít výrobu tepelné i elektrické energie, tak standardní parametry budou 40 barů a 400 °C, což umožní dosáhnout vysoké energetické účinnosti. Máme možnost využívat energii z odpadu ještě efektivněji, pokud se ZEVO věnuje pouze výrobě elektrické energie. [8] Parametry vodní páry v tomto případě mohou dosáhnout až 60 barů a 520°C. S tím však souvisí i negativní účinky v podobě koroze na povrchu výměníku či přehříváče páry. S energetickou účinností se však počítá už na počátku projektu, kdy jsou stanoveny jisté požadavky na návrh ZEVO. Evropská legislativa tak má jasně definovanou energetickou účinnost.

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

Legenda:

$E_p$ - roční množství energie vyrobené jako teplo nebo elektřina (GJ/rok), energie ve formě elektrické energie se vynásobí hodnotou 2,6 a teplo vyrobené na komerční účely se vynásobí hodnotou 1,1

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

$E_i$ - roční množství dodané energie kromě  $E_w$  a  $E_f$  (GJ/rok)

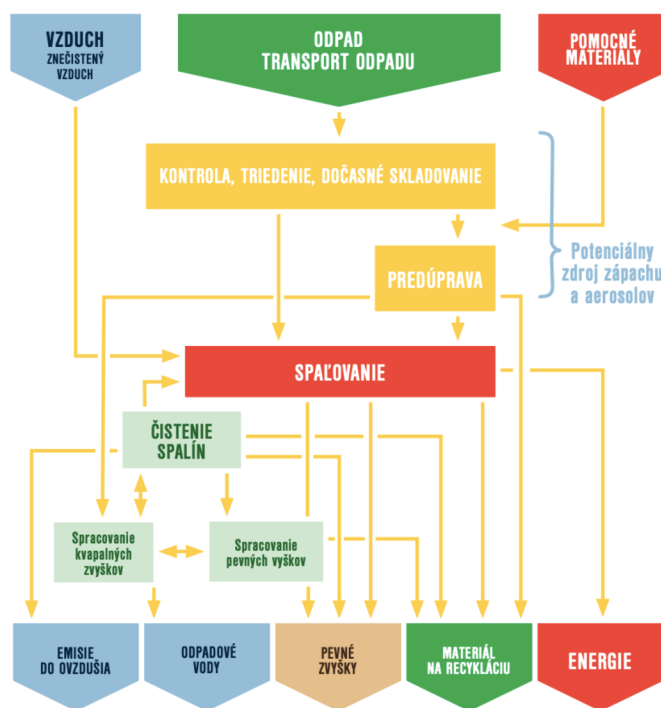
$E_w$ - roční množství energie obsažené v zpracovaném odpadu (GJ/rok)

0,97- koeficient zohledňující energetické ztráty v důsledku popelu ze spalování odpadu a sálání [8]

Aby ZEVO byla kategorizována mezi zařízení pro EVO, musí splňovat určitou podmínku, která má následující podobu:

$$\eta \geq \eta = 0,65$$

V takovém případě to bývá označeno kódem R1. Pokud však ZEVO tuto podmínku nesplní, spadá do kategorie spalování na zemi a je označeno kódem D10. Energetické toky můžeme vidět na obrázku č.2.



Obrázek 2: Schéma energetických toků v ZEVO [8]



Jedním z nejdůležitějších aspektů pro ZEVO je výběr správné lokality. Mezi kritéria pro výběr lokality patří investiční a provozní náklady, speciální lokální požadavky, technologické provedení, kapacitu zařízení, možnost vyvedení eklektického a tepelného výkonu, náklady na nakládání se zbytky ze zařízení a další faktory. Při zvolení správné lokality by tak mělo získávat hodnotu  $\eta = 0,8 - 1$ , což je nevyhnutelné z hlediska efektivity využití zdrojů a energie a snižování emisí. [8] Zejména z hlediska emisí musí ZEVO splňovat ty nejpřísnější emisní limity pro spalování odpadů. Proto je ZEVO považováno za nejčistší zdroj energie získávané pomocí termických procesů vzhledem k čistotě ovzduší.

### 8.3 Zplyňování

Tato metoda energetického zpracování odpadu patří mezi moderní metody tohoto odvětví. V podstatě se jedná o termochemickou konverzi paliva na výhřevný plyn. Proces lze uskutečnit za pomoci zplyňovacího média a vysokých teplot. Jako zplyňovací médium se ve většině případů používá vzduch, ale lze použít i vodní páru nebo směs kyslíku. Produktem je plyn, který obsahuje výhřevné složky ( $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$  atd.), doprovodné složky ( $N_2$ ,  $CO_2$ ,  $H_2O$ ) a znečišťující látky (dehet, prach, sloučeniny síry, chlóru, alkálie a další). [9] Pevným zůstatkem z procesu může být popel či uhlíkatý porézní zbytek, záleží na stupni zplynění. Nejjednodušším způsobem, jak naložit s produktem zplyňování, jež je výhřevní plyn, je obyčejné spálení v kotli s vidinou výroby energetické páry. Tento způsob však není jediným možným, dalšími mohou být pohon plynového motoru nebo turbíny či syntéza chemikálií. Tyto způsoby jsou však o něco komplikovanější kvůli správnému čištění plynů převážně od dehtových sloučenin. Ačkoliv zplyňování může být zajímavé a v budoucnu efektivní způsob energetického zhodnocení odpadu, avšak v současné době se nejedná o dostatečně ověřený proces, který bychom mohli porovnávat s běžným spalovacím procesem.

### 8.4 Bioplynové stanice

Další metoda patřící do kategorie moderních je anaerobní digesce probíhající v BPS. Proces se může pyšnit menší ekologickou náročností. Jako vstupní surovina v BPS se objevují zemědělské odpady, biomasa, BRKO. Bioodpad je preferovanější vstupní surovinou než biomasa, která je pěstována za účelem zpracování v BPS. [9] Sníží se tak skládkování bioodpadu. V případě bioodpadu je otázka, zda není výhodnější materiálové využití v podobě kompostu. Produktem BPS je bioplyn, jež je spalitelný a má velký tepelný obsah. Bioplyn se energeticky využívá v kogeneračních jednotkách, kde probíhá kombinovaná výroba tepla a elektrické energie. Jako tuhý zbytek v BPS se nachází digestát, jehož využití najdeme v zemědělství jako kvalitní hnojivo. [8] To však záleží na vstupní surovině, jelikož z komunálního odpadu nemusí digestát splňovat požadavky na hnojivo. BPS mohou být zemědělské ve vlastnictví většího zemědělského podniku nebo komunální a průmyslové ve spojitosti s čistírnou odpadních vod.

