

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

**Katedra materiálů a technologií**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Likvidace odpadů v městě Plzni – optimalizace dopravy**

**Alžběta Jandačová**

**Plzeň 2022**

## ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta elektrotechnická  
Akademický rok: 2021/2022

# ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Alžběta JANDAČOVÁ**  
Osobní číslo: **E19N0005P**  
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**  
Studijní obor: **Komerční elektrotechnika**  
Téma práce: **Likvidace odpadů v městě Plzni – optimalizace dopravy**  
Zadávající katedra: **Katedra materiálů a technologií**

### Zásady pro vypracování

1. Analyzujte druhy zpracování odpadů z hlediska hierarchie nakládání s odpady dle EU.
2. Porovnejte příklady spaloven v ČR a v Evropě.
3. Analyzujte plán odpadového hospodářství v Plzeňském kraji s přístupem optimalizace dopravy.
4. Zpracujte příklad energetické bilance dopravy z města Plzeň do spalovny Chotíkov.

Rozsah diplomové práce: **40 – 60**  
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**  
Forma zpracování diplomové práce: **elektronická**

Seznam doporučené literatury:


1. Juraj Kizlink, Kniha: Odpady – sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa
2. Hyžík, J., publikace [www.eiconsult.eu](http://www.eiconsult.eu)
3. Firemní podklady Spalovna Chotíkov a Teplárna Plzeň

Vedoucí diplomové práce: **Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr. h. c.**  
Katedra elektroenergetiky

Datum zadání diplomové práce: **8. října 2021**  
Termín odevzdání diplomové práce: **26. května 2022**



**Prof. Ing. Zdeněk Peroutka, Ph.D.**  
děkan



**Doc. Ing. Aleš Hamáček, Ph.D.**  
vedoucí katedry

## **Abstrakt**

Diplomová práce je zaměřena na problematiku s odpady, konkrétně na svoz odpadů z města Plzeň do ZEVO Plzeň v obci Chotíkov a na energetickou bilanci těchto svozů. Práce je rozdělena na 4 na sebe navazující části. První část je úvodem do celé problematiky nakládání s odpady, je zde podrobně popsána hierarchie nakládání s odpady, oběhové hospodářství a konec této části je věnován nakládání s odpady v rámci celé EU. Druhá část seznamuje čtenáře se základními technologií ZEVO, jsou zde uvedeny a srovnány příklady ZEVO v ČR a v Evropě. Třetí část vychází z Plánu odpadového hospodářství Plzeňského kraje, je zde uvedeno plnění cílů POH a je zaměřena zejména na optimalizaci svozu odpadu v Plzeňském kraji. Ve čtvrté praktické části je vypočtena energetická bilance nákladního vozidla pro svoz odpadu se spalovacím motorem a energetická bilance navrhovaného elektrického nákladního vozidla. Dále se tato část věnuje rentabilitě elektrických nákladních vozidel a výpočtu uhlíkové stopy různých typů vozidel pro svoz odpadu. Práce je založena na reálných údajích.

## **Klíčová slova**

Odpad, hierarchie nakládání s odpady, oběhové hospodářství, odpadové hospodářství, plán odpadového hospodářství, zařízení pro energetické využití odpadů, energetické využití odpadů, ZEVO Plzeň, energetická bilance vozidel na svoz odpadu, optimalizace dopravy, elektrická nákladní vozidla, ekonomická návratnost elektrických nákladních vozidel, uhlíková stopa.



## **Abstract**

Diploma thesis is focused on the waste issues, specifically on the collection of waste from the city of Pilsen to ZEVO Plzeň located in the village nearby, called Chotíkov and on the energy balance of these collections. The thesis itself is divided into 4 consecutive parts. The first part is an introduction to the whole issue of waste management, it describes in detail the hierarchy of waste management, circular economy and the end of this part is devoted to waste management throughout the entire EU. The second part acquaints the reader with the basic technology of ZEVO, examples of ZEVO's in the Czech Republic and in Europe, those examples are also presented and compared. The third part is based on the Waste Management Plan of the Pilsen Region, the fulfilment of its objectives and mainly it is also focused on the optimization of waste collection in the Pilsen Region. In the fourth, practical part, the energy balance of a truck for waste collection with an internal combustion engine and the energy balance of the proposed electric truck are calculated. Furthermore, this part deals with the profitability of electric trucks and the calculation of the carbon footprint of different types of waste collection vehicles. The work is based on real data.

## **Key words**

Waste, waste management hierarchy, circular management, waste management, waste management plan, waste energy recovery facilities, waste energy recovery, ZEVO Plzeň, energy balance of waste garbage trucks, transport optimization, electric trucks, economic return of electric trucks, carbon track.

## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software použitý při řešení této diplomové práce je legální.

.....  
podpis

V Plzni dne 26.5.2022

Alžběta Jandačová

## **Poděkování**

Tímto bych ráda poděkovala vedoucímu diplomové práce prof. Ing. Zdeňku Vostrackému, DrSc. Dr.h.c. a konzultantovi Ing. Václavu Mužíkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce. Dále bych chtěla poděkovat technickému náměstkovi společnosti, Ing. Janu Šneberkovi, za rady a zprostředkování firemních podkladů společnosti Čistá Plzeň, s.r.o. V poslední řadě bych chtěla poděkovat celé rodině za psychickou podporu po celou dobu studia.

## Obsah

ÚVOD.....	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	12
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	13
<b>1 ANALÝZA DRUHŮ ZPRACOVÁNÍ ODPADŮ Z HLEDISKA HIERARCHIE NAKLÁDÁNÍ S ODPADY DLE EU .....</b>	<b>14</b>
1.1 HIERARCHIE ZPŮSOBŮ NAKLÁDÁNÍ S ODPADY.....	14
1.1.1 Předcházení vzniku odpadů (prevence).....	15
1.1.2 Příprava odpadů k opětovnému použití.....	16
1.1.3 Recyklace nebo kompostování odpadů.....	16
1.1.4 Jiné využití odpadů – zejména energetické.....	17
1.1.5 Odstranění odpadů (skládání).....	18
1.2 OBĚHOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ.....	19
1.2.1 Definice oběhového hospodářství.....	20
1.2.2 Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou.....	21
1.3 STAV NAKLÁDÁNÍ S ODPADY V EU.....	21
1.4 OBECNÉ BLOKOVÉ SCHÉMA PRODUKCE A NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍMI ODPADY.....	23
<b>2 POROVNÁNÍ PŘÍKLADŮ SPALOVEN V ČR A EVROPĚ .....</b>	<b>24</b>
2.1 POPIS PROCESU ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ ODPADŮ.....	24
2.1.1 Základní technologie.....	24
2.1.2 Výhody vs. nevýhody.....	27
2.2 ZEVO V ČR.....	30
2.2.1 Příklady a porovnání ZEVO v ČR.....	30
2.3 ZEVO V EVROPĚ.....	34
2.3.1 Německo – Schwandorf (Zweckverband Müllverwertung Schwandorf).....	34
2.3.2 Rakousko – Vídeň (Spittelau).....	35
2.3.3 Dánsko – Kodaň (Amager Bakke).....	37
2.4 SROVNÁNÍ ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ TKO V ZEMÍCH PO CELÉM SVĚTĚ.....	38
<b>3 ANALÝZA PLÁNU ODPADOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ V PLZEŇSKÉM KRAJI S PŘÍSTUPEM OPTIMALIZACE DOPRAVY.....</b>	<b>39</b>
3.1 CHARAKTERISTIKA PLZEŇSKÉHO KRAJE.....	39
3.2 PRODUKCE ODPADŮ V PLZEŇSKÉM KRAJI.....	40
3.2.1 Plnění cílů POH Plzeňského kraje.....	41
3.3 ANALÝZA ODPADŮ V PLZEŇSKÉM KRAJI.....	42
3.3.1 Skládky a spalovny.....	42
3.3.2 Odpady vhodné pro energetické využití.....	44
3.3.3 Zhodnocení analýzy rozboru domovního odpadu v Plzeňském kraje.....	45
3.4 SVOZ ODPADU A NÁVRH ROZDĚLENÍ ÚZEMÍ PLZEŇSKÉHO KRAJE PODLE UMÍSTĚNÍ ODPADU.....	47
3.4.1 Předpokládaná bilance toků odpadů do ZEVO Plzeň a návrh rozdělení území Plzeňského kraje podle rozmístění skládek a překladišť.....	47
3.4.2 Návrh přímého svozu SKO a objemného odpadu do ZEVO Plzeň.....	50
<b>4 PŘÍKLAD ENERGETICKÉ BILANCE DOPRAVY Z MĚSTA PLZEŇ DO SPALOVNY CHOTÍKOV .....</b>	<b>51</b>
4.1 POPIS AKTUÁLNÍHO STAVU ZEVO PLZEŇ.....	51
4.2 POPIS A ZÁKLADNÍ TECHNOLOGIE ELEKTRICKÝCH NÁKLADNÍCH VOZIDEL.....	53
4.3 ENERGETICKÁ BILANCE NÁKLADNÍCH VOZIDEL SE SPALOVACÍM MOTOREM A ELEKTRICKÝCH NÁKLADNÍCH VOZIDEL.....	54

---

4.3.1	<i>Energetická bilance vozidla odpadu implementovaná na nejvhodnější svozovou trasu</i> .....	55
4.4	RENTABILITA ELEKTRICKÝCH NÁKLADNÍCH VOZIDEL .....	62
4.5	VÝPOČET UHLÍKOVÉ STOPY .....	68
4.5.1	<i>Výpočet emisí CO<sub>2</sub> vznikajících při samotném spalování paliva</i> .....	69
4.5.2	<i>Výpočet emisí CO<sub>2</sub> u nákladních vozidel se spalovacím motorem</i> .....	70
4.5.3	<i>Výpočet emisí CO<sub>2</sub> u elektrických nákladních vozidel</i> .....	72
4.5.4	<i>Srovnání nákladních vozidel se spalovacím motorem a elektrických nákladních vozidel</i> .....	73
4.6	EFEKTIVITA LIKVIDACE ODPADŮ V ZEVO PLZEŇ .....	74
<b>ZÁVĚR</b> .....		<b>75</b>
<b>SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ</b> .....		<b>77</b>

## Úvod

Nakládání s odpady je v současné době globální, velmi aktuální problém. Společnost je nucena aktivně se zabývat novými a ekologičtějšími technologiemi a způsoby nakládání s odpady, efektivně řešit vzniklé problémy z důvodu velkého množství odpadů na celém světě a správně reagovat na současnou, rychle se měnící situaci. Dodržování hierarchie nakládání s odpady je velmi důležité, ale dochází k němu pouze ve vyspělých zemích. Ekologické, respektive energetické využití odpadu pomocí zařízení na energetické využití odpadů je v dnešní době přítomno pouze v rozvinutých zemích.

Díky modernímu životnímu stylu se neustále objevují nové vědecké disciplíny a vědní obory, které zmiňovanou problematiku týkající se energetického využití odpadů, celkového zpracování a likvidaci odpadů usilovně řeší. Podle těchto subjektů může odpad nahradit přírodní neobnovitelné zdroje a fosilní paliva, což částečně vede k vyšší a udržitelnější úrovni životního prostředí. Energetické využití odpadů je jednou z nejlepších možností likvidace odpadů. Tímto způsobem lze navíc získat poměrně velké množství jak elektrické, tak tepelné energie. Zejména v současné době, kdy světem otřásá energetická krize vyvolaná válkou na Ukrajině je výroba každé kWh elektrické energie a GJ tepla velkým přínosem pro ekonomický rozvoj každé země.

Téma „Likvidace odpadů v městě Plzni – optimalizace dopravy“ jsem si jako téma diplomové práce vybrala zejména z důvodu, že se ve volném čase věnuji aktivitám, které se ekologií a životním prostředím zabývají a v budoucnu bych se problematice chtěla věnovat i nadále. Zároveň tato práce navazuje na moji bakalářskou práci, kterou bych chtěla tímto rozšířit o důležité body a o praktickou část, týkající se optimalizace dopravy odpadů z města Plzeň do zařízení pro energetické využití odpadů ZEVO Plzeň v obci Chotíkov s využitím elektrických nákladních vozidel a o energetickou i ekonomickou bilanci. Práce je rozdělena do čtyř základních částí a všechny části se zabývají problematikou řešící nakládání s odpady.

První část, teoretická část, analyzuje druhy nakládání s odpady z pohledu hierarchie a systému nakládání s odpady dle EU a věnuje se popisu a základním definicím oběhového hospodářství. V závěru této části je porovnáno energetické využití odpadů v rámci celé Evropské unie. Tato část by měla sloužit k seznámení čtenáře s celkovou problematikou diplomové práce a je založena především na platné legislativě, odborných publikacích a textech.

Druhá část se zabývá procesem energetického využití odpadů, popisuje základní technologii zařízení pro tento proces určených, uvádí výhody i nevýhody těchto zařízení a srovnává 4 již plně fungující zařízení v ČR. V závěru této části jsou uvedeny příklady třech ZEVO ze zahraničí, které jsou z mého pohledu zajímavé.

Třetí část představuje konkrétní Plán odpadového hospodářství Plzeňského kraje 2016-2026. Údaje a data v této části vycházejí zejména z Plánu odpadového hospodářství Plzeňského kraje a z portálu Ministerstva životního prostředí. Celá část se zaměřuje na produkci odpadů, nakládání s odpady v Plzeňském kraji a na optimalizaci dopravy, respektive optimalizaci svozu odpadu.

V poslední praktické části je znázorněn příklad energetické bilance dopravy jedné konkrétní trasy z města Plzeň do obce Chotíkov, kde dochází k energetickému využití odpadů. Tato bilance je zároveň implementována na alternativní řešení, na model elektrického nákladního vozidla. Praktická část se zabývá nejen energetickou, ale také ekonomickou bilancí a věnuje pozornost rentabilitě elektrických nákladních vozidel. Dále se tato část věnuje výpočtu emisí CO<sub>2</sub>, na základě kterého se porovnává uhlíková stopa nákladních vozidel se spalovacím motorem a uhlíková stopa elektrických nákladních vozidel. Na závěr je zde uveden příklad efektivity likvidace odpadů v ZEVO Plzeň s využitím klasického nákladního vozidla s dieselovým motorem i elektrického nákladního vozidla za jednu uvedenou, analyzovanou trasu.

## Seznam symbolů a zkratek

$E$ .....	Energie ( $J$ ; $Ws$ )
$E_J$ .....	Energie jízdy ( $J$ ; $Ws$ )
$E_Z$ .....	Energie zdvihače ( $J$ ; $Ws$ )
$E_L$ .....	Energie lisu ( $J$ ; $Ws$ )
$E_R$ .....	Energie rekuperace ( $J$ ; $Ws$ )
$E_{-}$ .....	Energie dostupná k rekuperaci ( $J$ ; $Ws$ )
$F$ .....	Síla ( $N$ )
$H$ .....	Výhřevnost ( $J/kg$ )
$m$ .....	Hmotnost ( $kg$ )
$P$ .....	Výkon ( $W$ )
$s$ .....	Dráha ( $m$ )
$t$ .....	Čas ( $s$ )
$V$ .....	Objem ( $m^3$ )
$\eta_{em}$ .....	Účinnost elektrického motoru (%)
$\eta_R$ .....	Účinnost rekuperace (%)
$\rho$ .....	Hustota látky ( $kg/m^3$ )
BRKO.....	Biologicko-rozložitelný komunální odpad
EEA.....	Evropská agentura pro životní prostředí
EIA.....	Posuzování vlivů na životní prostředí
EU.....	Evropská unie
LCA.....	Posuzování životního cyklu („Life Cycle Assessment“)
LPG.....	Zkapalněný ropný plyn
POH.....	Plán odpadového hospodářství
OO.....	Ostatní odpad
RRA.....	Regionální rozvojová agentura
SIMP.....	Správa infrastruktury města Plzně
SKO.....	Směsný komunální odpad
TKO.....	Tuhý komunální odpad
TOC.....	Tuhý organický uhlík
USD.....	Americký dolar
ZEVO.....	Zařízení pro energetické využití odpadů