## 8.5 Depolymerizace

Dalším mladým zástupcem metod energetického využití odpadu je depolymerizace. Za poslední dobu je velký tlak na rozvoj této metody z hlediska velkého potenciálu, jak energetického, tak materiálového. Má však dost variabilní použití. Kromě již zmíněného zpracování komunálního odpadu a kalů z ČOV se může využít na dekontaminaci půdy, zpracování použitých pneumatik, plastů, kovů, olejů atd. Dost záleží na vstupním materiálu, jelikož pokud má vstupní materiál dosti rozdílné složení, je to velká přítěž pro tato zařízení v praxi. Tudíž nejlepší vstupní surovinou jsou plasty, které mají známé složení. Naopak komunální odpady patří mezi nejhorší, právě kvůli variabilitě svého složení. [9] Proces má různé teplotní fáze. Teploty do 150 °C zajišťují odpařování vody a dochází k desorbci absorbovaných látek a k uvolňování páry těkavých uhlovodíků. Při teplotě 250 °C probíhá desulfurace, deoxidace, depolymerace a počátek odštěpování H<sub>2</sub>S. V rozmezí teplot od 300 do 500 °C se uvolňuje značné množství dehtových par a ze zpracovávaného materiálu odchází vodní pára spolu s CO<sub>2</sub> vzniklého odštěpením hydroxylových a karboxylových skupin. Teploty nad 500 °C pak způsobují zpomalování tvorby dehtových par a v reaktoru se tvoří pevný zbytek. Následně při teplotách vyšších než 600 °C vznikají již pouze plynné produkty. Depolymerizace má různé typy svých metod. Mezi ně například patří pomalá a rychlá pyrolýza, plazmová pyrolýza, mikrovlnná depolymerizace atd. Produkty jsou depolymerizační plyn a depolymerizační olej. Za určitých podmínek jsou využívány v kogeneračních jednotkách pro výrobu tepla a elektrické energie. Depolymerizace má však také vedlejší produkty, mezi které se například řadí chlór, síra, kyslíkaté a dusíkaté sloučeniny atd.

## 9 Vliv metod na klima a globální oteplování

Vypouštění skleníkových plynů do ovzduší je označováno vědeckým mezinárodním orgánem jako nejvýznamnější vliv na změnu klimatu v podobě lidské činnosti. Vytváří se tzv. skleníkový efekt, který má za následek zvyšování teploty Země. Vliv zpracování odpadu na klima spočívá ve vypouštění různých plynů do atmosféry, přičemž plyny se liší dle různých metod. [11] Například skládkování vytváří emise metanu CH<sub>4</sub>, naopak zpracování s energetickým zhodnocením odpadu produkuje převážně emise oxidu uhličitého CO<sub>2</sub>. Dalším sledovaným faktorem je uhlíková stopa. Pod tímto pojmem si můžeme představit množství emisí skleníkových plynů uvolněných do atmosféry, jenž mají dopad na podnebí Země, přičemž zodpovědnost za vznik těchto emisí nese lidská činnost. Uhlíková stopa se vyjadřuje v ekvivalentech oxidu uhličitého (kg CO<sub>2</sub>e) a měří se v hmotnostních jednotkách, tedy v tunách, kilogramech nebo gramech. Pokud to bereme z energetického pohledu, tak se tato jednotka vztahuje na MWh energie vyrobené při daném procesu. Pokud je však uhlíková stopa vztáhnuta na jisté množství odpadu nebo energie, v tomto případě se jedná o měrnou uhlíkovou stopu. Uhlíková stopa obsahuje dvě složky. První složkou je přímá složka, za kterou považujeme množství skleníkových plynů vypuštěných přímo při daných aktivitách, jako je například spotřeba elektřiny nebo spalování paliv. Druhou složkou je složka nepřímá charakterizovaná jako množství skleníkových plynů vypuštěných po dobu celého existenčního cyklu výrobku, služeb nebo aktivit.

## 9.1 Skládování

Skládování má jeden z nejnegativnějších vlivů na klima a globální oteplování, pokud mluvíme o zpracování komunálního odpadu. Při skládování se tvoří skládkový plyn, převážně zastoupeným metanem. Většina skládkového plynu však může pronikat volně do ovzduší a výrazně se tak podílet na emisích skleníkových plynů a následném globálním oteplování. Skládkový plyn obsahuje menší množství  $\text{CO}_2$ , ale to se v případě výpočtu vlivu na klima ze skládování nezapočítává, a to z důvodu, že je biogenního původu, tedy stejně jako u biomasy, která se považuje za obnovitelný zdroj energie. [12] Z pohledu různých typů skládek nejvyšší uhlíkovou stopu má skládka bez technologie na zachycení metanu. Naopak nejnižší hodnotu mají skládky, jejichž skládkový plyn se dále energeticky využívá. Pokud mluvíme o kompostování komunálního odpadu, hodnota uhlíkové stopy bude mít nízkou hodnotu i přesto, že se nejedná o energetickém zhodnocení.

## 9.2 ZEVO

Na rozdíl od skládování má ZEVO o dost menší uhlíkovou stopu, pokud mluvíme o zpracování komunálního odpadu, což potvrzují různé vědecké studie. Ty nám dále uvádí i hodnoty. Při uvažovaném množství odpadu 16 500, 50 000 a 180 000 tun jsou rozdíly v emisích skleníkových plynů v průměru 40 096, 60 750 a 218 700 tun  $\text{CO}_2\text{e}$  za rok, což představuje rozdíl 1.215 t  $\text{CO}_2\text{e}/\text{t}$  odpadu. [12] ZEVO je tedy šetrnější vůči klimatu a globálnímu oteplování. Příčinou může být, že jediným skleníkovým plynem při spalování komunálního odpadu je  $\text{CO}_2$ , zatímco zbytek nebezpečných sloučenin, jakožto například kyselina sírová  $\text{SO}_2$ , jsou v procesu čištění spalin odbourávány různými způsoby. Pro ZEVO má nejhorší hodnotu uhlíkové stopy metoda, kde se započítává pouze obyčejné spalování. Pokud však započítáme do uhlíkové stopy všechny komplexní faktory spojené s energetickým využitím, jako je například vliv vytvořené energie, dosáhneme nejnižší možné hodnoty pro uhlíkovou stopu, a to záporné hodnoty. Čím víc faktorů započítáme, tím menší bude hodnota uhlíkové stopy.

## Praktická část

V této části se práce bude zabývat aplikací teoretických poznatků do praxe. Tento příklad bude založen na reálných hodnotách množství odpadu vyprodukovaného ve městě a úkolem bude zvolit správnou metodu zpracování odpadu za předpokladu velkého energetického výnosu a zároveň minimalizace emisí.

### 10 Soubor nejvhodnějších technik zpracování odpadů z velkého města s maximalizací energetického výnosu

Mezi metody, které mohou z odpadu vytěžit energetický výnos, patří ZEVO, BPS, depolymerizace a zplyňování. Všechny tyto metody nám mohou pomoci se zpracováním odpadu za účelem získání energetického výtěžku. Dle několika různých studií vychází nejlépe pouze dvě z těchto metod-BPS a ZEVO. Zplyňování má negativa v podobě nedostatečného ozkoušení tohoto procesu, protože je ještě v zárodku, a jistě v budoucnu bude často využíván. Další metodou, která byla vyřazena, je depolymerizace. Depolymerizace je také poměrně mladá a ještě neúplně prozkoušená metoda. Její nevýhodou je, že komunální odpad pro tuto metodu není úplně žádoucí kvůli svému proměnlivému složení. Doposud tyto 2 metody byly velmi nespolehlivé při jejich testování v zahraničí. V tomto případě se nejlépe hodí využít metodu BPS pro BRKO a pro zbytek odpadu, který je možné energeticky využít, zpracovat pomocí ZEVO. Metoda BPS má mnoho pozitivních důvodů. Prvním důvodem je ekologická náročnost této metody, která dosahuje velmi příznivých výsledků. Dalším důvodem je využití BRKO. Toto palivo je preferováno před účelně pěstovanou biomasou. Při této metodě se z BRKO získává jak tepelná, tak elektrická energie, a při dobré kvalitě se může využít i tuhý zbytek z této metody, tzv. digestát, který je označován za kvalitní hnojivo. Negativem může být výstavba BPS z finančního hlediska, avšak s pomocí dotací by to mohlo být vyřešeno. Jako druhá, tak i poslední metoda, která vyplývá z různých studií, je ZEVO. Pro ZEVO hovoří několik vlastností: kombinovaná výroba energie (teplo, elektrická energie), přísné emisní limity, což je tedy velmi šetrnou metodou vůči životnímu prostředí a možnost využití zbytku ze spalování v různých oblastech. Nicméně problémem mohou být přísná kritéria pro výběr vhodné lokality. Pokud by se však podařilo najít správnou lokalitu, tato metoda by mohla maximalizovat výnos energie z odpadu.

## 11 Porovnání metod na zpracování komunálního odpadu

Název metody	Výhody	Nevýhody
ZEVO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Šetření neobnovitelných zdrojů</li> <li>- Šetrné vůči životnímu prostředí</li> <li>- Dosahuje vysoké účinnosti</li> <li>- Ozkoušená metoda</li> <li>- Zpracování neuplatnitelného komunálního odpadu</li> <li>- Omezení skládkování</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Velké nároky na výběr lokality</li> <li>- Přísné emisní limity</li> </ul>
BPS	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Šetření neobnovitelných zdrojů</li> <li>- Šetrné vůči životnímu prostředí</li> <li>- Tuhý zbytek se dá nadále využívat</li> <li>- Ozkoušená metoda</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investiční náklady</li> </ul>
Zplyňování	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Šetření neobnovitelných zdrojů</li> <li>- Lepší regulace při spalování</li> <li>- Možnost dosažení vyšších teplot</li> <li>- Přímé spalování v tepelných strojích</li> <li>- Možnost využití alternativních paliv</li> <li>- Nižší provozní náklady na jednotku výkonu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vyšší investiční náklady</li> <li>- Nespolehlivost</li> <li>- Nedostatečně prozkoumaná technologie</li> <li>- Nutnost čištění generátorového plynu</li> </ul>
Depolymerizace	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Snížení plastového odpadu</li> <li>- Šetření neobnovitelných zdrojů</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vyšší investiční náklady</li> <li>- Nespolehlivost</li> <li>- Nedostatečně prozkoumaná metoda</li> <li>- Komunální odpad nežádoucí</li> <li>- Zátěž pro ovzduší</li> </ul>

Tabulka 1: Přehled výhod a nevýhod metod pro zpracování komunálního odpadu

## 12 Reálné hodnoty množství odpadu produkovaného ve velkém městě

Pro tento příklad byly vybrány hodnoty množství odpadů z města Třebíč pro rok 2022.

Název odpadu	Množství (t)
Papírové a lepenkové obaly	895,62
Plastové obaly	527,73
Sklo	437,49
Kovy	11,79
Oděvy	91,28
BRKO	1 251,31
SKO (skládka)	4 353,99
SKO (ZEVO)	2 143,57
Odpady celkem	9 712,77

Tabulka 2: Množství odpadů pro město Třebíč [13]

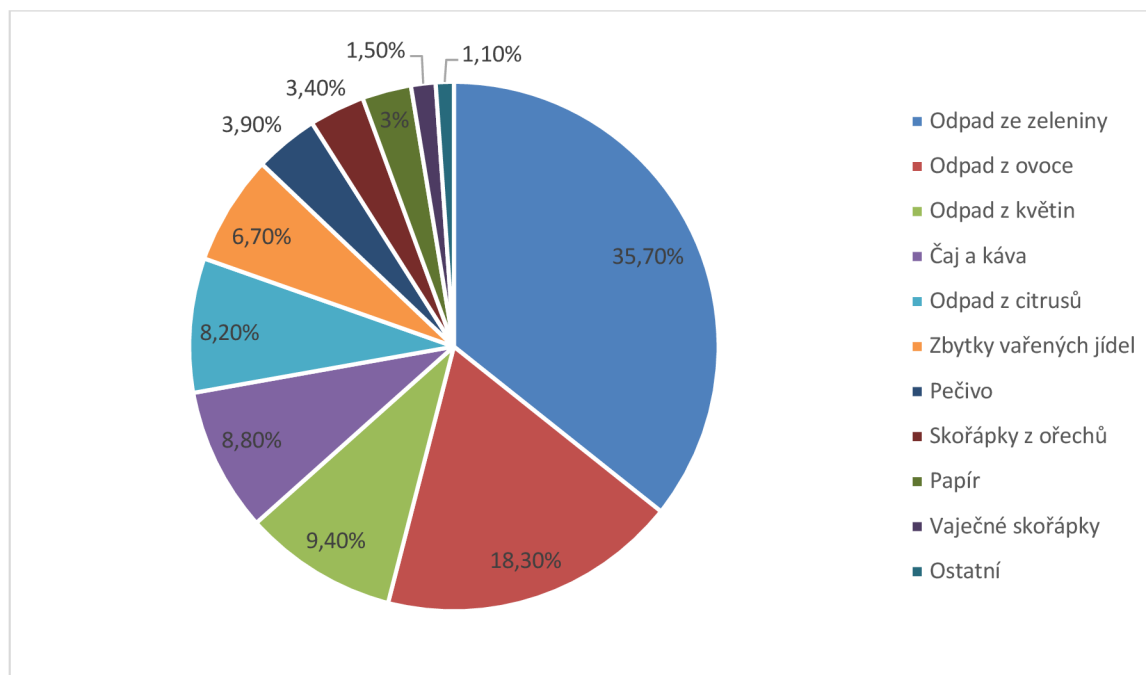
### 12.1 Scénář 1

V tabulce č.3 je možno vidět několik druhů odpadů. Pro energetické využití bude vybrán pouze BRKO a SKO (skládka i ZEVO). Budou vybrány pouze tyto tři druhy, jelikož legislativa říká, že materiálové zhodnocení je přednější než energetické využití, tudíž to bude bráno v potaz. A jak říká definice směsného komunálního odpadu, tak SKO je vše ostatní, co nemůžeme využít, nebo to není nebezpečný odpad. V tom případě se usuzuje, že tyto druhy se dají materiálově zhodnotit. Jak je možno vidět, ve městě Třebíč už nějaký ten odpad energeticky zhodnocují pomocí ZEVO. Což je žádoucí i v případě toho odpadu, který byl skládkován. Jak je známo, skládkování je nežádoucí, tudíž bude tento odpad využit také pomocí ZEVO. A zbývá tedy BRKO, který bude využit jako palivo pro BPS. BPS primárně upřednostňují právě tento odpad jako palivo, takže by neměl být problém ho takto využít.