## Seznam obrázků

<i>OBR. 1.1: HIERARCHIE ZPŮSOBŮ NAKLÁDÁNÍ S ODPADY [2]</i> .....	15
<i>OBR. 1.2: SCHÉMA OBĚHOVÉHO HOSPODÁŘSTVÍ [5]</i> .....	19
<i>OBR. 1.3: GRAF MÍRY SKLÁDKOVÁNÍ, ENERGETICKÉHO VYUŽITÍ ODPADU A RECYKLACE V EVROPĚ [7]</i> .....	22
<i>OBR. 1.4: OBECNÉ BLOKOVÉ SCHÉMA PRODUKCE A NAKLÁDÁNÍ S KOMUNÁLNÍMI ODPADY [19]</i> .....	23
<i>OBR. 2.1: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ZEVO [8]</i> .....	26
<i>OBR. 2.2: TECHNOLOGICKÉ SCHÉMA ZEVO PLZEŇ [8]</i> .....	26
<i>OBR. 2.3: KONTROLOVANÝ PROCES SPALOVÁNÍ [25]</i> .....	27
<i>OBR. 2.4: HISTORICKÝ VÝVOJ ROČNÍ KAPACITY ZEVO V ČR A PŘEDPOKLÁDANÝ VÝVOJ DO ROKU 2024 PODLE POH ČR [10]</i> .....	31
<i>OBR. 2.5: POLOHA ZEVO V ČR [3]</i> .....	32
<i>OBR. 2.6: ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ V BAVORSKÉM SCHWANDORFU [14]</i> .....	35
<i>OBR. 2.7: ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ SPITTELAU VE VÍDNI [15]</i> .....	36
<i>OBR. 2.8: ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ ODPADŮ AMAGER BAKKE V KODANI [16]</i> .....	37
<i>OBR. 3.1: MAPA SKLÁDEK A SPALOVEN NA ÚZEMÍ PLZEŇSKÉHO KRAJE [19]</i> .....	43
<i>OBR. 3.2: ZÁVISLOST HMOTNOSTNÍHO PODÍLU NA DRUHU ZÁSTAVBY A NA ROČNÍM OBDOBÍ [20]</i> ....	44
<i>OBR. 3.3: NÁVRH SYSTÉMU NAKLÁDÁNÍ SE SKO Z OBCÍ A MĚST V PLZEŇSKÉM KRAJI [25]</i> .....	49
<i>OBR. 4.1: FINÁLNÍ PODOBA ZEVO PLZEŇ [3]</i> .....	52
<i>OBR. 4.2: KONSTRUKCE ELEKTRICKÉHO NÁKLADNÍHO VOZIDLA [35]</i> .....	53
<i>OBR. 4.3: ZOBRAZENÍ TRASY SLOVANY – CHOTÍKOV [35]</i> .....	56
<i>OBR. 4.4: VOZIDLO NA SVOZ ODPADU S DIESELOVÝM MOTOREM MERCEDES-BENZ ANTOS [26]</i> .....	57
<i>OBR. 4.5: ELEKTRICKÉ NÁKLADNÍ VOZIDLO PRO SVOZ ODPADU MAN [42]</i> .....	64
<i>OBR. 4.6: ČASTO VYUŽÍVANÝ SYMBOL PRO UHLÍKOVOU STOPU [39]</i> .....	68
<i>OBR. 4.7: TANKOVÁNÍ VS. NABÍJENÍ [40]</i> .....	73

# 1 Analýza druhů zpracování odpadů z hlediska hierarchie nakládání s odpady dle EU

## Pojem odpad

V zákoně o odpadech č. 541/2020 Sb., s účinností od 1.1.2021, je odpad definován jako *každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit*. Ke zbavování odpadů dochází ve chvíli, kdy osoba movitou věc předá k využití, k odstranění, nebo ji předá osobě, která má oprávnění ke sběru nebo výkupu odpadů. Za zbavování odpadů se považuje i okamžik, kdy odstraní movitou věc osoba sama. Tato osoba má povinnost zbavit se věci, jestliže se věc již nevyužívá k původnímu účelu, či ohrožuje životní prostředí. [1]

## 1.1 Hierarchie způsobů nakládání s odpady

Hierarchie způsobů nakládání s odpady řadí způsoby nakládání s odpady od nejlepšího způsobu k nejhoršímu s ohledem na životní cyklus materiálu. Životní cyklus materiálu je environmentální hodnocení všech fází života produktu, od těžby surovin, zpracování, výroby, přes distribuci, používání, opravu nebo údržbu, až k likvidaci nebo recyklaci.

Hierarchie nakládání s odpady určuje posloupnost, podle které by mělo dojít k celkovému zániku vzniku odpadu. Ve své nejjednodušší podobě dává hierarchie odpadu nejvyšší prioritu předcházení vzniku odpadů. Ve chvíli, kdy je odpad vytvořen, dává hierarchie přednost jeho přípravě na opětovné použití a až poté přichází na řadu recyklace, nebo kompostování. Dalším způsobem v hierarchii je využití odpadů (zejména energetické) a poslední, nejméně ekologický způsob, je odstranění odpadu, respektive skládkování.

Hierarchie nakládání s odpady zobrazena na Obr. 1.1 platí s určitými výjimkami téměř po celém světě, zejména v Evropské unii. Tento univerzální model byl přijat v roce 2008 Evropským parlamentem a je směrodatný pro všechny členské státy EU.

Na základě tohoto modelu jsou hlavními cíli všech členských států EU:

- snížit množství produkováných odpadů;
- řídit nakládání a likvidaci již vzniklých odpadů;
- podporovat využívání již vzniklých odpadů.



Obr. 1.1: Hierarchie způsobů nakládání s odpady [2]

### 1.1.1 Předcházení vzniku odpadů (prevence)

Prvním a nejpreferovanějším způsobem v hierarchii nakládání s odpady je předcházení vzniku odpadů, resp. prevence, proto má v hierarchii nejvyšší prioritu. Definice předcházení vzniku odpadů v zákoně o odpadech č. 541/2020 Sb. zní jako *opatření přijatá předtím, než se látka, materiál nebo výrobek staly odpadem, která omezují množství odpadu, a to i prostřednictvím opětovného použití výrobků nebo prodloužením životnosti výrobků, nepříznivé dopady vzniklého odpadu na životní prostředí a lidské zdraví, nebo obsah škodlivých látek v materiálech a výrobcích.* [1]

V celé Evropě se ročně vytvoří enormní množství odpadů (více než 2 miliardy tun odpadů za každý rok), což představuje obrovskou zátěž pro životní prostředí a způsobuje značné ekonomické ztráty při nakládání s těmito odpady. Předcházení vzniku odpadů a s tím související ochrana životního prostředí patří mezi základní a hlavní cíle všech členských států EU. Odpadové hospodářství EU proto klade velký důraz na prevenci vzniku odpadů v členských státech EU, protože snižování produkce odpadů vede k mnoha výhodám (např. pokles emisí skleníkových plynů). Za tímto účelem vyvinula Evropská agentura pro životní prostředí (EEA) program předcházení vzniku odpadů a členské státy EU jsou nuceny přijmout a zavést řadu výrobních a spotřebních opatření. [3]

### 1.1.2 Příprava odpadů k opětovnému použití

V zákoně o odpadech č. 541/2020 Sb. je opětovné použití odpadů definováno jako *postup, kterým jsou výrobky nebo jejich části, které nejsou odpadem, znovu použity ke stejnému účelu, ke kterému byly původně určeny*. Výrobky se tedy nestávají odpadem, snižuje se díky tomu produkce odpadů a dochází k předcházení jejich vzniku. [1]

Opětovné použití materiálu lze v podstatě popsat jako „opravu“ určitého předmětu. V hierarchii nakládání s odpady se nachází nad recyklací nebo kompostováním a vychází to zejména z toho, že na opětovné využití lze nahlížet jako na recyklaci, která je posunuta na vyšší úroveň. Opětovné použití je velmi často spojováno s první úrovní hierarchie nakládání s odpady – předcházení vzniku odpadů (prevence) a využívá zejména materiály, které lze znovu použít v původní podobě. Členské státy EU by měly vyhodnotit pro různé materiály svůj program opětovného použití, aby zajistily, že jej lze v případě potřeby rozšířit tak, aby zpracovávaly materiály v co nejvyšší míře. Aby se maximalizovaly možnosti opětovného použití různých materiálů, měla by být zavedena životaschopná infrastruktura pro opětovné použití, jako například koncové trhy pro zachráněné produkty. Kromě toho by členské státy EU měly stanovit a zdokumentovat ve svých plánech nakládání s odpadem pokyny pro záchranu a opětovné použití různých materiálů.

### 1.1.3 Recyklace nebo kompostování odpadů

Recyklace je proces sběru a zpracování materiálů, které by jinak byly likvidovány jako odpad. Jedná se tedy o opětovné neboli cyklické využití odpadů a jejich vlastností. Název recyklace vychází právě ze slova "cyklický". Celý proces recyklace se skládá z několika částí a ve výsledku vede ke vzniku tzv. druhotné (recyklované) suroviny.

Recyklace i kompostování se zabývají stejnou problematikou: „koncem životnosti“ předmětů. Je nezbytné, aby uvědomělí spotřebitelé nesmýšleli o recyklaci a kompostování jednoduše jako o „konci života“, ale místo toho se zamysleli nad novým životem a vyhodnotili, který nový život je v dané situaci optimální.

Proces recyklace spočívá v tom, že sesbíraný materiál je roztaven, nebo rozložen na suroviny, z nichž je vyrobena nová položka. V rámci recyklace existují dvě důležité podkategorie, post-spotřebitelská a post-industriální recyklace. **Post-spotřebitelská** recyklace představuje proces, kdy je položka po použití recyklována, vytríděna a připravena k dalšímu

využití. **Post-industriální** recyklace představuje proces, kdy je šrot, který vznikl z výrobního procesu roztaven, a vrátí se zpět do výrobního procesu. Další důležité rozdělení v recyklaci je rozdělení na tzv. upcycling (recyklace mezi jednotlivými položkami) a tzv. downcycling. **Upcycling** představuje recyklaci „zpět do sebe“, nebo něco velmi blízkého. Například plastová láhev, která se recykluje zpět na plastovou láhev. Oproti tomu **downcycling** představuje přeměnu předmětu na úplně jiné zboží. Například konvička na mléko, která se recykluje na kompozitní řezivo. [4]

#### 1.1.4 Jiné využití odpadů – zejména energetické

Předposledním bodem hierarchie je jiné, zejména energetické využití odpadů. Na odpad se dá mimo jiné nahlížet jako na velmi důležitý zdroj energie. Spalováním odpadů se může nahradit teplo a elektrina, které se jinak vyrábí spalováním fosilních paliv. Zařízení na energetické využití odpadů (ZEVO) s kapacitou 100 tisíc tun odpadu nahradí přibližně 70-80 tisíc tun hnědého uhlí. Odpad je tedy opravdu důležitým zdrojem energie. K výrobě energie v ZEVO je nejčastěji využíván komunální odpad, ale rozhodně to není jediný možný odpad využívaný v tomto zařízení. Spolu s komunálním odpadem se mohou spalovat i jiné druhy odpadu, jako je například živnostenský nebo průmyslový odpad.

Energetické využití odpadů neboli přeměna odpadů na energii je tedy výroba elektřiny a tepla z nerecyklovatelných odpadních materiálů. Spalování probíhá v zařízeních na energetické využití odpadů, která využívají různá technologie. Mezi tyto technologie patří nejčastěji klasická roštová metoda, dále pak zplyňování, pyrolýza, fluidní spalování ve fluidních pecích, spoluspalování atd. V těchto zařízeních se odpad kontrolovaně spaluje při velmi vysokých teplotách nad 850 °C. Uvolněná energie tímto spálením je využita pro výrobu elektrické energie a tepla.

#### **Rozdíl mezi ZEVO a spalovnou**

Největší rozdíl mezi ZEVO a spalovnou je právě ve využití vzniklé energie. Na rozdíl od spalovny, kde dochází pouze k odstranění odpadů a vzniklá energie se dále nevyužívá, v ZEVO dochází k výrobě tepelné a elektrické energie a musí zde být splněna určitá účinnost. Po ekologické stránce se rozhodně dává přednost energetickému využití odpadů prostřednictvím ZEVO před pouhým spálením odpadů ve spalovně. Rozdíl mezi spalovnou a ZEVO vyplývá přímo ze zákona o odpadech č. 541/2020 Sb. *Pro ZEVO platí velmi přísná evropská a česká legislativa, která povoluje jen minimální hodnoty emisí do životního prostředí.*

*V porovnání s klasickými zdroji (např. uhelné elektrárny) jsou ZEVO k lidskému zdraví a životnímu prostředí mnohem šetrnější. Energie vyrobená z odpadu navíc šetří neobnovitelné zdroje surovin, jako jsou uhlí či ropa. Zbytkový odpad po spalování (škvára) lze využít jako druhotné suroviny, například ve stavebnictví. Právě z toho důvodu, že klasickým spalováním nedochází k využití vzniklé energie a spalovny odpadů se považují za nesprávnou metodu likvidace odpadů, na území České republiky se nachází již pouze ZEVO. [1]*

Podrobnější analýzou ZEVO se diplomová práce zabývá ve druhé části práce (Porovnání příkladů spaloven v ČR a v Evropě).

### **1.1.5 Odstranění odpadů (skládování)**

Na poslední příčce hierarchie nakládání s odpady, a zároveň posledním způsobem nakládání s odpady, je odstranění odpadů, nejčastěji skládování. Patří však mezi nejjednodušší a nejlevnější způsob nakládání, a právě proto má v ČR a ostatních zemích EU bohužel dlouholetou tradici. Odpad, který je uložen na skládce, nemá žádné další využití a představuje obrovskou zátěž pro lidstvo a budoucí generace. Podle hierarchie způsobů nakládání s odpady je skládování nejméně preferovaným způsobem a mělo by být omezeno na minimum. Jedním z cílů EU je vytvořit nový zákon o zákazu skládování ve všech členských státech EU.

Skládování nemá prakticky žádné výhody oproti již zmíněným způsobům nakládání s odpady a dochází k němu až ve chvíli, kdy všechny ostatní způsoby nakládání s odpady selžou. Na skládkách se nejvíce vyskytují materiály nebo látky, které nelze znovu použít, recyklovat nebo energeticky využít. Tyto materiály jsou v lepším případě spáleny (bez energetického využití) nebo právě skládkovány. Jedná se o neudržitelný způsob nakládání s odpady, protože odpad, který leží na skládkách, má a bude mít i nadále škodlivý dopad na životní prostředí. Velkou nevýhodou jsou biodegradativní účinky skládek, což znamená, že ve skládkách jsou přítomny bakterie, které produkují metan. Další obrovskou nevýhodou skládek jsou chemikálie a toxické plyny, které mohou unikat a kontaminovat půdu a podzemní vody pod nimi.

## Legislativa EU týkající se skládkování a přechodu EU na oběhové hospodářství

- Zavádí omezení skládkování veškerého odpadu, který je vhodný k recyklaci nebo jinému materiálovému či energetickému využití.
- Omezuje podíl skládkovaného komunálního odpadu na 10 %.
- Zavádí pravidla a účinný systém kontroly kvality a sledovatelnosti skládkovaného komunálního odpadu.
- Požaduje, aby Evropská komise spolu s Evropskou agenturou pro životní prostředí vypracovala zprávy včasného varování, tři roky před každým termínem, aby bylo možné identifikovat nedostatky v dosahování cílů a doporučit opatření, která je třeba přijmout.
- Umožňuje zemím EU využívat ekonomické nástroje a další opatření k podpoře uplatňování hierarchie nakládání s odpady. [34]

## 1.2 Oběhové hospodářství

Součástí moderního odpadového oběhového hospodářství ve většině vyspělých zemí EU je právě energetické využití odpadů. Oběhové hospodářství, jehož schéma je zobrazeno na Obr. 1.2 přirozeně doplňuje recyklaci a třídění. Jeho princip bude v následujících řádcích podrobně popsán. Podstatou celé problematiky je smysluplné využití tzv. zbytkového odpadu, což je odpad, který se nedá zpracovat žádným z výše uvedených způsobů.



Obr. 1.2: Schéma oběhového hospodářství [5]

### 1.2.1 Definice oběhového hospodářství

Oběhové hospodářství, nebo také „cirkulární ekonomika“ je ekonomický systém uzavřených smyček, ve kterém suroviny, komponenty nebo produkty téměř neztrácejí svoji hodnotu. V cirkulární ekonomice se využívají obnovitelné zdroje energie a základem je systémové myšlení. Existuje několik definic oběhového hospodářství, ale skoro všechny tyto definice se zaměřují na využití zdrojů a zbytkového odpadu nebo na systémové změny.