### 12.1.1 Zpracování BRKO pomocí BPS

Druh BRKO	Výnos bioplynu [ $\text{m}^3/\text{t}$ hmoty]	Obsah metanu [% objem]
Separovaný bioodpad	80-120	58-65
Zbytky pokrmu a prošlé potraviny	50-480	45-61
Odpady z tržišť	54-110	60-65
Tuk	11-450	60-72
Odpady z údržby zeleně	150-220	55-65

Tabulka 3: Výnosy z BRKO z procesu anaerobní digesce [14]



Obrázek 3: Přibližné složení BRKO [15]

Při výše uvedeném složení BRKO a uvedených údajích o výnosu bioplynu z různých druhů odpadů bylo třeba vypočítat produkci bioplynu na tunu BRKO odpadu. Výpočet byl sestaven způsobem váženého průměru. Ve výpočtu byly brány spodní hranice hodnot. Výnos bioplynu je přibližně 59,99 m<sup>3</sup>/t.

$$V_B = (35,7 \times 50 + 18,3 \times 50 + 9,4 \times 150 + 8,8 \times 50 + 8,2 \times 50 + 6,7 \times 50 + 3,9 \times 50 + 3,4 \times 54 + 3 \times 54 + 1,5 \times 50 + 1,1 \times 80) \div (35,7 + 18,3 + 9,4 + 8,8 + 8,2 + 6,7 + 3,9 + 3,4 + 3 + 1,5 + 1,1) = 59,99 \text{ m}^3/\text{t}$$

Legenda:

V<sub>B</sub>... Výnos bioplynu na tunu odpadu (m<sup>3</sup>/t)

Při výše uvedeném složení BRKO a uvedených údajích o obsahu metanu různých druhů odpadů bylo nutné vypočítat celkový obsah metanu v bioplynu. Výpočet byl sestaven způsobem váženého průměru. Ve výpočtu byly brány spodní hranice hodnot. Obsah metanu je 47 % metanu. Výhřevnost bioplynu při 49 % metanu je přibližně 16,9 MJ/m<sup>3</sup>. Hodnota je velmi blízká, proto se bude počítat s výhřevností 16,5 MJ/m<sup>3</sup>. [16]

$$M = (35,7 \times 45 + 18,3 \times 45 + 9,4 \times 55 + 8,8 \times 45 + 8,2 \times 45 + 6,7 \times 45 + 3,9 \times 45 + 3,4 \times 60 + 3 \times 60 + 1,5 \times 45 + 1,1 \times 58) \div (35,7 + 18,3 + 9,4 + 8,8 + 8,2 + 6,7 + 3,9 + 3,4 + 3 + 1,5 + 1,1) = 47\%$$

Legenda:

M... Procentuální obsah metanu z odpadu v bioplynu (%)

Dále byl vypočten výnos bioplynu při našem množství odpadu. Výnos bioplynu činí 75066,09m<sup>3</sup>. Bioplyn se bude dále využívat pomocí kogenerace. Ta činí elektrickou účinnost 30-50 %. V součtu s tepelnou účinností je to však 80-90 %.

$$G_B = 59,99 \times 1251,31 = 75066,09 \text{ m}^3$$

Legenda:

G<sub>B</sub>... Výnos odpadu v případě našeho množství odpadu (m<sup>3</sup>)



$$Q_{BPS} = m_b \times H_B \times \eta_{BPS} = 75066,09 \times 16,5 \times 0,8 = 990872,39 \text{ MJ} = 990,87 \text{ GJ}$$

$$990,87 \text{ GJ} \times 0,278 = 275,46 \text{ MWh}$$

Legenda:

$Q_{BPS}$ ... Energetický výnos z BPS (MJ)

$H_B$ ... Výhřevnost BRKO (MJ/m<sup>3</sup>)

$\eta_{BPS}$ ... Účinnost BPS (%)

$m_b$ ... Množství bioplynu (m<sup>3</sup>)

V poslední řadě byl vypočten výnos energie při spodní hranici účinnosti. Výnos z BPS činí 275,46 MWh. Tato hodnota odpovídá ročnímu výnosu z 1251,31 tun BRKO při zpracování v BPS na bioplyn, který obsahuje 47 % metanu a má výhřevnost 16,5 MJ/m<sup>3</sup>, a následnému využití tohoto bioplynu v kogenerační jednotce.

### 12.1.2 Zpracování odpadu pomocí ZEVO

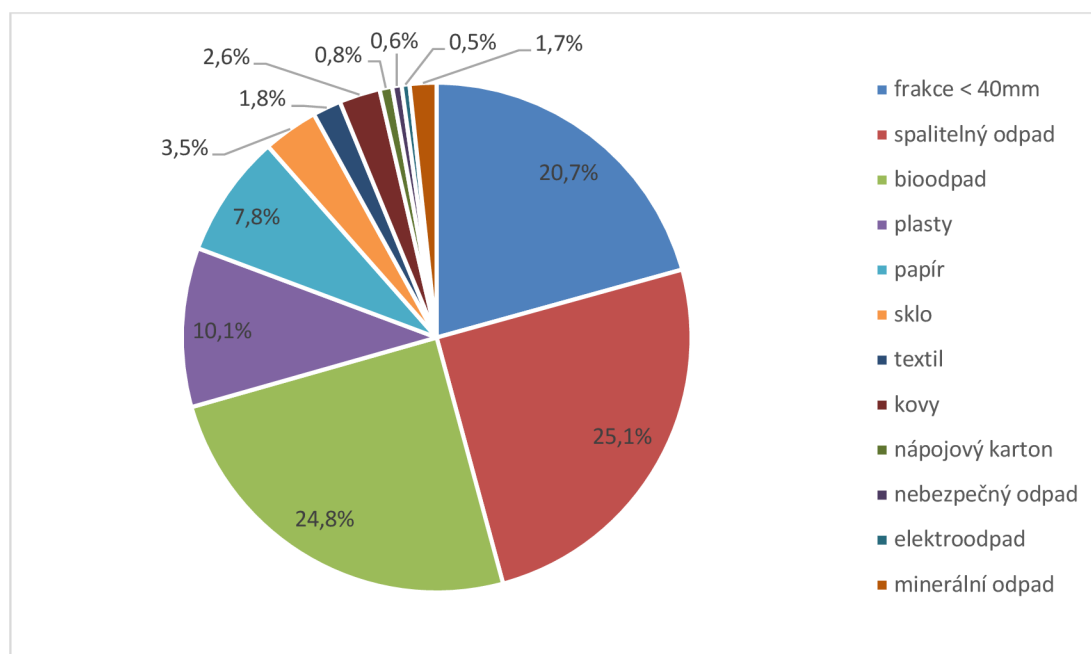
ZEVO je v současné době nejkomplexnější metoda, jak nakládat s nerecyklovatelným odpadem. Pokud by se podařilo najít správnou lokalitu pro výstavbu ZEVO s využitím tepla po celý rok, může mít ZEVO vysokou energetickou účinnost a minimální uhlíkovou stopu. Z tuhých zbytků je možná separace kovů a následná recyklace ve stavebnictví. Odpad bude zpracován v ZEVO v Brně z důvodu vzdálenosti. Jelikož je ZEVO projektováno na kombinovanou výrobu energie, standardní parametry páry budou 40 barů a 400°C. Ve městě Třebíč vzniklo 6 497,56 tun odpadu za rok, který bude zpracován v ZEVO. Kapacita ZEVO je mnohem vyšší, vzhledem k tomu, že se zde zpracovává odpad z celého okolí. Kapacita tedy činí asi 248 000 tun za rok. Výhřevnost SKO se pohybuje v rozmezí 7-14 MJ/kg.

Typ údaje	Hodnota
Účinnost ZEVO	85%
Počet kotlů	2
Kapacita	248 000 t/rok
Jmenovitý tlak předehřáté páry	40 bar
Jmenovitá teplota předehřáté páry	400 °C
Výroba energie	1 000 000 GJ/rok

Obrázek 4: Přibližné údaje Sako Brno [17]

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

Tabulka 4: Výhřevnosti složek SKO [18]



Obrázek 5: Přibližné složení SKO [19]

$$H_{SKO2} = (25,1 \times 12,4 + 20,7 \times 6 + 7,8 \times 15,7 + 10,1 \times 32,7 + 3,5 \times 0,2 + 0,8 \times 32,7 + 1,8 \times 18,3) \div (25,1 + 20,7 + 7,8 + 10,1 + 3,5 + 0,8 + 1,8) = 13,58 \text{ MJ/kg}$$

Při výše uvedeném složení SKO a výhřevnostech různých druhů odpadů byla vypočtena výhřevnost SKO, která činí 13,58 MJ/kg. Společnost Sako Brno uvádí výhřevnost SKO, který spaluje, při současném složení SKO ve výši 10 MJ/kg.

$$Q_{ZEVO10} = m_{SKO} \times H_{SKO1} \times \eta_{ZEVO} = 6\,497\,560 \times 10 \times 0,85 = 55\,229\,260 \text{ MJ} = 55\,229,260 \text{ GJ}$$

$$55\,229,260 \text{ GJ} \times 0,278 = 15\,353,73 \text{ MWh}$$

$$Q_{ZEVO13,58} = m_{SKO} \times H_{SKO2} \times \eta_{ZEVO} = 6\,497\,560 \times 13,58 \times 0,85 = 75\,001\,335,08 \text{ MJ} = 75\,001,34 \text{ GJ}$$

$$75\,001,34 \text{ GJ} \times 0,278 = 20\,850,37 \text{ MWh}$$

Legenda:

$Q_{ZEVO10}$ ... Energetický výnos ze ZEVO pro výhřevnost 10 MJ/kg (MJ)

$Q_{ZEVO13,58}$ ... Energetický výnos ze ZEVO pro výhřevnost 13,58 MJ/kg (MJ)

$H_{SKO1}$ ... Výhřevnost SKO uváděná SAKO Brno (MJ/kg)

$H_{SKO2}$ ... Výhřevnost SKO vypočítaná (MJ/kg)

$\eta_{ZEVO}$ ... Účinnost ZEVO v Brně (%)

$m_{SKO}$ ... Množství SKO v ZEVO (kg)

Pomocí výhřevnosti SKO a účinnosti ZEVO v Brně bylo vypočteno, kolik vyneše energie dané množstvím SKO za rok při zpracování pomocí ZEVO. Roční výnos ze ZEVO při vypočítané výhřevnosti 13,58 MJ/kg činí 20850,37 MWh. Pokud však je brána v potaz výhřevnost, kterou uvádí SAKO Brno, tak roční výnos energie ze ZEVO činí 15353,73 MWh. Tyto hodnoty odpovídají 6 497,56 tunám SKO, které byly zpracovány v ZEVO.

### 12.1.3 Výnos energie z odpadu

$$Q = Q_{BPS} + Q_{ZEVO13,58} = 275,46 + 20850,37 = 21125,83 \text{ MWh}$$

Legenda:

$Q$ ... Celkový energetický výnos z BPS a ZEVO (MWh)

Pokud je sečten roční výnos z obou metod, kterými bylo dané množství odpadu zpracováno, tak bude celkový roční výnos činit 21125,83 MWh.

### 12.1.4 Uhlíková stopa

Pro metody energetického zpracování se počítá uhlíková stopa, která vyjadřuje, jak moc metoda ovlivňuje klima. Pro zpracování SKO v ZEVO se uvádí průměrná uhlíková stopa, která má hodnotu 0,2 t CO<sub>2</sub>eq/t. [20] Tuto hodnotu uvádí studie z roku 2017. Pro BPS je průměrná uhlíková stopa o 0,55 t CO<sub>2</sub>eq/t vyšší. V našem případě činí 0,75 t CO<sub>2</sub>eq/t. Pomocí tohoto vzorce lze vypočítat uhlíkovou stopu.

$$E_{ZEVO+BPS} = (EF_{ZEVO1} \times Q_{mSKOZEVO}) + (EF_{BPS} \times Q_{mSKOBPS}) \\ = (0,2 \times 6497,56) + (0,55 \times 1251,31) = 1987,73 \text{ t CO}_2\text{eq}$$

Legenda:

$E_{ZEVO+BPS}$ ... Uhlíková stopa při využití určitého množství SKO, pro scénář 1 (t CO<sub>2</sub>eq)

$EF_{ZEVO1}$ ... Průměrná uhlíková stopa na tunu SKO v ZEVO uváděná studií (t CO<sub>2</sub>eq/t)

$EF_{BPS}$ ... Průměrná uhlíková stopa na tunu SKO v BPS (t CO<sub>2</sub>eq/t)

$Q_{mSKOBPS}$ ... Množství SKO zpracováno pomocí BPS (t)

$Q_{mSKOZEVO}$ ... Množství SKO zpracováno pomocí ZEVO (t)