Definice, které se zaměřují na využití zdrojů se často řídí třemi základními pravidly:

- Snížit (minimální využití zdrojů)
- Opětovně využít (maximální opětovné využití produktů)
- Recyklovat (maximální míra recyklace). [6]

Naopak definice, které se zaměřují na změnu systému často zdůrazňují tři základní pojmy:

- Uzavřené cykly  
V oběhovém hospodářství jsou materiálové cykly uzavřeny a neexistuje nic jako odpad, protože každý zbytkový produkt lze použít k výrobě nového produktu. Výrobci své produkty po použití odebírají zpět, opravují je a dávají jim novou životnost. V těchto cyklech je proto důležité nejen to, aby byly materiály správně recyklovány, ale také to, aby produkty, komponenty a suroviny zůstaly vysoce kvalitní.
- Obnovitelná energie  
Cirkulární ekonomický systém je napájen obnovitelnými zdroji energie a stejně jako suroviny a produkty, i energie vydrží v oběhovém hospodářství co nejdéle.
- Systémové myšlení  
Oběhové hospodářství nevyžaduje pouze uzavřené materiálové cykly a obnovitelné zdroje energie, ale také systémové myšlení. Každý aktér v ekonomice (firma, člověk, organismus) je propojen s ostatními aktéry. Dohromady tvoří síť, ve které jednání jednoho aktéra ovlivňuje jednání ostatních aktérů. Důležité je v tomto případě brát v úvahu krátkodobé i dlouhodobé důsledky, a také dopad celého řetězce. [6]



### 1.2.2 Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou

Cirkulární ekonomika se zásadně liší od lineární ekonomiky ve spoustě ohledech. Zjednodušeně řečeno, v lineární ekonomice se těží suroviny, které se zpracovávají na produkt, jenž se po použití vyhodí. V cirkulární ekonomice je tomu naopak, uzavírají se v ní cykly všech surovin, což vyžaduje mnohem více než pouhou recyklaci. Cirkulární ekonomika mění způsob, jakým se vytváří a uchovává hodnota a snaží se o udržitelnější výrobu produktů.

Kruhový systém u cirkulární ekonomiky a lineární systém u lineární ekonomiky se od sebe liší způsobem, jakým je hodnota produktu vytvářena nebo udržována. Lineární ekonomika se řídí tradičním plánem krok za krokem „vezměte-vyrobte-zlikvidujte“. To znamená, že suroviny jsou shromažďovány a poté přeměněny na produkty, které se používají, dokud nejsou nakonec vyhozeny jako odpad. Hodnota se v tomto ekonomickém systému vytváří výrobou a prodejem co největšího množství produktů. Na druhé straně se cirkulární ekonomika řídí přístupem „snížit, opětovně využít a recyklovat“. Využití zdrojů je minimalizováno (sníženo), opětovné využití produktů a komponentů je maximalizováno a suroviny jsou znovu využívány (recyklovány) ve vysokém standardu.

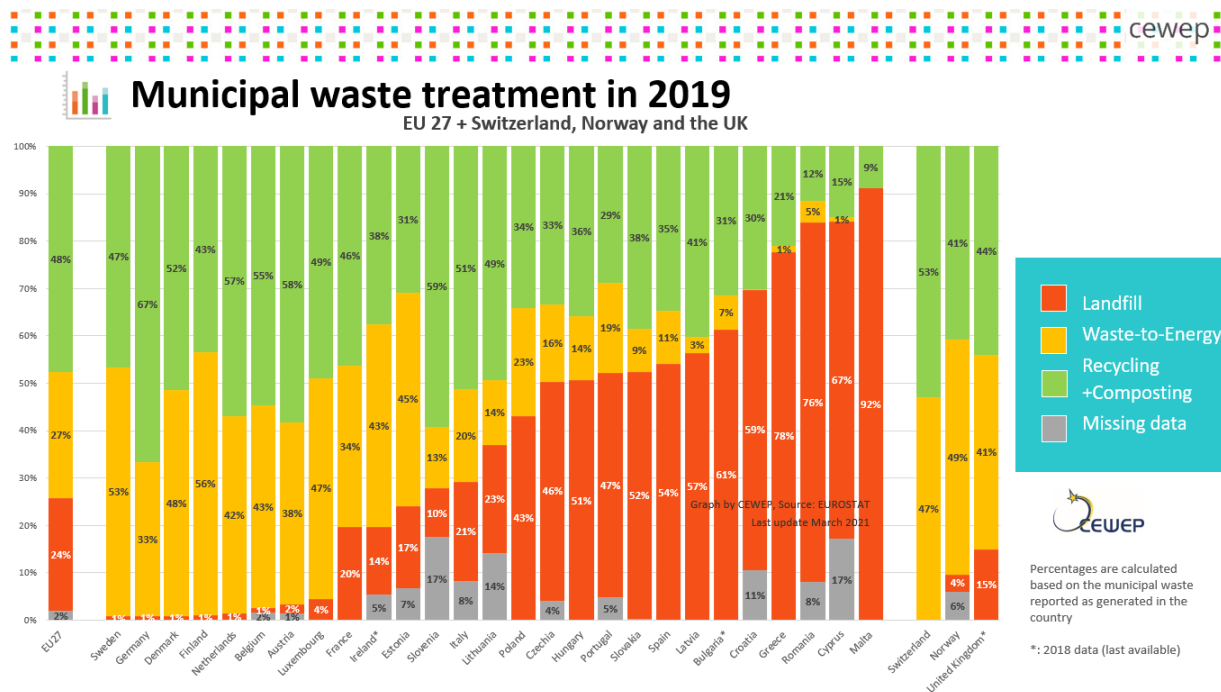
Tab. 1.1: Rozdíl mezi lineární a cirkulární ekonomikou [6]

	<b>Lineární ekonomika</b>	<b>Cirkulární ekonomika</b>
<b>Plán krok po kroku</b>	Vezměte-vyrobte-zlikvidujte	Snížit-opětovně využít-recyklovat
<b>Účel</b>	Ekologická účinnost	Ekologická efektivita
<b>Hranice systému</b>	Krátkodobý, od nákupu po prodej	Dlouhodobý, více životních cyklů
<b>Opětovné použití</b>	Downcycling	Upcycling a vysoce kvalitní recyklace
<b>Obchodní model</b>	Zaměřuje se na produkty	Zaměřuje se na služby

### 1.3 Stav nakládání s odpady v EU

Následující odstavec bude zaměřen na situaci v EU, především na to, jak si jednotlivé členské země EU vedou s recyklací (včetně kompostování), energetickým využitím odpadů a skládkováním komunálního odpadu. Graf (Obr. 1.3) znázorňuje podíl skládkování, energetického využití odpadů a recyklace (včetně kompostování) v každém členském státě EU z roku 2019. V grafu se promítají mimo členské státy EU také Norsko, Švýcarsko a Spojené Království. Graf zobrazuje také chybějící údaje (šedá barva), které představují rozdíl mezi odpadem vzniklým v dané zemi a odpadem, který daná země zpracovala. Graf je tvořen konfederací CEWEP („Confederation of European Waste-to-Energy Plants“ – ve volném

překlada „Evropská konfederace zařízení pro energetické využití odpadů“) a vzniká každý rok z posledních zveřejněných údajů statického úřadu Eurostat, z důvodu, aby se ukázal stav nakládání s odpady v Evropě. Graf (Obr. 1.3) obsahuje hodnoty z roku 2019.



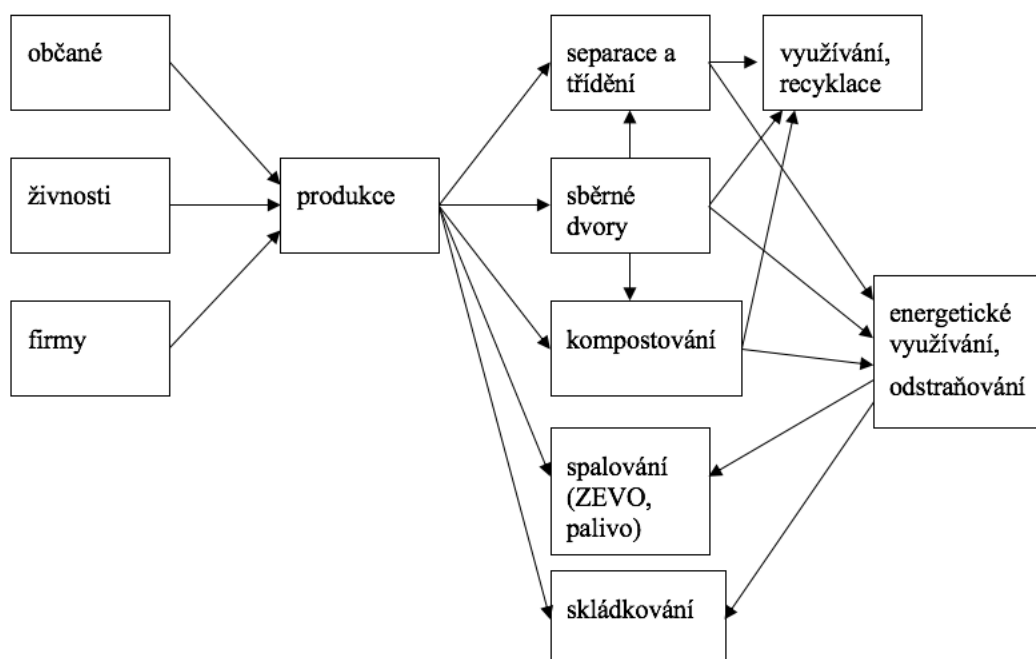
Obr. 1.3: Graf míry skládkování, energetického využití odpadu a recyklace v Evropě [7]

Z výše uvedeného grafu (Obr. 1.3) je patrné, že vyspělé státy EU prakticky neskládkují a snaží se naplňovat hierarchii nakládání s odpady dle EU. Mezi státy s nejnižší mírou skládkování (1 %) patřily v roce 2019 Švédsko, Německo, Dánsko, Finsko, Holandsko a Belgie. Na druhém místě se se 2 % skládkování umístilo Rakousko a na třetím místě se 4 % Lucembursko. Všechny tyto uvedené státy jsou logicky na nejvyšší úrovni z hlediska recyklace, přičemž nejlépe je na tom Německo se 67% mírou recyklace a kompostování.

V pravé části grafu jsou státy, které prakticky veškerý odpad skládkují, přičemž dochází ke značnému zatěžování životního prostředí nejenom na území těchto států. Mezi státy s nejvyšší mírou skládkování patřily v roce 2019 s 92 % Malta, se 78 % Řecko, se 76 % Rumunsko a se 67 % Kypr. Z grafu je také patrné, že dva členské státy EU (Malta a Chorvatsko) nedisponují zařízením pro energetické využití odpadů.

V roce 2019 bylo tedy vedoucí zemí v oblasti recyklace Německo, kde bylo 67 % komunálního odpadu buď recyklováno nebo kompostováno. V oblasti energetického využití odpadů vedlo s 56 % Finsko a na druhé straně v oblasti skládkování „zvítězila“ s 92 % Malta. Zatímco osm členských států EU skládkovalo méně než 10 % svého odpadu, což je cíl stanovený novou směrnicí o skládkách pro rok 2035, deset členských států EU stále skládkuje více než 50 % svého komunálního odpadu. V Evropské unii byla v roce 2019 celková průměrná míra recyklace 48 %, celková průměrná míra energetického využití odpadu 27 % a celková průměrná míra skládkování 24 %. Míra recyklace komunálního odpadu je v České republice pod průměrem EU (33 %) a míra skládkování (46 %) je naopak nad průměrem, což vede ke zvýšení cílů v rámci recyklace a kompostování.

#### 1.4 Obecné blokové schéma produkce a nakládání s komunálními odpady



Obr. 1.4: Obecné blokové schéma produkce a nakládání s komunálními odpady [19]

## 2 Porovnání příkladů spaloven v ČR a Evropě

### 2.1 Popis procesu energetického využití odpadů

Rozdíl mezi spalovnou a zařízením pro energetické využití odpadů byl již vysvětlen v kapitole 1.1.4 (Jiné využití odpadů – energetické). Zásadní a jednoznačný rozdíl je ve využívání energie vzniklé spalováním odpadů. ZEVO spalují zejména tuhý komunální odpad (TKO), který je často označován jako „odpadky“. Tento odpad se využívá k výrobě páry v kotli, která se dále přeměňuje na teplo a elektrickou energii. Jedná se o moderní technologický proces, ve kterém dochází ke spalování odpadů při velmi vysokých teplotách nad 850 °C. Zjednodušeně se ZEVO popisuje jako kogenerační zařízení, využívající odpad na výrobu tepla a energie. Výroba elektřiny pomocí ZEVO je pouze jedním z důvodů, proč tato zařízení používáme. Spalování odpadů v ZEVO redukuje a snižuje objem odpadu více než 10x a jeho hmotnost se snižuje na jednu třetinu z původní hmotnosti spalovaného odpadu. [28]

Mezi tuhý komunální odpad řadíme:

- biogenní (rostlinné nebo živočišné) produkty, produkty jako papír, lepenka, odpad z potravin, listí, dřevo a kožené výrobky;
- hořlavé materiály bez biomasy, jako jsou plasty a další syntetické materiály vyrobené z ropy;
- nehořlavé materiály, jako sklo a kovy.

#### 2.1.1 Základní technologie

Následující popis základní technologie ZEVO platí pro klasickou roštovou metodu spalování odpadů, která se využívá ve všech čtyřech ZEVO v České republice. Technologické schéma a zjednodušené schéma ZEVO, konkrétně ZEVO Plzeň, je znázorněno na Obr. 2.1 a Obr. 2.2. Celý proces začíná dodávkou odpadu do ZEVO a následným přesunem přivezeného odpadu do velkokapacitního prostoru, zvaného bunkr. Nad bunkrem pojíždí procesní jeřáb s velkým drapákem, jehož úkolem je vysypat odpad do násypky kotle, odkud je následně odpad dopravován do spalovací komory. Odpad se zde kontrolovaně spaluje a uvolněná energie se využívá k výrobě elektrické a tepelné energie. Následně dochází k důkladnému čištění spalin pomocí systému čištění spalin a kontrole pomocí kontrolního systému.

Odpad začíná hořet ve chvíli, kdy dosáhne potřebné zápalné kontrolované teploty a přijde do kontaktu s dostatečným množstvím vzduchu (podle zákona nad 6 % přebytek kyslíku), čímž dochází k oxidační reakci. Teplota spalin musí za každých podmínek splňovat mezní hranici stanovenou zákonem a musí být více než 850 °C, protože při nižších teplotách mohou vznikat škodliviny. Aby se minimalizoval vznik škodlivých látek, zejména dioxinů a organických látek, musí být proces spalování vždy plně pod kontrolou a musí být garantována minimální teplota 850 °C po dobu 2 vteřin a více. Kontrolovaný proces hoření, tedy hoření v kontrolovaném prostředí, kdy se odpad na roštu nejdříve vysouší, poté hoří a dohořívá, slouží zejména k tomu, aby v ohništi došlo k dokonalému spálení odpadu, což znamená, že nevznikne nedopal. Podrobnější popis průběhu hoření a spalování odpadu na klasickém roštu je znázorněn na Obr. 2.3. Hořením odpadu se uvolňuje energie, která se předá kotli a ten tuto uvolněnou energii přeměňuje na přehřátou páru.

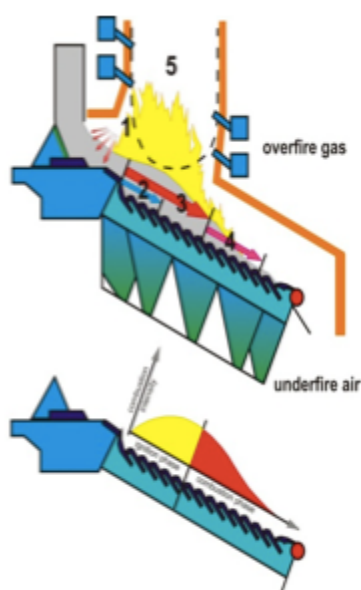
System čišění spalin (který může být navržen různými způsoby, a to od filtrů až po elektrostatické odlučovače) zajišťuje minimalizování škodlivých látek. Emise vznikající při spalování prochází právě tímto systémem, který se snaží minimalizovat veškeré škodlivé látky. Ve spalinách zůstávají v malých částech následující škodliviny: CO, NO<sub>x</sub>, HCl, HF, SO<sub>2</sub>, NH<sub>3</sub> a tuhý organický uhlík (TOC). Tyto škodliviny se kontinuálně měří. Mezi další, velmi významné škodliviny vznikající při spalování odpadů řadíme CO<sub>2</sub>.

Veškeré teplo ze spalování lze využít k výrobě páry pro výrobu elektřiny, dálkového vytápění a chlazení nebo zásobování párou pro blízký zpracovatelský průmysl. Elektrárny, které využívají kogeneraci tepelné energie (vytápění a chlazení) spolu s výrobou elektřiny, mohou dosáhnout optimální účinnosti 60-80 %, zatímco samotná výroba elektřiny dosáhne maximální účinnosti pouze 25-30 %.



### Popis kontrolovaného hoření a spalování odpadu klasickou roštovou metodou

- 1 – začátek sušení odpadu a následné odplynění účinkem sálavého tepla plamene;
- 2 – dosušení a zplyňování, což vede k začátku primárního spalování, které je označeno v obrázku jako bod 3;
- 3 – primární spalování, tzn. přeměna pevných složek odpadu na plynný stav;
- 4 – dohoření ložového popelu;
- 5 – sekundární spalování, ve kterém se oxidují nespálené plyny pomocí přehřátého plynu.