ZEVO a BPS jsou brány, jako jedny z nejšetrnějších metod zpracování odpadu. Naproti tomu skládkování je mezi nejhoršími. Jeho průměrná uhlíková je asi o 1,88 2 t CO<sub>2</sub>eq/t. [12] V našem případě činí 2,08 2 t CO<sub>2</sub>eq/t.

$$E_{SK1} = EF_{SK1} \times (Q_{mSKOZEVO} + Q_{mSKOBPS}) = 2,08 \times 7748,87 = 16117,65 \text{ t CO}_2\text{eq}$$

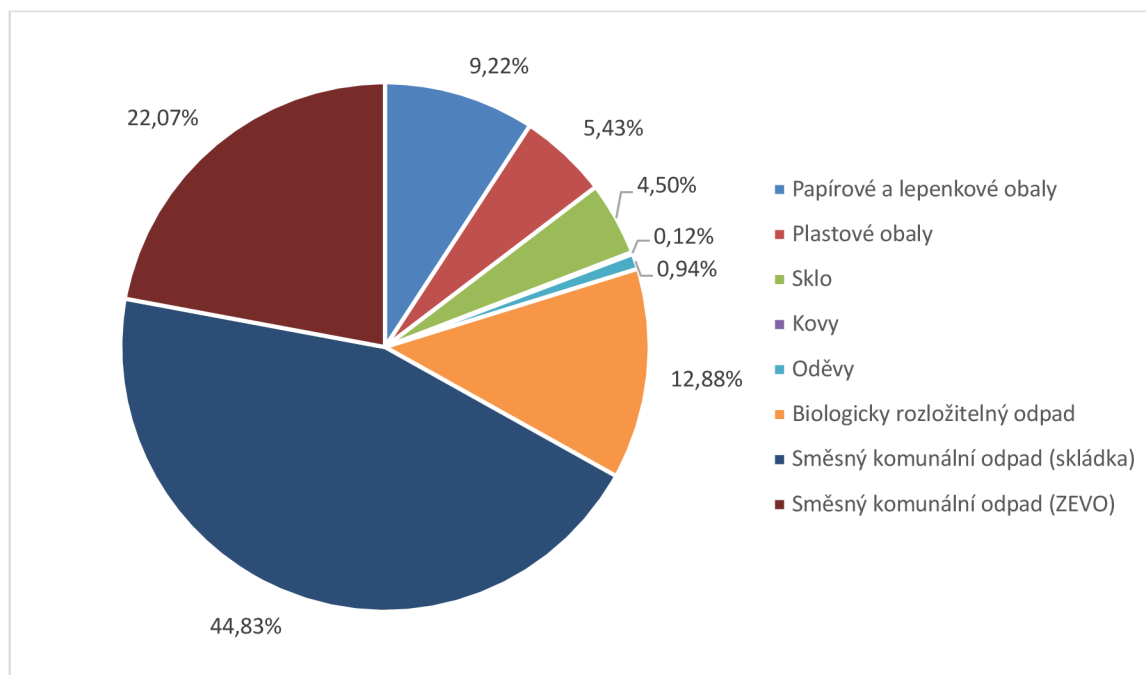
Legenda:

$E_{SK1}$ ... Uhlíková stopa skládkování při využití určitého množství SKO pro scénář 1 (t CO<sub>2</sub>eq)

$EF_{SK1}$ ... Průměrná uhlíková stopa na tunu SKO při skládkování (t CO<sub>2</sub>eq/t)

## 12.2 Scénář 2

Ve scénáři 2 bude zpracováván veškerý odpad z města Třebíče v ZEVO. ZEVO má vysokou účinnost a poskytuje velký energetický výnos. Pokud se nebude přihlížet k legislativě, která dává přednost recyklaci před energetickým využitím. Množství odpadu vzroste na 9712,77 tun. Účinnost ZEVO je 85 %. Výhřevnosti různých druhů odpadů jsou uvedeny v tabulce č. 5, na jejímž základě bude vypočtena celková výhřevnost odpadu. Pro SKO v tomto případě bude použita výhřevnost uváděná společností SAKO Brno, a to 10 MJ/kg. Pro BRKO se nejčastěji uvádí výhřevnost odpadu 12 MJ/kg, s níž se také bude počítat. Výhřevnost kovového odpadu je zhruba 0,7 MJ/kg.



Obrázek 6: Graf podle množství odpadů ve městě Třebíč pro rok 2022

$$\begin{aligned}
 H_o &= (44,83 \times 10 + 22,07 \times 10 + 9,22 \times 15,7 + 5,43 \times 32,7 + 4,5 \times 0,2 + 12,88 \times 12 \\
 &\quad + 0,94 \times 18,3 + 0,12 \times 0,7) \\
 &\div (44,83 + 22,07 + 9,22 + 5,43 + 4,5 + 12,88 + 0,94 + 0,12) \\
 &= 11,6 \text{ MJ/kg}
 \end{aligned}$$

Výhřevnost pro odpad v Třebíči vyšla 11,6 MJ/kg. Výpočet byl sestaven z váženého průměru s hodnotami procentuálního zastoupení daného odpadu a jeho výhřevnosti.

$$\begin{aligned}
 Q_{ZEVOS2} &= m_o \times H_o \times \eta_{ZEVO} = 9712770 \times 11,6 \times 0,85 = 95767912,2 = 95767,91 \text{ GJ} \\
 &95767,91 \text{ GJ} \times 0,278 = 26623,48 \text{ MWh}
 \end{aligned}$$

Legenda:

$Q_{ZEVOS2}$ ... Energetický výnos z ZEVO pro výhřevnost 11,6 MJ/kg (MJ)

$H_o$ ... Výhřevnost komunálního odpadu vypočítaná (MJ/kg)

$\eta_{ZEVO}$ ... Účinnost ZEVO v Brně (%)

$m_o$ ... Množství zpracovávaného odpadu v scénáři 2 (kg)

Energetický výnos byl spočítán pomocí množství odpadu v Třebíči, vypočítané výhřevnosti a účinnosti ZEVO. Následně byl převeden na MWh a vyšel 26623,48 MWh. Tento energetický výnos byl vypočítán pro veškerý komunální odpad vyprodukovaný v Třebíči. Celkově bylo naváženo 9712,77 tun komunálního odpadu, jehož vypočítaná výhřevnost činí 11,6 MJ/kg.

Pro zpracování komunálního odpadu v ZEVO se počítá s průměrnou uhlíkovou stopou, která má hodnotu 0,24 t CO<sub>2</sub>eq/t. [21] Tuto hodnotu uvádí studie z roku 2019.

$$E_{ZEVO2} = EF_{ZEVO2} \times Q_{mKO} = 0,24 \times 9712,77 = 2331,07 \text{ t CO}_2\text{eq}$$

Legenda:

E<sub>2</sub>... Uhlíková stopa ZEVO při využití určitého množství komunálního odpadu pro scénář 2 (t CO<sub>2</sub>eq)

EF<sub>2</sub>... Průměrná uhlíková stopa na tunu komunálního odpadu v ZEVO uváděná studií (t CO<sub>2</sub>eq/t)

Q<sub>mKO</sub>... Množství komunálního odpadu (t)

Jako ve scénáři 1 bude určena uhlíková stopa skládkování při využití stejného množství odpadu, jako bylo využito ve scénáři 2 pomocí ZEVO. Jeho průměrná uhlíková je asi o 1,88 2 t CO<sub>2</sub>eq/t. [12] V našem případě činí 2,12 2 t CO<sub>2</sub>eq/t.

$$E_{SK2} = EF_{SK2} \times Q_{mKO} = 2,12 \times 9712,77 = 20591,07 \text{ t CO}_2\text{eq}$$

Legenda:

E<sub>SK2</sub>... Uhlíková stopa skládkování při využití určitého množství komunálního odpadu pro scénář 2 (t CO<sub>2</sub>eq)

EF<sub>SK2</sub>... Průměrná uhlíková stopa na tunu komunálního odpadu při skládkování (t CO<sub>2</sub>eq/t)

## 12.3 Porovnání hodnot

Pro porovnání byl třeba vypočítat energetický výnos z ZEVO v Třebíči v současné době. Třebíč zpracovává v ZEVO 2 143,57 tun odpadu. Účinnost ZEVO je 85 %. A výhřevnost odpadu je 10 MJ/kg. Výhřevnost a účinnost jsou brány z SAKO Brno.

$$Q_{Třebíč} = m_{Třebíč} \times H_{Třebíč} \times \eta_{ZEVO} = 2143570 \times 10 \times 0,85 = 18220345 = 18220,35 \text{ GJ}$$

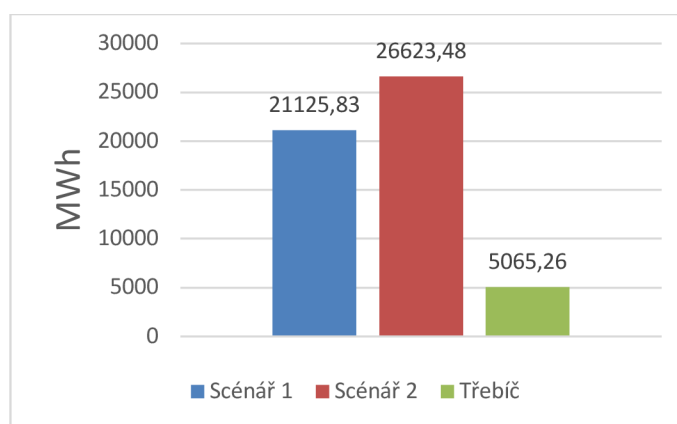
$$18220,35 \text{ GJ} \times 0,278 = 5065,26 \text{ MWh}$$

Legenda:

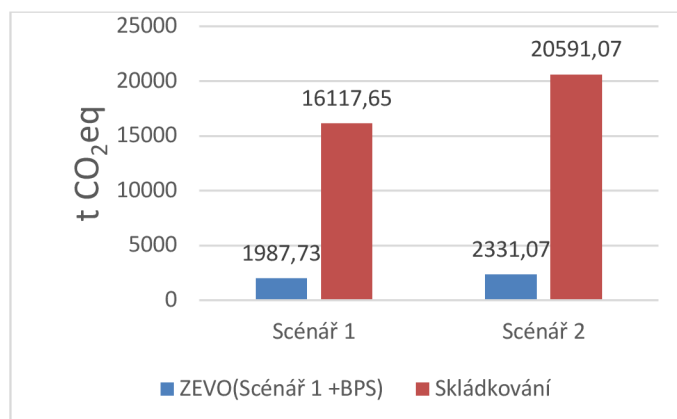
$Q_{Třebíč}$ ... Energetický výnos z ZEVO v Třebíči (MJ)

$H_{Třebíč}$ ... Výhřevnost komunálního odpadu pro Třebíč (MJ/kg)

$m_{Třebíč}$ ... Množství zpracovávaného odpadu v Třebíči (kg)



Obrázek 7: Graf porovnání ročních energetických výnosů



Obrázek 8: Graf porovnání uhlíkové stopy ZEVO vs. Skládkování

Jak je možné vidět z obrázku 8, tak ZEVO splňuje předpoklad, že je jednou z metod, která má nejmenší uhlíkovou stopu. Naopak skládkování má stopu výrazně vyšší. Tudíž v rámci emisí byly zvolené metody určeny správně.

V grafu, jenž se nachází výš, je porovnání ročního energetického výnosu dvou stanovených scénářů a energetického výnosu v Třebíči v současné době. Ve scénáři 1 bylo zpracováno menší množství odpadu a dvěma metodami. Naopak ve scénáři 2 bylo zpracováno o 1963,9 tun odpadu více a pouze metodou ZEVO. Scénář 2 má tedy větší roční výnos, ale za cenu většího množství odpadu a za vyšší uhlíkovou stopu, kterou je možno vidět na obrázku 8. Dále je možno vidět, jak v současné době Třebíč zaostává za oběma scénáři.



## Závěr

Cílem této práce bylo přiblížit jaké druhy odpadů existují a jaká je jejich specifikace. Další záměr byl přiblížit metody zpracování odpadů, jejich výhody a nevýhody, popis procesu a to, jaké odpady se jimi dají zpracovávat. Následně na základě reálných hodnot produkce odpadu ve městě Třebíč a také na základě materiálů byly určeny správné metody pro maximalizaci energetického výnosu a minimalizaci emisí.

V teoretické části bylo odůvodněno, proč by mělo skládkování zaniknout a odpad by se měl využívat jinými způsoby, nejlépe však předcházet vzniku odpadů úplně.

V praktické části bylo pracováno se dvěma scénáři. Pro scénář 1 byly vybrány 2 metody ze 4 možností na energetické zpracování odpadů na základě výhod a nevýhod daných metod. Tyto 2 metody byly následně použity pro množství vynaloženého odpadu v Třebíči k energetickému využití. Odpad nebyl energeticky využit všechen, počítalo se také s recyklací, která se v hierarchii odpadového hospodářství umísťuje nad energetickým využitím. Byl tedy využíván odpad SKO pomocí ZEVO a BRKO pomocí BPS. U každé metody byl vypočítán energetický výnos a následně sečten dohromady. Energetický výnos tak činí pro dané množství odpadu 21125,83 MWh. Následně byla vypočítána uhlíková stopa, která vyšla 1987,73 t CO<sub>2</sub>eq. Dále byl počítán scénář 2, kde byl využit všechen komunální odpad vyprodukovaný v Třebíči pouze pomocí ZEVO. Energetický výnos tohoto scénáře vyšel na 26623,48 MWh. Následně byla spočítána i uhlíková stopa, která dosahuje hodnoty 2331,07 t CO<sub>2</sub>eq. Scénář 2 měl tedy větší výnos, ale i vyšší uhlíkovou stopu. Není známo, zda by legislativa umožnila zpracování veškerého odpadu touto metodou a upřednostnila ji před recyklací. Jak je možno vidět z grafu srovnání uhlíkových stop mezi skládkováním a ZEVO, tak je jasné, že energetické zpracování by mělo být upřednostňováno před skládkováním, které by mělo postupně úplně zaniknout.