Obr. 2.3: Kontrolovaný proces spalování [25]

#### 2.1.2 Výhody vs. nevýhody

Jako u každého procesu nakládání s odpady jsou u zařízení pro energetické využití odpadů určité výhody i nevýhody, tedy klady a zápory. Níže jsou uvedeny některé z hlavních výhod a nevýhod přeměny odpadů na energii.

##### Výhody

Přeměna odpadů na energii prostřednictvím spalování odpadů má ve srovnání s tradičními metodami nakládání s odpady zcela jistě určité výhody. Mezi hlavní výhody řadíme využití uvolněné tepelné energie ze spalování k výrobě elektrické energie a tepla, omezení skládkování a redukci hmotnosti i objemu odpadů.

### 1. Ekologičtější způsob likvidace odpadů než klasické spalování

Energie, která vzniká spalováním odpadů je často propagována jako „čistá energie“. Ve srovnání s nevhodným spalováním, které bylo hlavním způsobem nakládání s odpady v předchozích desetiletích, se rozhodně jedná o ekologičtější způsob likvidace odpadů. Tento argument však platí pouze v případě, že odpad již existuje a spalování je jedinou možností. Většina udržitelných plánů nakládání s odpady se nyní zaměřují na méně škodlivá, více oběhová řešení, která jsou šetrnější k životnímu prostředí a odpady tím vznikají co nejméně.

### 2. Omezení skládkování

Skládkování odpadů se nachází na poslední příčce hierarchie nakládání s odpady a je tedy poslední a nejhorší možností nakládání s odpady. Skládky způsobují četné problémy, jako je produkce skleníkových plynů, využívání velkých ploch, možnost prosakování znečišťujících látek do půdy a podzemních vod, a mnoho dalšího. Podle údajů Agentury pro ochranu životního prostředí z roku 2018 bylo asi 146 milionů tun tuhého komunálního odpadu, což je téměř 50 % veškerého tuhého komunálního odpadu odesláno na skládku. Procesy přeměny odpadů na energii v ZEVO mohou výrazně snížit objem odpadu, který se ukládá na skládky. Likvidace odpadů prostřednictvím zařízení na energetické využití odpadů by mohla snížit objem odpadu až o 90 %, a tím eliminovat nebo úplně omezit skládky. Tato výhoda je založena na předpokladu, že tak velké množství odpadu se bude nadále produkovat, nebo bude nadále povoleno produkovat. [9]

### 3. Obnova zdrojů

Další výhodou přeměny odpadů na energii je možnost získat po spalování cenné zdroje, jako například cenné kovy. Ty pak mohou být odeslány k recyklaci a ponechány v oběhu. V ZEVO se tedy spalují materiály, jako jsou například plasty, které za sebou zanechávají právě tyto cenné kovy, což lze považovat za lepší variantu nakládání s odpady než ukládání odpadů na skládky, kde jsou recyklovatelné materiály jednoduše pohřbeny.

### 4. Čistší alternativa k výrobě energie pomocí fosilních paliv

Ve srovnání s jinými zdroji energie a jinými elektrárnami jsou další výraznou výhodou nižší emise a také snížení závislosti na zdrojích energie produkujících emise. Používání TKO jako zdroje paliva snižuje potřebu těžby, přepravy a využívání fosilních paliv. Již několik desetiletí jsou klimatické změny a globální oteplování připisovány právě spotřebě uhlí, ropy



a plynu. ZEVO tedy produkují méně znečištění než elektrárny, které běží na fosilní paliva, a to díky přísné maximální dostupné kontrolní technologii nebo předpisům implementovaným pro ochranu životního prostředí.

#### 5. Nejúčinnější technologie energetického využití odpadu

Existují různé procesy a technologie pro získávání energie z odpadů. Patří mezi ně specifické procesy zpracování plastů, jako je pyrolýza, technologie tepelného zpracování – zplyňování a tepelná depolymerizace, nebo také netepelné technologie, které zahrnují anaerobní vyhnívání, fermentaci a mechanickou biologickou úpravu. Z těchto procesů a technologií má ZEVO nejvyšší účinnost výroby energie, lepší výtěžnost výroby elektřiny, relativně nižší investiční náklady a nižší emise za použití vhodných doplňkových technologií. Průměrná elektrická účinnost spaloven je kolem 14-28 %. Pro maximalizaci rekuperace, tedy zpětného získání energie, disponují ZEVO kogeneračními schopnostmi pro využití přebytečného tepla pro dálkové vytápění. Moderní ZEVO dokáže vyrobit 500-600 kWh elektřiny z jedné tuny TKO. [9]

#### Nevýhody

Oproti výše uvedeným výhodám, má však většina technologií a řešení souvisejících s výrobou energie a přeměnou odpadů na energii prostřednictvím spalování značné nevýhody a zápory. Tyto nedostatky často vyvolávají bouřlivé debaty mezi těmi, kdo podporují, a těmi, kdo naopak odmítají výstavbu a provoz zařízení na energetické využití odpadů. Nevýhody zahrnují například znečištění a zatížení životního prostředí, ničení užitečných materiálů a potenciál odrazovat od udržitelnějších způsobů nakládání s odpady. Další značnou nevýhodou jsou vysoké náklady na výstavbu, provoz a údržbu ZEVO.

##### 1. Zdroj znečišťujících látek

Při spalování odpadu v ZEVO vznikají vedlejší produkty, které jsou škodlivé pro zdraví a životní prostředí. Spalováním odpadních látek vznikají dioxiny, kyselé plyny a oxidy dusíku. Dioxiny jsou karcinogenní a mohou způsobit například problémy s reprodukcí, vývojem a imunitním systémem. Téměř veškerý obsah uhlíku v odpadu, který je spalován v ZEVO, je emitován jako oxid uhličitý, což je jeden z nejvýznamnějších skleníkových plynů, který může negativně ovlivnit vegetaci. Další znečišťující látkou jsou těžké kovy, což jsou kontaminanty životního prostředí. Veškeré uvolňované částice, které mohou unikat ze ZEVO, jsou dostatečně malé na to, aby se dostaly do plic a způsobily vážné respirační problémy nebo zhoršily ty stávající. [9]

## 2. Odrazování od recyklace a jiných udržitelnějších způsobů nakládání s odpady

Další nevýhodou ZEVO je potenciál odrazovat od recyklace nebo jiných udržitelnějších metod nakládání s odpady. Pokud lidé, organizace nebo vlády věří, že přeměna odpadů na energii je životaschopným udržitelným zdrojem energie a technikou nakládání s odpady, je méně pravděpodobné, že se zapojí do účinnějších řešení, jako je snížení, opětovné použití nebo recyklace, a tím pádem do nich neinvestují.

## 3. Dostupnost dalších alternativních, čistších a levnějších zdrojů energie

Pokud jde o energetickou diverzifikaci a energetickou bezpečnost, existují další alternativní zdroje, které jsou čistší a udržitelnější. ZEVO nejsou v podstatě čistým zdrojem energie ve srovnání s jadernou energií a obnovitelnými zdroji energie. Kromě toho vysoké náklady na výstavbu, provoz a údržbu ZEVO znamenají, že tato zařízení jsou téměř výhradně pro rozvinuté země. Zaostalé rozvojové země s nižší úrovní materiálního blahobytu si nemohou výstavbu a provoz těchto zařízení dovolit.

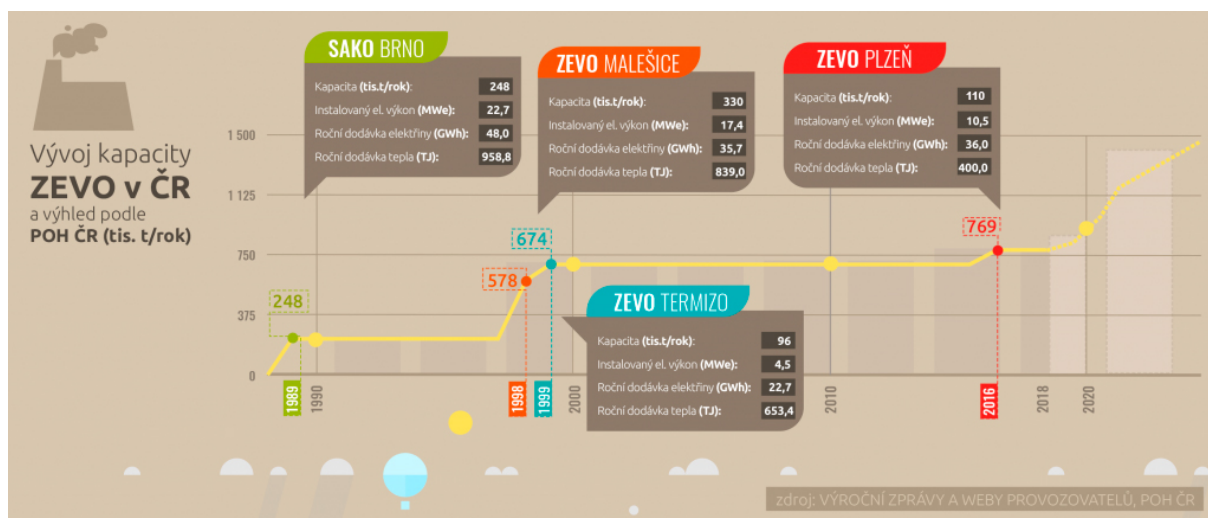
## 2.2 ZEVO v ČR

### 2.2.1 Příklady a porovnání ZEVO v ČR

V souvislosti s rychlým vývojem některých vyspělých členských států EU, včetně České republiky, se předpokládá, že energetické využití odpadů bude hrát v následujících letech čím dál tím větší a podstatnější roli. Zvýšením podílu energetického využití odpadů se zároveň sníží podíl skládkování a odstraňování odpadů tímto způsobem bude postupně zcela nahrazeno. V ČR činí momentální kapacita zařízení pro energetické využití odpadu 784 000 tun odpadu za rok, a je důležité se zamyslet nad tím, jak tuto kapacitu navýšit.

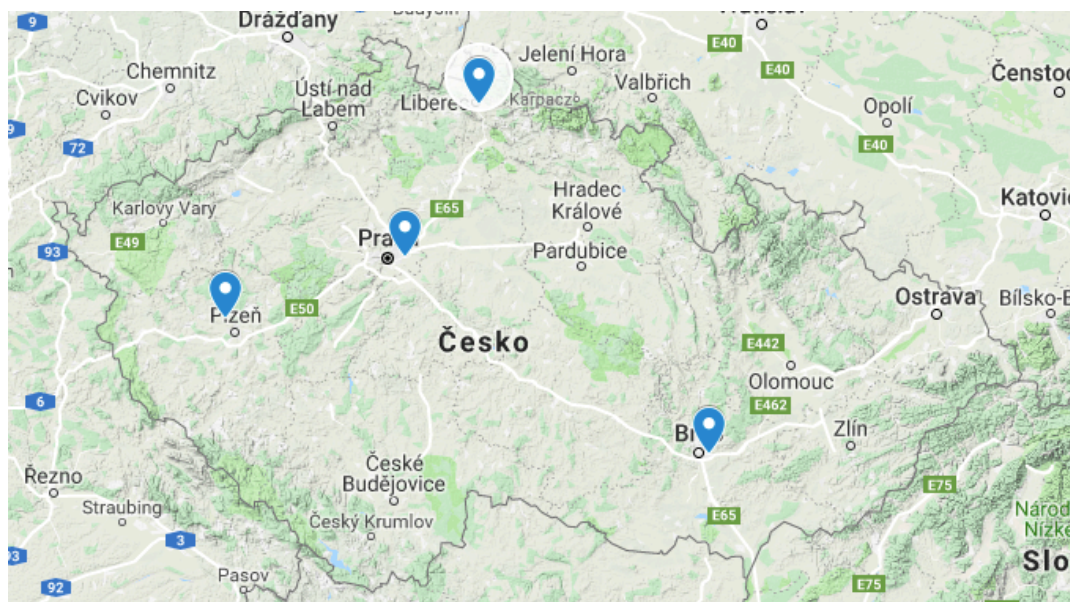
Jak znázorňuje následující Obr. 2.4, na území ČR jsou v plném provozu v současné době 4 ZEVO:

- SAKO Brno, a.s. (Brno)
- ZEVO Malešice (Praha)
- ZEVO TERMIZO a.s. (Liberec)
- ZEVO Plzeň (Plzeňský kraj – obec Chotíkov)



Obr. 2.4: Historický vývoj roční kapacity ZEVO v ČR a předpokládaný vývoj do roku 2024 podle POH ČR [10]

Mezi nejstarší ZEVO na území ČR patří SAKO Brno, a.s., brněnské ZEVO bylo uvedeno do provozu již v roce 1989 a je schopné zpracovat 248 000 tun odpadu ročně. O necelých 10 let později, v roce 1998, bylo do provozu uvedeno pražské ZEVO ve čtvrti Malešice. ZEVO Malešice spadá pod Pražské služby a.s. a patří mezi největší ZEVO v ČR co se kapacity týče, jelikož je schopno energeticky využít až 330 000 tun odpadu za rok. Třetím a zároveň předposledním ZEVO, které bylo uvedeno do provozu v roce 1999, je ZEVO TERMIZO v Libereckém kraji. Jeho kapacita je přibližně 96 000 tun odpadu za rok a je srovnatelná s kapacitou nejnovějšího ZEVO v ČR. Tímto zařízením je ZEVO Plzeň, které bylo uvedeno do provozu v roce 2016, ale jeho úspěšná kolaudace proběhla až v březnu roku 2019. Nachází se v Plzeňském kraji v obci Chotíkov, spadá pod společnost Plzeňská teplárenská, a.s. a jeho kapacita činí k dnešnímu dni kolem 110 000 tun odpadu za rok. Každým jednotlivým uvedením nového ZEVO do provozu vzrostla kapacita pro odpad, který se dá energeticky využít. V současné době je díky všem čtyřem zařízením pro energetické využití odpadů možné na území ČR zpracovat a energeticky využít asi 784 000 tun odpadu za rok. Obr. 2.5 znázorňuje umístění všech 4 ZEVO na území ČR.



Obr. 2.5: Poloha ZEVO v ČR [3]

Následující dvě tabulky (Tab. 2.1 a Tab. 2.2) zobrazují srovnání všech 4 výše uvedených ZEVO. V Tab. 2.1 jsou uvedeny kapacity a základní provozní parametry, jako jsou výkony, nebo teplota a tlak páry. Ve druhé tabulce, v Tab. 2.2, jsou u každého zařízení uvedeny hodnoty, jako je produkce tepla a elektrické energie, dodané teplo a dodaná elektrická energie a množství zpracovaného odpadu za rok. Všechny tyto hodnoty jsou z roku 2020 a vycházejí z výročních zpráv jednotlivých ZEVO. V těchto zprávách dochází pravidelně každý rok ke shrnutí uplynulého roku. [11][12][13][29] [30][31][32][33]

Tab. 2.1: Porovnání základních parametrů všech ZEVO v ČR

	<b>ZEVO Plzeň</b>	<b>SAKO Brno</b>	<b>ZEVO Malešice</b>	<b>TERMIZO Liberec</b>
<b>Kapacita spalovny (tun odpadu/rok)</b>	110 000	248 000	330 000	96 000
<b>Počet kotlů (ks)</b>	1	2	4	1
<b>Spalovací výkon (tun odpadu/hodinu)</b>	8-15	14-16	15	12
<b>Jmenovitý parní výkon (tun páry/hodinu)</b>	42	45	30	43
<b>Nominální výkon turbíny (MWe)</b>	10,5	22,7	17,4	4,5
<b>Teplota páry (°C)</b>	425	400	235	400
<b>Tlak páry (MPa)</b>	5,1	4	1,37	4,3

Zdroj: Výroční zprávy všech ZEVO v ČR za rok 2017 [11][12][13][33]

Tab. 2.2: Porovnání produkce a dodávky energie a tepla za rok 2020 u všech ZEVO v ČR

	<b>ZEVO Plzeň</b>	<b>SAKO Brno</b>	<b>ZEVO Malešice</b>	<b>TERMIZO Liberec</b>
<b>Produkce tepla za rok 2020 (GJ)</b>	845 184	2 511 403	2 173 619	998 848
<b>Dodané teplo za rok 2020 (GJ)</b>	272 505	1 159 064	815 565	590 042
<b>Produkce el. energie za rok 2020 (MWh)</b>	58 101	64 690	56 735	25 713
<b>Dodaná el. energie za rok 2020 (MWh)</b>	45 971	47 699	33 551	15 623
<b>Zpracovaný odpad za rok 2020 (tun odpadu/rok)</b>	103 000	241 000	287 794	87 064

Zdroj: Výroční zprávy všech ZEVO v ČR za rok 2017 [11][12][13][33]

Pro srovnání údajů týkajících se produkce a dodávky elektrické energie a tepla s jiným rokem, byl vybrán rok 2017. Následující tabulka (Tab. 2.3) obsahuje stejné údaje jako tabulka předchozí, s tím rozdílem, že jsou v ní zahrnuty údaje z roku 2017.

Tab. 2.3: Porovnání produkce a dodávky energie a tepla za rok 2017 u všech ZEVO v ČR

	<b>ZEVO Plzeň</b>	<b>SAKO Brno</b>	<b>ZEVO Malešice</b>	<b>TERMIZO Liberec</b>
<b>Produkce tepla za rok 2017 (GJ)</b>	400 000	2 226 272	850 000	1 056 837
<b>Dodané teplo za rok 2017 (GJ)</b>	205 307	998 944	848 822	652 988
<b>Produkce el. energie za rok 2017 (MWh)</b>	40 000	65 084	58 500	26 122
<b>Dodaná el. energie za rok 2017 (MWh)</b>	36 629	48 465	35 221	15 451
<b>Zpracovaný odpad za rok 2017 (tun odpadu/rok)</b>	93 755	220 653	294 900	90 183

Zdroj: Výroční zprávy všech ZEVO v ČR za rok 2017 [29][30][31][32]

## 2.3 ZEVO v Evropě

### 2.3.1 Německo – Schwandorf (Zweckverband Müllverwertung Schwandorf)

Zařízení pro energetické využití odpadů v bavorském Schwandorfu (celým německým názvem „Zweckverband Müllverwertung Schwandorf“) každoročně zpracuje odpady o rozloze asi 15 000 km<sup>2</sup>. Odpady s touto rozlohou odpovídají vyprodukovaným odpadům téměř 1,9 milionu obyvatel Bavorska. Na čtyřech spalovacích linkách se v zařízení každý rok tepelně přemění až **450 000 tun** odpadu na teplo a elektřinu, což je ve srovnání se ZEVO Plzeň, kde se přemění kolem 110 000 tun odpadu, více než čtyřnásobek.

V roce 2019 byl ve Schwandorfu zaveden nový, moderní systém na zpracování nespálených zbytkových materiálů, známých pod názvem struska. V tomto novém provozu lze strusku, včetně kovových surovin, efektivně separovat na místě, a navíc z ní získat cenné neželezné kovy. Zařízení je schopné zpracovat až 110 000 tun strusky ročně, což odpovídá třinácti tunám strusky za hodinu. Tímto systémem disponuje i ZEVO Plzeň, takže i v ZEVO Plzeň dochází ke zpětnému využití strusky, známé také pod pojmem škvára. Cílem ZEVO Plzeň je ze 110 000 tun zpracovaného odpadu vytržít 1600-1700 tun železa ročně, které se zpětně využije. Takovéto využití strusky vede k minimalizování negativního dopadu na životní prostředí. [14]

Vzhledem k tomu, že se zmiňované zařízení nachází asi 100 metrů od obytné zóny, byla zde věnována zvláštní pozornost na snižování zdrojů hluku. Páry, které vznikají teplotou a vlhkou struskou, jsou proto v síle odsávány pouze na definovaných místech, ve kterých vytváří co nejméně hluku. Ke snížení hlučnosti mimo jiné přispívá nový, vysoce výkonný splitterový tlumič v systému odsávání par. Při plánování ZEVO byl kladen velký důraz na vysokou dostupnost systému, snadnou provozuschopnost a předcházení vzniku poruch a nehod. Výkonný ředitel společnosti Loibl Förderanlagen, Karl Zeitler, měl know-how pro konstrukci, výrobu, montáž a uvedení kompletního systému do provozu, který je přizpůsobený potřebám zákazníka. [14]

Klíčovou výhodou bavorského zařízení ZMS je to, že struska je separována již v místě svého vzniku. To šetří zbytečné přepravní trasy, a tím udržitelně chrání životní prostředí a pomáhá šetřit zdroje. Kovy, jako je železo, měď, hliník a mosaz, jsou tímto procesem úpravy účinně odděleny od strusky a zpřístupněny s vysokou čistotou.





Obr. 2.6: Zařízení pro energetické využití odpadů v bavorském Schwandorfu [14]

### 2.3.2 Rakousko – Vídeň (Spittelau)

Jelikož je na celém území Rakouska zakázáno jednoduše skládkovat neupravený odpad, tepelné zpracování odpadu a jeho následné energetické využití hraje důležitou roli v nakládání s odpady. Největší výhodou „neskládkování“ je to, že znečišťující látky jsou s vysokou účinností zničeny a objem vyprodukovaného odpadu je snížen. Spalovací proces je monitorován a pokročilá technologie čištění spalin chrání životní prostředí od jeho poškození. Co se týče spalin, je Spittelau v ročním průměru 90 % pod zákonnými limity stanovenými pro spalovny odpadů, což je jeden z nejlepších případů na celém světě. [15]

Závod Spittelau, který je mimo jiné považován za umělecké dílo (viz Obr. 2.7) ročně zpracuje kolem **260 000 tun** odpadu, který následně využije na výrobu ekologického vytápění a elektřiny. Spalovna odpadu Spittelau je klíčovým příspěvkem k systému nakládání s odpady ve Vídni. Ekologické vytápění vyrobené ve Spittelau stačí k vytápění více než 60 000 domácností ve Vídni ročně a elektřinou může být zásobeno až 50 000 domácností ročně. [15]

Odpad přivezený do zařízení je nejprve zvážen plošinovou váhou a uložen do odpadní násypky, odkud se odvádí do dvou pecí. Zde se odpad kontrolovaně spaluje, vyprodukované horké spaliny procházejí výměníkem tepla a vytvářejí páru. Tato pára se v dalším kroku používá k výrobě dálkového tepla a elektřiny. Pro čištění spalin vznikajících při spalování disponuje Spittelau řadou nejmodernějších systémů. [15]

Proč závod Spittelau vypadá tak unikátně? Závod byl postaven v letech 1969 až 1971, ale několik let po výstavbě byl zničen požárem a musel být přestavěn. Tehdejší vedení města rozhodlo, že nové Spittelau bude nejen zařízením pro energetické využití odpadů, ale také uměleckým dílem, které bude umístěno uprostřed města, nejbližší ke zdroji vyprodukovaných odpadů. Návrhem nového závodu byl pověřen známý umělec, ale zároveň ekolog a milovník přírody, Friedensreich Hundertwasser. Nový závod byl dokončen v roce 1992 a jeho největší předností je právě vzhled (barevná fasáda, zlatá koule na komíně, střešní zeleň a vysázené stromy), který ze závodu dělá vídeňskou dominantu. [15]



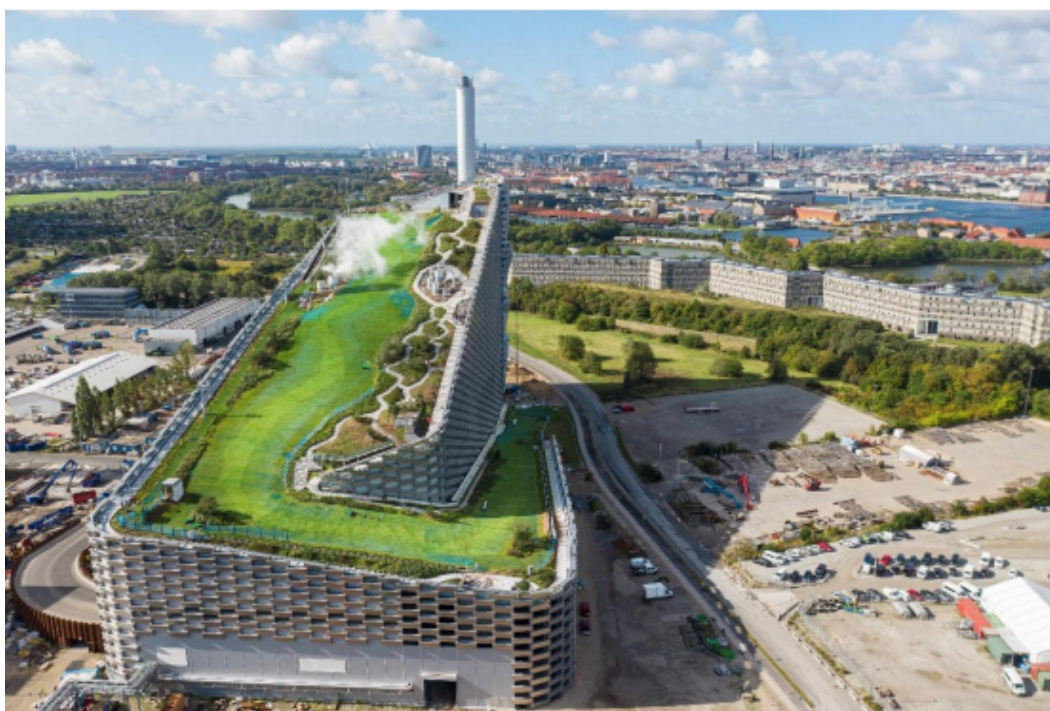
*Obr. 2.7: Zařízení pro energetické využití odpadů Spittelau ve Vídni [15]*



### 2.3.3 Dánsko – Kodaň (Amager Bakke)

Zařízení pro energetické využití odpadů Amager Bakke na obytném předměstí v Kodani je průlomem zejména díky sociálnímu využívání tohoto zařízení. Toto zařízení není unikátní jen kvůli jeho umístění v rezidenční čtvrti a jeho zvláštní architektuře, protože toho již dosáhl závod Spittelau ve Vídni, ale spíše kvůli poskytnutí multifunkčního prostoru pro společenské a průmyslové aktivity. Amager Bakke spolupracuje s obyvateli města za účelem dosažení co nejlepších a nejudržitelnějších aktivit v sektoru odpadů a energetiky. Závod se nachází jen 2 km od Královského paláce a je integrován do městského života svým inovativním architektonickým designem a nabízí rekreační využití na své střeše nebo fasádě. Na střeše byl vybudován lyžařský svah a na fasádě lezecká stěna.

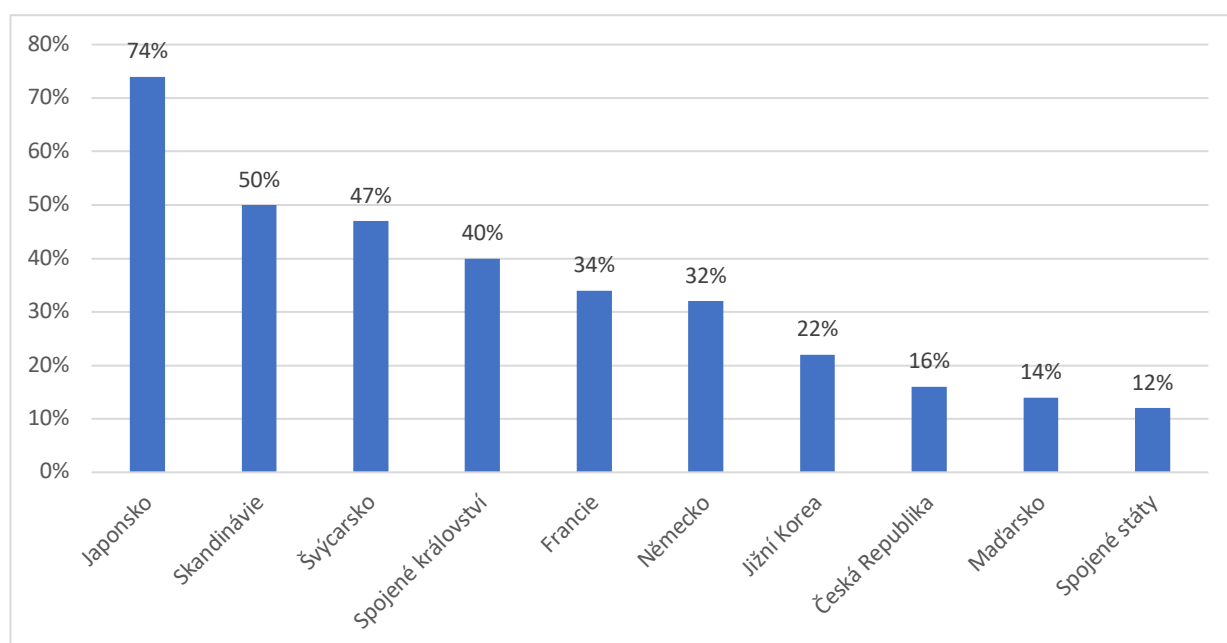
Závod na kombinovanou výrobu tepla a elektřiny je schopen ročně zpracovat více než **400 000 tun** odpadu. Pro optimalizaci této výroby je zřízena kondenzace spalin a zařízení disponuje kvalitními tepelnými čerpadly. Díky tomu je celková čistá energetická účinnost zařízení 107 % a patří k nejvyšším na světě u zařízení tohoto typu. Amager Bakke zpracovává odpad 645 000 obyvatel a 68 000 firem. Závod byl postaven zejména tak, aby sloužil obyvatelům Kodaně a blízkým obcím, ale vzhledem k tomu, že kapacita je vyšší než poptávka, Amager Bakke dostává v zimě odpad také z jiných obcí. V případě, že některé země mají potíže s vlastními ZEVO, Amager Bakke je schopen energeticky zpracovat odpad i z těchto zemí. [16]



Obr. 2.8: Zařízení pro energetické využití odpadů Amager Bakke v Kodani [16]

## 2.4 Srovnání energetického využití TKO v zemích po celém světě

Zařízení pro energetické využití odpadů se nevyužívá pouze v Evropě a ČR, ale v rámci celého světa. Využití ZEVO je v některých zemích velmi hojně částečně proto, že tyto země mají málo volného prostoru pro skládkování odpadů na obyčejných skládkách. Pro srovnání využívání ZEVO v různých zemích světa slouží graf 2.1, který znázorňuje procenta energeticky využívaného TKO z celkového vyprodukovaného TKO v jednotlivých zemích. Nejvíce TKO energeticky využívá Japonsko (74 %), s 50 % následuje Skandinávie a hned poté Švýcarsko (47 %). Česká republika se se svými 16 % nachází v horším průměru a využití TKO v ZEVO je srovnatelné s Maďarskem, kde se využívá přibližně 14 %. [17]



Graf 2.1: Srovnání energetického využívání TKO v zemích po celém světě (převzato z [17] a přeloženo)

### 3 Analýza plánu odpadového hospodářství v Plzeňském kraji s přístupem optimalizace dopravy

#### 3.1 Charakteristika Plzeňského kraje

Česká republika má čtrnáct samosprávních celků (krajů) a právě Plzeňský kraj, který vznikl v roce 2000, je třetím největším celkem. Plzeňský kraj leží na jihozápadě ČR a jeho sousedními kraji je kraj Jihočeský, Středočeský, Karlovarský a Ústecký. Na území tohoto kraje se nachází sedm okresů, a těmi jsou Plzeň-město, Plzeň-sever, Plzeň-jih, Domažlice, Klatovy, Rokycany a Tachov.

Poloha Plzeňského kraje je výhodná, protože leží na cestě mezi Prahou a zeměmi západní Evropy. Poloha kraje je výhodná například i v souvislosti s cestovním ruchem. Plzeňský kraj je nedaleko hranic s Německem, s nímž přímo sousedí, takže velké množství turistů, přichází právě odtamtud, přes hraniční přechody Folmava, Rozvadov a Železná Ruda.

Plzeňský kraj je třetím největším a devátým nejlidnatějším krajem v ČR. Na základě údajů z posledního sčítání lidu v roce 2021, žije v Plzeňském kraji 581 436 obyvatel. V tomto kraji je mnoho sídel, která jsou nerovnoměrně rozmístěna, a na základě toho je sídelní struktura málo vyvážená. Sídla jsou rozdělena do patnácti obvodů – obcí s rozšířenou působností. Nevyváženost struktury se odvíjí například od toho, že na město Plzeň jsou navázány malé venkovské obce a chybí zde středně velká města. Typickým znakem tohoto kraje je vysoký počet malých sídel. Katastrální území obcí, které mají méně než dva tisíce obyvatel, zabírá více než čtyři pětiny celkové rozlohy kraje, a žije tam přibližně třicet procent z celkového počtu obyvatel. [18]

### 3.2 Produkce odpadů v Plzeňském kraji

Odpady jsou v základním rozdělení rozděleny do tří skupin – odpady komunální, odpady nebezpečné a odpady ostatní. Jak ukazuje níže uvedená tabulka (Tab. 3.1), v Plzeňském kraji byla dlouhodobě celková roční produkce odpadů na hodnotě cca dva milióny tun. K nárůstu na takřka tři a půl milióny tun, jehož důsledkem bylo zvýšení produkce odpadů, došlo roku 2015. V následujících letech se produkce odpadu snížila a od té doby činí přibližně dva a půl milióny tun ročně.