## Seznam Zdrojů

- [1] *Odpady* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://old.vscht.cz/uchop/udalosti/skripta/1ZOZP/odpady/odpady1.htm>
- [2] ČESKÁ REPUBLIKA. *Zákon č. 541/2020 Sb.: Zákon o odpadech*. In: . 2020. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541/zneni-20220201>
- [3] PTÁČEK, Petr. *NAOD2* [online]. 2016 [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [https://is.muni.cz/el/1441/podzim2016/UPV\\_0045/um/NAOD2.pdf](https://is.muni.cz/el/1441/podzim2016/UPV_0045/um/NAOD2.pdf). Masarykova univerzita v Brně.
- [4] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 8/2021 Sb.: Vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů)*. In: . 2021. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-8#p3>
- [5] *NEBEZPEČNÉ ODPADY* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/nebezpecny-odpad>
- [6] ČESKÁ REPUBLIKA. *Vyhláška č. 376/2001 Sb.: Vyhláška Ministerstva životního prostředí a Ministerstva zdravotnictví o hodnocení nebezpečných vlastností odpadů*. In: . 2001. Dostupné také z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-376>
- [7] *Komunální odpad* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.trideniodpadu.cz/komunalni-odpad>
- [8] STOIBER, Helga, Gerald KURZ, Ladislav HALÁSZ, Ján CHOVANEC a Viera ŠIMKOVICOVÁ. *BIELA KNIHA ENERGETICKÉHO ZHODNOCOVANIA ODPADOV V SLOVENSKEJ REPUBLIKE* [online]. In: . [cit. 2023-05-09]. ISBN 978-80-570-2270-1. Dostupné z: <https://www.ewia.sk/wp-content/uploads/2021/03/biela-kniha.pdf>
- [9] GRYCOVÁ, Barbora, Jiří RUSÍN, Kateřina CHAMRÁDOVÁ, Michal PREKOP, Milan IPOLT a Radek HOŘEŇOVSKÝ. *Energie z odpadů* [online]. In: . [cit. 2023-05-09]. ISBN 978-80-907944-0-5. Dostupné z: <https://wasten.cz/wp-content/uploads/2018/03/EnergieZOpadu.pdf>
- [10] *Co je ZEVO* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo>
- [11] *Intergovernmental Panel on Climate change* [online]. [cit. 2023-05-18].

- [12] JESWANI, Harish, Rachele SMITH a Adisa AZAPAGIC. Energy from waste: carbon footprint of incineration and landfill biogas in the UK. *The International Journal of Life Cycle Assessment* [online]. 2013, **18**(1), 218-229 [cit. 2023-05-18]. ISSN 0948-3349. Dostupné z: doi:10.1007/s11367-012-0441-8
- [13] *Informace o odpadovém hospodářství města Třebíč za rok 2022* [online]. In: . [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [https://www.trebic.cz/assets/File.ashx?id\\_org=16973&id\\_dokumenty=58723](https://www.trebic.cz/assets/File.ashx?id_org=16973&id_dokumenty=58723)
- [14] KRATOCHVÍLOVÁ, Zuzana, Jan HABART, Václav SLADKÝ, František JELÍNEK, Tomáš ROSENBERG, Vladimír STUPAVSKÝ a Tomáš DVOŘÁČEK. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu* [online]. In: . [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce\\_vyrobou\\_vyuzitim\\_bioplynu\\_2.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobou_vyuzitim_bioplynu_2.pdf)
- [15] ALTMANN, Vlastimil. *Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady* [online]. [cit. 2023-05-09]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>
- [16] Vlastnosti BP. In: *Bioplyn* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_vlastnosti.htm](http://www.bioplyn.cz/at_vlastnosti.htm)
- [17] *SAKO Brno* [online]. In: . [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/>
- [18] ŠULC, Petr. *Dotaz: Údaj o výhřevnosti odpadů* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: [https://www.enviprofi.cz/33/dotaz-udaj-o-vyhrevnosti-odpadu-uniqueidgOke4NvrWuMoPiYO6gnMIBH0ZwYemIWoXVL2lSqZ5YU/?uri\\_view\\_type=4](https://www.enviprofi.cz/33/dotaz-udaj-o-vyhrevnosti-odpadu-uniqueidgOke4NvrWuMoPiYO6gnMIBH0ZwYemIWoXVL2lSqZ5YU/?uri_view_type=4)
- [19] *Rozbory skladby směsného komunálního odpadu z obcí v roce 2020* [online]. [cit. 2023-05-09]. Dostupné z: <https://www.ekokom.cz/rozbory-skladby-smesneho-komunalniho-odpadu-z-obci-v-roce-2020/>
- [20] KUČERA, S., M. LITSCHMANNOVÁ, J. BRADNA a J. PALEČEK. *Hodnocení uhlíkové stopy zařízení pro energetické využití odpadu*. 2017. TAČR projekt TH04030031.
- [21] VESELÝ, V., K. TUREČKOVÁ a J. LADOMERSKÝ. Carbon footprint of energy recovery from municipal solid waste in the Czech Republic. *Energy*. 2017, (138), 690-698.

## Seznam použitých zkratk

TDO- Tuhý domovní odpad  
 BRKO- Biologicky rozložitelný odpad  
 EVO- Energetické využití odpadu  
 ZEVO- Zařízení pro energetické využití odpadu  
 ČOV- Čistírna odpadních vod  
 BPS- Bioplynová stanice  
 SKO- Směsný komunální odpad

## Seznam použitých obrázků

Obrázek 1: Blokové schéma ZEVO [8] .....	23
Obrázek 2: Schéma energetických toků v ZEVO [8].....	24
Obrázek 3: Přibližné složení BRKO [15].....	31
Obrázek 4: Přibližné údaje Sako Brno [17] .....	33
Obrázek 5: Přibližné složení SKO [19].....	34
Obrázek 6: Graf podle množství odpadů ve městě Třebíč pro rok 2022 .....	37
Obrázek 7: Graf porovnání ročních energetických výnosů.....	39
Obrázek 8: Graf porovnání uhlíkové stopy ZEVO vs. Skládování .....	39

## Seznam použitých tabulek

Tabulka 2: Přehled výhod a nevýhod metod pro zpracování komunálního odpadu .....	29
Tabulka 3: Množství odpadů pro město Třebíč [13].....	30
Tabulka 4: Výnosy z BRKO z procesu anaerobní digesce [14].....	31
Tabulka 5: Výchřevnosti složek SKO [18].....	34