Tab. 3.1: Celková produkce odpadů v letech 2010-2020

Rok	Všechny odpady	Nebezpečné odpady	Ostatní odpady	Komunální odpady
Vyhodnocení	[1000 t/rok]	[1000 t/rok]	[1000 t/rok]	[1000 t/rok]
2010	1 750,12	51,73	1 698,39	269,11
2011	1 758,65	47,48	1 711,16	255,28
2012	1 788,66	105,05	1 683,61	262,51
2013	2 099,33	86,17	2 013,16	297,27
2014	1 838,92	51,17	1 787,75	283,18
2015	3 341,35	76,10	3 265,25	294,38
2016	2 527,43	72,92	2 454,52	293,90
2017	2 531,32	57,96	2 473,36	305,36
2018	1 969,55	66,25	1 903,30	313,12
2019	2 038,54	55,18	1 983,36	313,59
2020	2 235,57	55,14	2 180,43	299,59

Zdroj: Vyhodnocení plnění POH Plzeňského kraje za rok 2020

Nárůst v roce 2015 i rozdíly v jednotlivých letech souvisejí například s výstavbou a různou úrovní hospodářské situace v jednotlivých letech. Produkce komunálních odpadů až do roku 2013 nepřekročila hodnotu 270 tisíc tun za rok. Produkce nebezpečných odpadů je vyvážená a činí přibližně 50 tisíc tun ročně. Produkce nebezpečného odpadu byla výrazně vyšší v roce 2012, kdy činila více než dvojnásobek průměrné produkce, bezmála 105 tisíc tun. Příčinou tohoto nárůstu bylo zahájení sanačních prací v Horní Bříze a výstavba železničních koridorů. Po odečtení nadprodukce způsobené v souvislosti se zmíněnými pracemi by celková produkce byla oproti minulým rokům nižší. V následujícím roce, v roce 2016, byla produkce nebezpečných odpadů ze stejného důvodu opět vyšší. [19]

### 3.2.1 Plnění cílů POH Plzeňského kraje

V krajském plánu odpadového hospodářství Plzeňského kraje je stanoveno 61 cílů, z nichž čtyři jsou strategické, dvacet tři je hlavních a třicet čtyři dílčích. Plán rovněž obsahuje zásady pro vytváření jednotné sítě zařízení nakládající s odpady. [19]

Z celkového počtu cílů je úspěšně splněno třicet šest, tři jsou splněny částečně a dvacet dva z nich nebylo posouzeno, protože nebyl k dispozici dostatek informací. Jedná se o informace o zpětném odběru některých výrobků, přičemž nelze jejich plnění nikterak ovlivnit. Co se týká strategických cílů a cílů, které byly určeny pro realizaci Programu předcházení vzniku odpadů, tyto cíle jsou plněny průběžně. Na základě zhodnocení POH Plzeňského kraje je jasné, že v dlouhodobé perspektivě jsou plněny cíle, které jsou částečně závazné, především v oblasti týkající se nebezpečných odpadů a nakládání s nimi. [19]

Produkce nebezpečných odpadů od roku 2015 (s výjimkou jednoho roku) klesá, v roce 2020 bylo v Plzeňském kraji v porovnání s rokem 2019 vyprodukováno o necelou desetinu procenta menší množství nebezpečných odpadů. Konkrétně, v roce 2020 zde bylo vyprodukováno přes padesát pět tisíc tun nebezpečného odpadu. Dílčí cíl zvyšování podílu nebezpečných odpadů z jejich celkového množství, které je možné materiálově využít, je také průběžně plněn. V roce 2020 bylo materiálově využito téměř jedno a půl procenta nebezpečných odpadů, přičemž část těchto odpadů byla spalována. [19]

Vyhláškou č. 351/2008 Sb. se mění vyhláška č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, ve znění pozdějších předpisů. V souladu s vyhláškou č. 351/2008 Sb. byla vyhodnocena soustava indikátorů pro rok 2020, a to na základě Zpracování matematického vyjádření výpočtu „Soustavy indikátorů OH“. V roce 2019 bylo sníženo množství biologicky rozložitelného odpadu (BRKO) ve směsném komunálním odpadu (SKO) na téměř třetinu hmotnosti, jinak nenastaly žádné velké změny. [19]

V kraji existuje zařízení na energetické zpracování odpadů, nicméně je nezbytné doplnit další zařízení tohoto druhu, což je skutečnost, která jasně plyne z vyhodnocení POH. Zejména je nutné vybavit kraj dalšími zařízeními, která odpad využijí, protože bez toho nebude možné plnit cíle uvedené jak v POH Plzeňského kraje, tak ani v POH ČR, ani v související platné legislativě.

V Plzeňském kraji je kladen důraz na to, aby byla zvýšená úroveň environmentálního vědomí a znalostí obyvatel všech věkových kategorií, především dětí. Environmentalistika se zabývá mimo jiné také prevencí znečišťování životního prostředí, nápravou vzniklých škod a nežádoucích zásahů. Je tedy velice důležité, aby se tyto informace staly součástí obecného povědomí.

Pro zdravý a udržitelný vývoj společnosti je plánování v oblasti odpadového hospodářství nesmírně důležitým faktorem a jedním z předpokladů pro přechod na cirkulární způsob hospodaření, který se zabývá zlepšováním kvality životního prostředí prostřednictvím zvyšování efektivity produkce a je tedy součástí udržitelného rozvoje.

Spojnicí mezi plánem odpadového hospodářství České republiky a mezi plány měst a obcí jsou krajské plány odpadového hospodářství. Kraje nejsou oprávněné zasahovat do samostatné působnosti a do práv původců, kteří jako jediní mají zodpovědnost za nakládání s odpady. Mohou tedy být pouze v rolích koordinátorů činností, které mají vést ke zlepšení situace v jednotlivých městech a obcích. Vhodná je spolupráce krajů při dosahování cílů POH a při řešení problematiky nakládání s komunálními odpady.

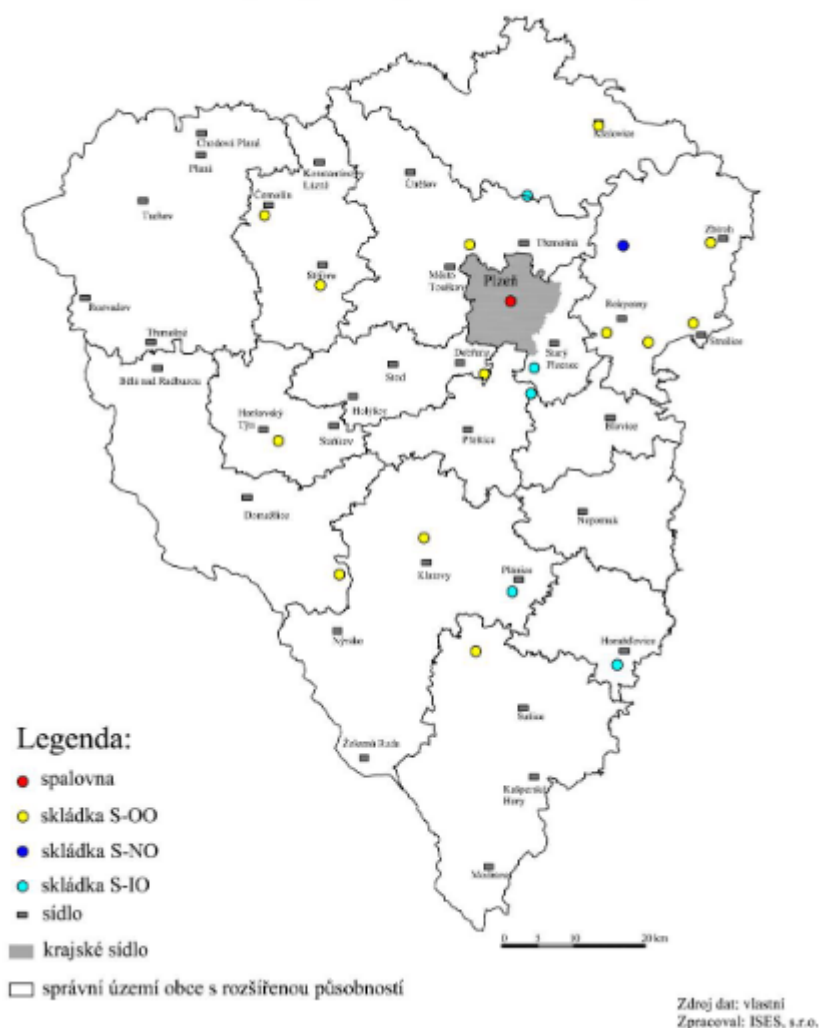
### **3.3 Analýza odpadů v Plzeňském kraji**

#### **3.3.1 Skládky a spalovny**

V Plzeňském kraji je umístěno osmnáct aktivních skládek odpadu. Z toho pět skládek slouží pro ukládání inertního odpadu a dvanáct pro ukládání ostatního odpadu. Jedna skládka o kapacitě více než šestnáct a půl tisíce metrů krychlových, která je umístěna v obci Břasy, slouží k ukládání nebezpečného odpadu. Celková volná kapacita skládek ostatního odpadu činila v roce 2013 více než pět miliónů metrů krychlových. [19]

Kapacita skládek se jeví jako dostatečná, protože skládkování SKO je plánováno pouze do roku 2024. V Plzeňském kraji, přímo v Plzni, je jedna spalovna nebezpečných odpadů, kterou provozuje společnost SITA a.s. a její kapacita je kolem dvou a půl tisíc tun odpadu. [19]

## Skládky a spalovny v Plzeňském kraji



Obr. 3.1: Mapa skládek a spaloven na území Plzeňského kraje [19]

Zařízení pro energetické využití odpadů ZEVO Plzeň v Chotíkově dokáže zpracovat až 110 000 tun odpadů za rok, což má pro Plzeňský kraj velký význam v souvislosti s energetickým využitím odpadů. Na činnost tohoto zařízení je navázána činnost odpadových center. V souvislosti se ZEVO Plzeň byly vybudovány čtyři překládací stanice. První se nachází v obci Černošín, kde je skládka firmy EKODEPON s.r.o. Druhá v Horšovském Týně, což je skládka firmy KO LAZCE-GIS spol. s r.o. Třetí skládka TKO Štěpánovice má umístění v Klatovech a poslední skládka KO Němčičky ve městě Rokycany. Kromě toho se i nadále využívá překládací stanice v obci Horažďovice. [19]

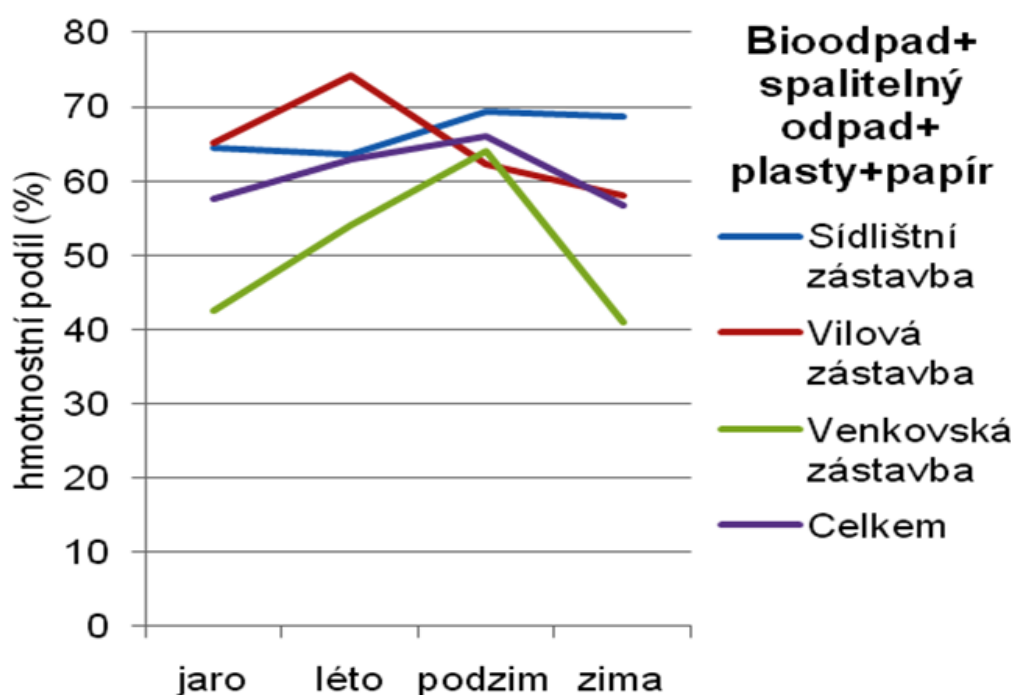
Dalším zařízením, které může přispět k energetickému využití odpadů je linka TAP na výrobu alternativního paliva společnosti Rumpold s.r.o. Provozovna se nachází v Mýtě a její roční kapacita je 15 tisíc tun odpadu. [19]

### 3.3.2 Odpady vhodné pro energetické využití

Z hlediska výhřevnosti vhodné pro zavedení zařízení pro energetické využití odpadů byly vybrány čtyři komodity (papír, plast, bioodpad a spalitelný odpad). Jedná se o domovní odpad ve třech zástavbách. Konkrétně jde o sídlištní zástavbu, vilovou zástavbu a venkovskou zástavbu.

V grafu (Obr. 3.2) je znázorněna závislost hmotnostního podílu odpadů 4 zmiňovaných komodit na ročním období. Roční období v sídlištní zástavbě nemá na množství odpadu velký vliv, naopak u vilové zástavby je znatelný rozdíl a nejvíce odpadu je zde v letních měsících. Venkovská zástavba má v tomto smyslu největší rozdíly, tedy je nejméně stabilní, co se týká výskytu odpadu v závislosti na ročním období. Na podzim je zde vidět jednoznačný nárůst, který s příchodem zimy výrazně klesá a v jarních měsících opět přichází prudký nárůst. Nejstabilnějším obdobím celkově u všech typů zástavby je podzim a nejvýraznější rozdíly se objevují v zimních měsících. Největší výskyt odpadů je v tomto období v sídlištní zástavbě a nejmenší ve venkovské zástavbě, přičemž tento rozdíl je téměř čtyřicet procent.

Konkrétní údaje, týkající se vybraných komodit, které jsou vhodné pro energetické využití obsahuje následující graf (Obr.3.2). Graf zároveň znázorňuje rozdíly v ročních obdobích.



Obr. 3.2: Závislost hmotnostního podílu na druhu zástavby a na ročním období [20]



### 3.3.3 Zhodnocení analýzy rozboru domovního odpadu v Plzeňském kraje

Na základě souhrnu výsledků analýzy rozboru domovních odpadů v Plzeňském kraji zjištěna následující fakta. Tato fakta se týkají podsítné sledované frakci, která je menší než 40 mm a nadsítné sledované frakci, která je větší než 40 mm.

#### Podsítná sledovaná frakce menší než 40 mm:

- Frakce odpadů o průměru, který je menší než 0,4 cm, tedy frakce podsítná, zaujímá více než pětinu celkového hmotnostního podílu.
- Do podsítné frakce řadíme zejména biologické segmenty, pocházející z kuchyňského odpadu. Dále prachové částice, jako jsou obsahy sáčků z vysavačů, popel a útržky obalových materiálů.
- Největší množství této frakce (více než 30 %) je z venkovské zástavby. Oproti tomu je to v sídlištní zástavbě pouhá polovina z tohoto množství. [20]

#### Nadsítná sledovaná frakce větší než 40 mm:

- Obsahem této frakce jsou: biologické odpady, spalitelné odpady, plasty, papír/lepenka, sklo, textil, minerální odpady, kovy, nápojové kartony, boty, elektro odpady a nebezpečné odpady.
- V celkovém průměru jsou z hlediska hmotnosti nejvíce zastoupené frakce biologického odpadu, a to téměř třiceti procenty. Nejvyšší zastoupení mají ve vilové zástavbě, kde je to necelých čtyřicet procent a nejmenší zastoupení mají tyto frakce ve venkovské zástavbě, kde činí necelých dvacet dva procent.
- Co se týče podílu objemu, nejvíce objemná je frakce plastů a plastového odpadu, která tvoří téměř třicet osm procent. Podíl objemu frakce plastů je tedy vyšší než podíl objemu frakce papíru. Z hlediska hmotnosti je to však naopak a u plastů tvoří podíl hmotnosti méně než deset procent.
- Nejméně ze všech analyzovaných odpadů jsou zastoupeny nebezpečné odpady a elektroodpady, v průměru necelou třetinou jednoho procenta. Mezi elektroodpady se řadí elektronická a elektrická zařízení. [20]

Na základě sledovaných trendů můžeme potvrdit následující skutečnosti:

- Biologické odpady jsou součástí domovního odpadu nejvíce v jarních a v letních měsících, přičemž nejmenší množství těchto odpadů se vyskytuje ve venkovské zástavbě. Největší množství je v zástavbě, která je součástí měst, tedy ve vilové zástavbě. Do vilové zástavby nepatří jen vily, ale také rodinné a řadové domy.
- Nejvíce odpadů s potenciálem k vysoké výhřevnosti je v sídlištní zástavbě a nejméně v zástavbě venkovské, kde je jich o celou čtvrtinu méně než v sídlištní zástavbě. Je to zejména z důvodu, že domy ve venkovské zástavbě běžně disponují vlastním topeništěm, jako je například krb nebo kotlová souprava, a odpady s potenciálem vysoké výhřevnosti jsou často spalovány právě v těchto domácích topeništích.

Následující tabulka (Tab. 3.2) představuje shrnutí rozborů o nadsítné frakci, která je větší než 40 mm, v souvislosti s objemem a hmotností odpadů.

Tab. 3.2: Souhrnné výsledky analýzy rozborů domovního odpadu v Plzeňském kraji

Celý rok		Hmotnost (kg)				Objem (m <sup>3</sup> )			
		Sídliště	Vilová	Venkov	Vše	Sídliště	Vilová	Venkov	Vše
Domovní odpad		19730,7	20980,0	18103,0	58813,7	50,0	32,0	44,0	126,0
Vzorek		3380,6	1671,7	2472,0	7524,2	26,1	13,5	17,9	57,5
Frakce	Látková skupina	% z celku	% z celku	% z celku	% z celku	% z celku	% z celku	% z celku	% z celku
větší než 40 mm	Bioodpad	29,2	38,4	21,8	28,8	14,5	20,9	13,1	15,6
	Spalitelný odpad	15,9	8,9	11,8	13,0	11,2	8,9	10,2	10,3
	Plasty	10,1	9,2	9,7	9,8	37,4	34,8	40,1	37,7
	Papír/lepenka	11,3	8,5	7,0	9,2	19,8	18,5	12,4	17,2
	Sklo	5,1	4,2	5,6	5,1	2,1	1,6	2,6	2,1
	Textil	4,6	2,7	3,5	3,8	4,1	2,4	3,6	3,6
	Minerální odpad	2,5	3,5	4,6	3,4	0,6	0,8	1,2	0,8
	Kovy	3,1	3,8	2,4	3,1	2,4	3,1	2,4	2,6
	Nápojový karton	1,0	1,1	0,8	0,9	1,9	2,2	1,7	1,9
	Boty	0,9	0,5	0,7	0,8	0,6	0,4	2,8	1,2
	Elektro	0,3	0,1	0,7	0,4	0,2	0,1	0,3	0,2
	Nebezpečný odpad	0,3	0,3	0,4	0,3	0,1	0,2	0,2	0,2
Celkem		84,4	81,1	69,1	78,6	94,9	94,1	90,6	93,4
Pro energ. využití		73,1	69,1	55,4	66,4	89,6	88,3	84,0	87,5
Zvýšení separace		27,4	22,9	23,1	25,0	61,3	57,2	56,8	58,9

Zdroj: RRA Plzeňského kraje, o.p.s.

### 3.4 Svoz odpadu a návrh rozdělení území Plzeňského kraje podle umístění odpadu

Do ZEVO Plzeň v obci Chotíkov se z města Plzeň, okolních obcí a města Kralovice sváží směsný komunální odpad přímo. Tímto „přímým“ způsobem se přepraví jen cca 57-62 000 tun SKO ročně. Toto množství není na plný chod spalovny dostatečné, proto se musí odpad svážet i z dalších částí Plzeňského kraje. Pro svoz z města Černošín, Rokycanska a Horšovského Týna se využívají překládací stanice. „Nepřímým“ způsobem se převezve cca 40 000 tun SKO ročně. Plzeňský kraj vyprodukuje cca 229 700 tun komunálního odpadu ročně a z toho SKO tvoří cca 140 000 tun, zbytek tvoří tříděný odpad – sklo, papír a plast. Zpracování jedné tuny odpadu bylo vyčísleno na částku 2 200 Kč. Do této sumy byly započítány také náklady na provoz překladišť a svoz odpadu. [24]

Odpady pocházejí tedy především ze svozové oblasti města Plzně a jejího okolí, dále pak z Rokycanska, města Černošín, severního Plzeňska (Kralovice) a města Horšovský Týn, odkud jsou odpady sváženy do ZEVO Plzeň za účelem energetického využití. Následující odstavce se zabývají konkrétním popisem výše zmíněných oblastí.

#### 3.4.1 Předpokládaná bilance toků odpadů do ZEVO Plzeň a návrh rozdělení území Plzeňského kraje podle rozmístění skládek a překladišť

Směsný komunální odpad a objemný odpad se bude svážet svozovými vozidly odpadových společností Čistá Plzeň, s.r.o. a AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. do odpadových center (dnešní velké skládky odpadů) a na tomto místě budou následně překládány nebo tříděny, případně upravovány nebo zpracovávány.

##### Statutární město Plzeň – 50 000 tun za rok

Surovinou pro výrobu tepla a energie v ZEVO Plzeň je zejména SKO. Pro naplnění kapacity zařízení se bude využívat hlavně SKO produkovaný na území města Plzeň. Tohoto odpadu je podle evidence 50 – 55 000 tun za rok. Dále budou dodávány odpady z vybudovaných překladišť, dopravované přímým svozem. [24]

##### Oblast severního Plzeňska (Kralovice) – 7 000 tun za rok

V této oblasti nemusí být vybudováno překladiště, protože odpad bude díky krátké vzdálenosti od ZEVO Plzeň svážen přímým způsobem. Vzdálenost činí 10-30 km. V současnosti je v této oblasti sběr a svoz SKO svěřen společnosti BECKER Bohemia, a.s. [24]

Oblast města Černošín – 15 000 tun za rok

Na skládky Černošín a Kladruby se v současnosti ukládá přibližně 20 000 tun SKO ročně. Odpad se sváží z měst Stříbro, Kladruby, nebo Bor, a především z malých obcí. V zimních měsících tvoří relativně velkou část SKO popeloviny, takže výhřevnost odpadu je celkově nižší. Je to z toho důvodu, že se na vesnicích k topení využívá částečně i odpad, zejména dřevo a papír. Alternativní možností je selektivní svoz odpadů, kdy větší (plynofikované) obce budou sváženy v jiném režimu než obce menší, ve kterých převažuje lokální vytápění (tzn. že na skládku jsou ukládány energeticky méně hodnotné odpady). Energeticky hodnotné odpady z oblasti města Černošín a Kladruby budou ukládány na vybudovaném překladišti, odkud bude odpad převážen do ZEVO Plzeň. Odpady s nízkým energetickým potenciálem budou ukládány nadále na skládku. Převážná vzdálenost činí 44 km. [24]

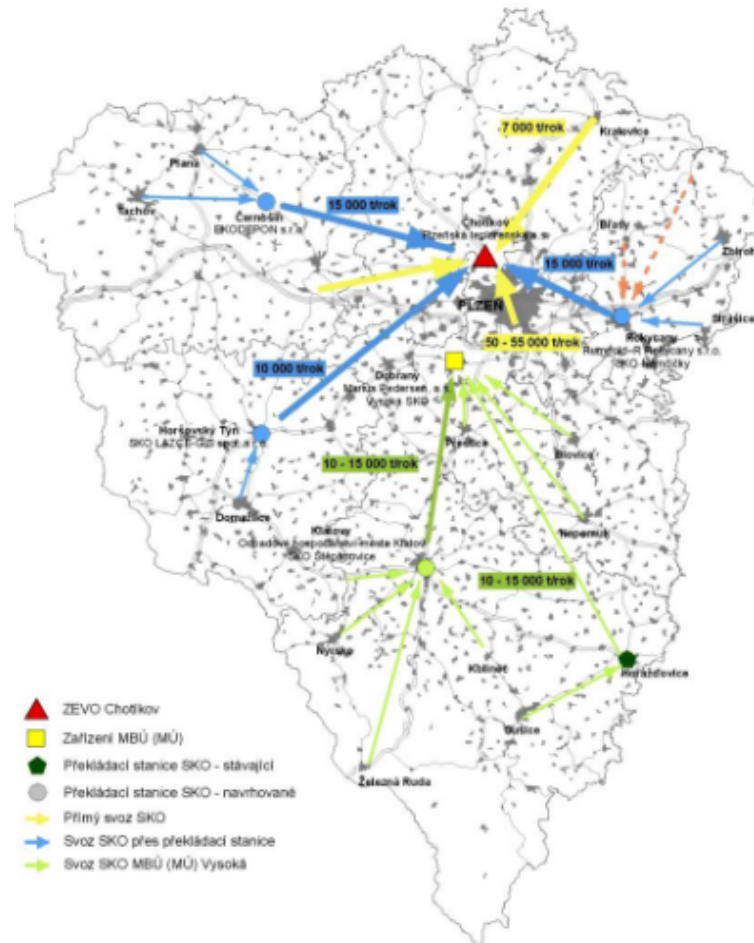
Oblast Rokycanska – 15 000 tun za rok

Momentálně jsou odpady z oblasti Rokycanska sváženy na skládky Němčičky, Břasy, Zbiroh a Strašice. Aby docházelo k ekonomické a ekologické přepravě těchto odpadů do ZEVO Plzeň, bude odpad přepravován z vybudovaného překladiště. Převážná vzdálenost činí 26 km. V blízkosti skládky Němčičky se nachází bývalý vojenský prostor, který je možné využít jako překladiště nebo pro úpravu odpadů. Výhledově by se sem mohl svážet všechny SKO z města Rokycany. V současné době je celkové množství ukládaného SKO na skládku Němčičky cca 11 000 t/rok. Kapacita překladiště je cca 15 000 tun SKO. V regionu působí odpadové společnosti Rumpold-RCHZ s.r.o. a Lidrone spol. s.r.o. [24]

Oblast Horšovský Týn (Lazce-GIS) – 10 000 tun za rok

V tomto případě činí vzdálenost přepravy odpadů do ZEVO Plzeň 50 km. Odpady pocházejí ze smíšené zástavby, z měst Horšovský Týn, Domažlice a dále z malých obcí. I ve svozové oblasti skládky LAZCE-GIS je možné odpad vytrídřit a svážet dle převažujícího druhu vytápění a také vybudovat překládací zařízení pro SKO s kapacitou cca 10 000 tun za rok pro přepravu do ZEVO Plzeň. [24]

**Celkem: 95 – 100 000 tun SKO/rok.**



Obr. 3.3: Návrh systému nakládání se SKO z obcí a měst v Plzeňském kraji [25]

Tab. 3.3: Přepavní vzdálenost z jednotlivých skládek do ZEVO Plzeň

Provozovatel	Umístění	Vzdálenost (km)
EKODEPON s.r.o.	Černošín	44,3
Marius Pedersen, a.s.	Vysoká	22,2
EKODEPON s.r.o.	Kladruby	32,5
LAZCE – GIS spol. s r.o.	Lazce	49,6
LIDRONE, spol. s r.o.	Flóra, Břasy	27,3
Město Kdyně	Libkov	62,5
Městys Kolinec	Na Kozláku	68,1
Služby obce Strašice s.r.o.	Strašice	35,7
Odpadové hospodářství města Klatov	Štěpánovice	45,8
Rumpold-R Rokycany s.r.o.	Němčičky	25,6
Služby a obchod města ZBIROH s.r.o.	Chotětín, Zbiroh	45,8

### 3.4.2 Návrh přímého svozu SKO a objemného odpadu do ZEVO Plzeň

Přímý svoz směsného komunálního odpadu (bez překládání) do zařízení bude prováděn pouze z míst, které od ZEVO Plzeň nejsou příliš vzdálené. Ekonomické náklady přímého svozu musí být nižší, než ekonomické náklady na překládací stanice a jejich provoz. Tomuto kritériu odpovídají místa, která jsou vzdálená 30-40 km od ZEVO Plzeň.

Pro přímý svoz do zařízení ZEVO Plzeň je tedy vhodné zejména území města Plzeň a nejbližší okolí, jako je lokalita Severní Plzeňsko (Třemošná, Plasy, Kralovice, Kozlany, ...), dále lokalita Stříbro-Kladruby. Z těchto míst může být přepravování odpadů do ZEVO Plzeň přímo, bez překládání, ekonomicky výhodnější.

Ve sběrných střediscích budou na objemných odpadech provedeny úpravy (zmenšení objemu z důvodu snížení přepravních nákladů) a odpad bude dál transportován ke zpracování nákladními vozidly. Tímto způsobem může být zpracováno až 20 000 tun objemného odpadu za rok.

## 4 Příklad energetické bilance dopravy z města Plzeň do spalovny Chotíkov

### 4.1 Popis aktuálního stavu ZEVO Plzeň

Dne 20.12.1996 bylo městem Plzeň, Městem Touškov a obcí Chotíkov, na základě smlouvy o sdružení dle § 829 Občanského zákoníku, založeno sdružení, jehož účelem bylo zajištění společného, ekologicky nezávadného provozování skládky tuhých komunálních odpadů v katastrálním území obce Chotíkov. Provoz zajišťuje soukromý podnikatelský subjekt, který je oprávněný k provozování spalovny.

Mezi podílové spoluvlastníky ZEVO Plzeň patří:

- Plzeň;
- město Touškov;
- obec Chotíkov.

Spoluvlastnické podíly byly rozděleny takto: Městu Plzeň náleží 52/100 ve vztahu k celku, Městu Touškov 24/100 ve vztahu k celku a obci Chotíkov také 24/100 ve vztahu k celku předmětných nemovitostí. ZEVO se nachází na pozemcích v katastrálním území obce Chotíkov, kde má celkovou výměru 102 970 m<sup>2</sup> a dále na pozemcích v katastrálním území obce Kůstí, kde má celkovou výměru 96 369 m. Na počátku výstavby ZEVO Plzeň byla vytvořena a uzavřena nová smlouva, a to konkrétně „Smlouva o vytvoření dobrovolného svazku obcí“, která vychází z § 49 a následně ze zákona č. 128/2000 Sb. Spoluvlastnické podíly účastníků spravuje na základě dohody mezi všemi účastníky příspěvková organizace města Plzně – Správa infrastruktury města Plzně (SIMP). [21]

ZEVO Plzeň je zařízení určené k energetickému využití odpadů, zejména k dodávání elektrické energie a tepla. Vyprodukované teplo je určeno pro ohřev vody. Výstupní voda v horkovodu má teplotu 135 °C, vratná voda pak teplotu 70 °C. Za rok dokáže ZEVO Plzeň zpracovat až 110 000 tun komunálního odpadu, tzn. 12 tun/hod. ZEVO Plzeň je ekologický zdroj o výkonu 10,5 MWe / 31,7 MWt a je vybavený těmi nejmodernějšími prvky v této oblasti. Objekt spalovny využívá plochu 9 000 m<sup>2</sup> a součástí je také komín, který je vysoký 80 m. Zařízení se nachází poblíž města Plzeň, směrem na Karlovy Vary. [21]

Projekt ZEVO Plzeň započal studií, která se začala zpracovávat již v roce 2002. Společnost Plzeňská teplárenská, a.s. obdržela ke studii tohoto projektu grant ve výši téměř 250 000 USD. Studie, ze které vyplynulo, že je možné v ZEVO Plzeň spalovat přibližně 100 000 (dnes už 110 000) tun komunálního odpadu ročně, byla dokončena v roce 2003. Dalších několik let bylo ve znamení vášnivých a intenzivních debat mezi příznivci a odpůrci projektu. K zásadnímu rozhodnutí, kdy se Plzeňská teplárenská, a.s. rozhodla využívat nejmodernější technologii roštové spalovny, došlo v roce 2009. Ve stejném roce, v roce 2009, se v obci Chotíkov uskutečnilo veřejné referendum, na kterém se výstavba ZEVO Plzeň odsouhlasila. Na základě nesouhlasu a připomínek některých občanů a odpůrců byla vypracována studie o vlivu ZEVO Plzeň na životní prostředí (EIA), jejíž závěr byl kladný. Vypracování studie však trvalo další dva roky. [22]

Předpokládaný termín pro zkušební provoz v ZEVO Plzeň byl stanoven na 31.12.2015 a termín kolaudace na 31.12.2016. Ve skutečnosti byl zkušební provoz zahájen 12.8.2016. Důvodem bylo opakované posouvání termínu vydání stavebního povolení, které bylo způsobeno stížnostmi ekologických aktivistů a organizací. V současnosti je ZEVO Plzeň po úspěšné kolaudaci, která proběhla v březnu roku 2019, v plném provozu a probíhají zde přísné kontroly a pravidelné odstávky. [23]



Obr. 4.1: Finální podoba ZEVO Plzeň [3]

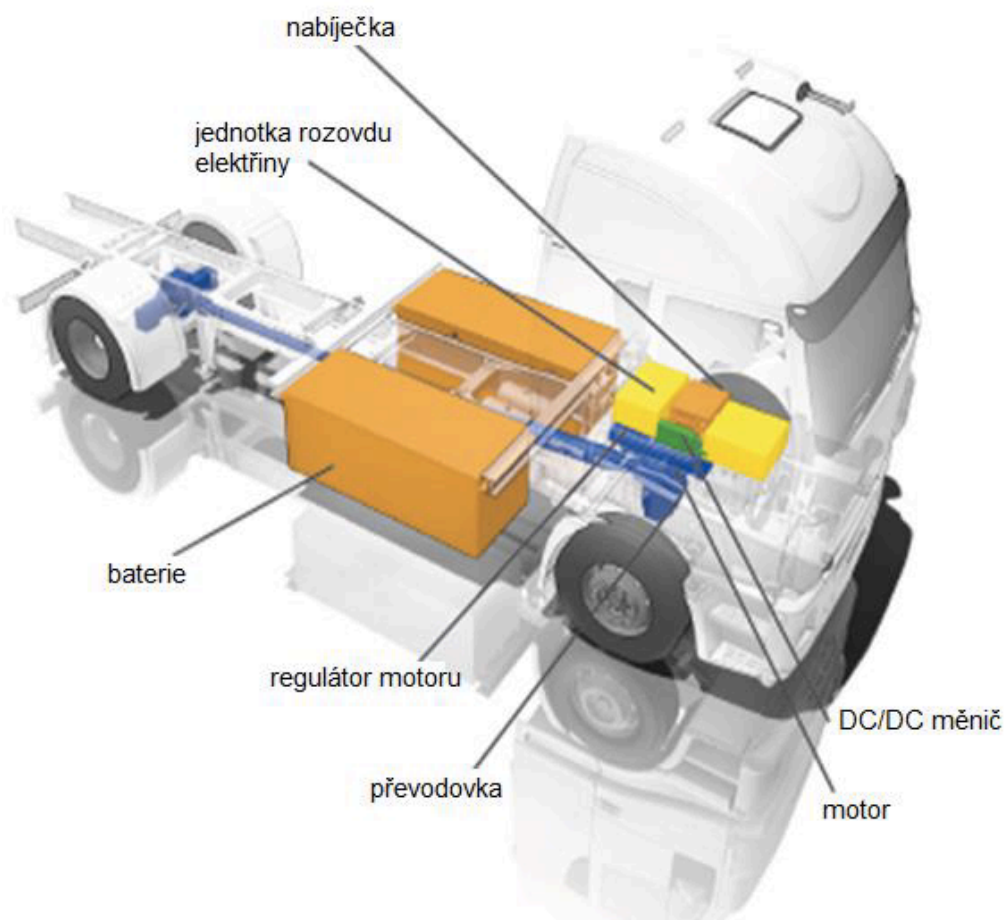


ZEVO Plzeň zaměstnává celkem 31 lidí a je zde nepřetržitý čtyřsměnný provoz. Na jedné směně pracuje pouze 6 pracovníků, a těmi jsou směnový vedoucí, operátor celého ZEVO, dále jeřábník, dva provozní zámečníci a provozní elektrikář.

## 4.2 Popis a základní technologie elektrických nákladních vozidel

Z důvodu, že diplomová práce zahrnuje návrh optimalizace dopravy s využitím elektrických nákladních vozidel, budou elektrická vozidla a jejich základní technologie v následujících řádcích popsána.

V současné době již nejde jen o osobní automobily, které mohou být poháněny elektrinou, ale jde také o užitková vozidla, jako jsou autobusy, dodávky, vozidla používaná v zemědělství a stavebnictví nebo právě nákladní vozidla. Dle mého názoru mají veškerá elektrická vozidla oproti klasickým vozidlům se spalovacím motorem několik výhod. Mezi zásadní řadím zejména vyšší účinnost, menší negativní dopady na životní prostředí, nižší hluk a minimalizaci vyprodukovaného CO<sub>2</sub>.



Obr. 4.2: Konstrukce elektrického nákladního vozidla [35]

Elektrická nákladní vozidla jsou poháněna stejně jako elektromobily elektřinou namísto nafty nebo benzínu. Energie k jejich pohonu pochází z baterie, která se dobíjí z elektrické sítě. Stejně jako u elektromobilů je elektrická energie přeměňována pomocí elektromotoru na energii mechanickou. Jednou z klíčových součástí elektrického systému je DC/DC měnič neboli stejnosměrný měnič. Tento měnič převádí stejnosměrný proud baterie, který napájí elektrickou síť, na střídavý proud potřebný k napájení vozidla. Konstrukce elektrického nákladního vozidla je zobrazena na Obr. 4.2. Velkou výhodou všech elektrických vozidel je využití přeměny kinetické energie při brždění na energii elektrickou. Tato energie se dá později využít k rekuperaci vozidla, protože je možné ji akumulovat v bateriích. Vlivem častého zastavování nákladních vozidel při svozu odpadu je právě rekuperace velmi příznivým jevem.

Mezi zásadní nevýhodu všech automobilů na elektrický pohon řadím omezenost dojezdu vůči okolním podmínkám. Například v zimních měsících je kapacita baterie vlivem používání ostatního příslušenství, jako je například topení, vyhřívání sedaček či volantu a dalších komponentů užívající elektrickou energii, snížena o cca 30 %. Naopak v letních měsících je to například využívání klimatizace, které snižují kapacitu baterie o 30 %. Na základě těchto předpokladů můžeme říci, že nejvhodnějším obdobím pro využívání veškerých elektromobilů je jaro a podzim. Neméně významnou nevýhodou je vysoká pořizovací cena elektromobilů a rovněž tak komplikovaná a zatím ne zcela vyřešená likvidace baterií.

### **4.3 Energetická bilance nákladních vozidel se spalovacím motorem a elektrických nákladních vozidel**

Poslední bod diplomové práce se zabývá zejména výpočtem bilancí. V této kapitole 4.3 jde konkrétně o bilanci energetickou. Jedná se o energetickou bilanci dopravy svozových vozidel odpadu z bodu A do bodu B, konkrétně z města Plzeň do obce Chotíkov, kde dochází k energetickému využití odpadů v ZEVO Plzeň. Energetická bilance bude počítaná na konkrétní svozové trase a bude nejdříve spočítána pro klasické nákladní vozidlo se spalovacím motorem a následně bude navržena optimalizace dopravy s využitím elektrického nákladního vozidla, u kterého se přepočte množství potřebné energie na absolvování trasy na minimální kapacitu baterie, která slouží jako zásobník elektrické energie pro elektrické nákladní vozidlo.

Výpočet energetické bilance bude vycházet z již existujících dat diplomové práce Jakuba Fencla z roku 2018, jelikož potřebná aktuální data pro rok 2021/2022, pro výpočet energetické bilance nebyla k dispozici. Zmiňovaná diplomová práce řeší energetickou bilanci dopravy odpadů v městě Plzeň velmi podrobně a precizně. Veškeré údaje a data byly poskytnuty odpadovou společností Čistá Plzeň, s.r.o. Autor práce Jakub Fencel s použitím jím získaných dat souhlasí.

#### **4.3.1 Energetická bilance vozidla odpadu implementovaná na nejvhodnější svozovou trasu**

K výpočtu energetické bilance nám musí být známy velikosti všech sil, které působí v průběhu jízdy na nákladní vozidlo pro svoz odpadu. Mezi tyto síly patří valivý odpor, odpor vzduchu, odpor sklonu vozovky a setrvačná síla. Celková síla působící na vozidlo se získá sečtením všech těchto dílčích sil. K určení velikosti všech sil a následnému výpočtu energetické bilance musíme znát následující: rychlost a hmotnost vozidla, typ vozidla, rozměr vozidla, profil absolvované trasy, počet obslužených nádob, hmotnost odpadu, dobu trvání celého cyklu svozu odpadu a průměrnou měsíční spotřebu paliva, v našem případě nafty. Kromě typu a rozměru vozidla jsou všechny tyto hodnoty proměnné v čase a v průběhu jízdy se mění, tedy nejsou konstantní. Například hmotnost vozidla na svoz odpadu se mění v závislosti na sesbíraném odpadu a mění se tedy na každé zastávce, kde se odpad nakládá.

Dalším velmi důležitým údajem k zjištění energetické bilance je určení nadmořské výšky jednotlivých bodů trasy. Nadmořská výška, ze které byl následně vypočítán sklon vozovky v jednotlivých úsecích, byla získána po převedení získaných údajů z databáze do analýzy výškopisu.

Pro výpočet energetické bilance jsem zvolila jednu z tras, kterou absolvují nákladní vozidla pro svoz odpadu z města Plzeň do ZEVO Plzeň v obci Chotíkov. Konkrétně se jedná o trasu z plzeňské čtvrti Slovany do obce Chotíkov, trasa je zobrazena na Obr. 4.3 a jedná se o nejvhodnější trasu z hlediska sklonu vozovky. Pro docílení správného výpočtu musela být trasa rozdělena na několik jednotlivých úseků, pro které se vypočetla průměrná rychlost vozidla a další potřebné hodnoty. Všechna potřebná data byla zjištěna z databáze společnosti Čistá Plzeň, s.r.o. a jsou převzata z diplomové práce Jakuba Fencla, který mi dal povolení tyto data využít.



Obr. 4.3: Zobrazení trasy Slováky – Chotíkov [35]

Pro výpočet energetické bilance byly použity parametry nákladního vozidla na svoz odpadu typu Mercedes-Benz Antos s nástavbou Zoeller s dieslovým motorem, které je zobrazeno na Obr. 4.4. Tabulka na následující stránce (Tab. 4.1) obsahuje všechny potřebné parametry daného vozidla (např. maximální přípustnou provozní a užitečnou hmotnost, průměrnou spotřebu nafty, výkon zdvihače a dobu vykládky jedné nádoby). Pořizovací cena je orientační, závisí na typu nástavby a na typu zdvihače.



Tab. 4.1: Technické parametry klasického nákladního vozidla na svoz odpadu typu Mercedes-Benz Antos s nástavbou Zoeller s dieselovým motorem

Průměrná spotřeba nafty	75 l/100 km
Maximální přípustná provozní hmotnost	26 000 kg
Objem nádrže	300 l
Maximální přípustná užitečná hmotnost	10 000-12 000 kg
Pohotovostní hmotnost	6 400 kg
Hmotnost nástavby	6 354 kg
Hmotnost zdvihače	610 kg
Průměrná hmotnost posádky	240 kg
Celková hmotnost vozidla	13 604 kg
Výkon zdvihače	50 000 W
Doba vykládky jedné nádoby	9 s
Pořizovací cena	4 500 000 Kč

Zdroj: Datové listy vozidla Mercedes-Benz Antos s nástavbou Zoeller a Interní materiály společnosti AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.



Obr. 4.4: Vozidlo na svoz odpadu s dieselovým motorem Mercedes-Benz Antos [26]

Dalšími důležitými parametry pro výpočet energetické bilance je výhřevnost a hustota paliva (v našem případě výhřevnost a hustota motorové nafty – uvedeny v Tab. 4.2), účinnost diesellového motoru, energetická spotřeba hydraulického lisu a energetická spotřeba zdvihače nádob. Energetická spotřeba hydraulického lisu závisí na mnoha faktorech, ale v průměru činí 40 % z celkové spotřeby vozidla.

Tab. 4.2: Potřebné parametry motorové nafty pro výpočet energetické bilance

Veličina	Označení	Hodnota	Jednotka
Výhřevnost	H	42,61	MJ/kg
Hustota	$\rho$	840	kg/m <sup>3</sup>

Nyní k samotnému výpočtu energetické bilance nákladního vozidla pro svoz odpadu. Nákladní vozidlo urazilo vzdálenost 50,13 km – vozidlo jelo ze sídla společnosti Čistá Plzeň, s.r.o., přes plzeňskou čtvrť Slovany, kde docházelo ke sběru odpadu, až do obce Chotíkov a zpět do sídla odpadové společnosti. Po převedení trasy do analýzy výškopisu byla zjištěna nadmořská výška nejnižšího a nejvyššího bodu této trasy – 304,57 m n.m. a 457,43 m n.m.

Dle údajů z databáze společnosti Čistá Plzeň, s.r.o. strávilo vozidlo na této trase 7 hodin a 18 minut (26 280 sekund), ale v pohybu bylo méně než polovinu tohoto času, přesně 3 hodiny a 8 minut (11 280 sekund). Ve výpočtech je bráno v úvahu, jakou rychlostí jelo vozidlo v daných časových úsecích, na které byla trasa rozdělena. Vozidlo se pohybovalo často rychlostí kolem 50 km/h, což vychází na úseky po městě a rychlostí kolem 90 km/h, což naopak připadá na úsek mezi městem Plzeň a obcí Chotíkov. Nákladní vozidlo, které absolvovalo tuhle trasu, při níž obsloužilo 374 odpadních nádob, nasbíralo za celou svoji směnu 5 000 kilogramů odpadu. Hmotnost jednotlivých nádob byla určena z následujícího vztahu (pro malé zjednodušení výpočtu byla zavedena shodná hmotnost všech nádob):

$$m_1 = \frac{m_c}{p_n} = \frac{5000}{374} = 13,37 \text{ kg} \quad (4.1)$$

kde  $m_1$  je hmotnost odpadu v jedné nádobě,  $m_c$  je celková hmotnost odpadu a  $p_n$  vyznačuje počet obslužených nádob. Celková hmotnost vozidla s nákladem se získala sečtením hmotnosti vozidla, což je na základě datových listů 13 604 kg a hmotnosti nasbíraného odpadu, který činí 5 000 kg. Sečtením těchto dvou hmotností se dostáváme k hodnotě 18 604 kg, která nepřekračuje maximální přípustnou provozní hmotnost vozidla 26 000 kg.

Při cestě do ZEVO Plzeň se hmotnost vozidla měnila v závislosti na množství obslužených nádob a postupně rostla. Při cestě zpět ze ZEVO Plzeň do společnosti Čistá Plzeň, s.r.o., byla hmotnost konstantní a odpovídala hmotnosti 13 604 kg, což je celková hmotnost nezatíženého vozidla.

Dále bylo zjištěno zrychlení pro jednotlivé úseky trasy. Ve chvíli, kdy má zrychlení kladnou hodnotu, vozidlo v daný úsek zrychluje, a naopak ve chvíli, kdy je jeho hodnota záporná, vozidlo zpomaluje.

Z výše uvedených údajů a hodnot byla vypočtena výsledná síla  $F$ , která se počítá pro jednotlivé úseky trasy v průběhu celé jízdy zvlášť. Výsledná síla  $F$  se získá sečtením všech dílčích sil působících na vozidlo. Pro přepočet síly na energii, kterou potřebujeme z důvodu výpočtu energetické bilance, byl využit následující vzorec:

$$E_j = F \cdot s \quad (Nm; J) \quad (4.2)$$

Pro výpočet energetické bilance se uvažuje přepočet:

$$1 \text{ kWh} = 3\,600\,000 \text{ J} \quad (4.3)$$

$$E_j = 67,83 \text{ kWh} \quad (4.4)$$

Po dosazení všech získaných hodnot do výše uvedených vztahů, jsme dostali kladné a záporné hodnoty energie. Kladné hodnoty dosáhly **67,83 kWh** a znázorňují takovou energii, kterou musí vozidlo vynaložit pro překonání daného úseku. Záporné hodnoty dosáhly **19,29 kWh** a znázorňují takovou energii, která má potenciál pro možnou rekuperaci. Tyto hodnoty však nezohledňují energetickou spotřebu hydraulického lisu a energetickou spotřebu zdvihače nádob, a tak se dostáváme k následujícímu vztahu, ze kterého je možné určit energetickou spotřebu zdvihače nádob:

$$E_z = P \cdot t = 50 \cdot 0,935 = 46,75 \text{ kWh} \quad (4.5)$$

kde  $P$  je výkon zdvihače, což je technický parametr uvedený v datových listech a činí 50 000 W a  $t$  je doba vykládky všech nádob. K této hodnotě jsme se dostali vynásobením doby vykládky jedné nádoby a počtem všech nádob. Energetická spotřeba zdvihače při obsluze 374 nádob činí 46,75 kWh.

Pro výpočet energetické spotřeby lisu musíme znát průměrnou spotřebu vozidla, chemické vlastnosti motorové nafty a délku trasy. Nejdříve si ze vztahu:

$$V = \frac{s \cdot \phi_{spotřeba}}{100} = \frac{50,13 \cdot 89,5}{100} = 44,87 \text{ l} = 0,04487 \text{ m}^3 \quad (4.6)$$

určíme množství potřebné nafty pro celkovou trasu 50,13 km. Množství potřebné nafty na tuto vzdálenost je tedy 0,04487 m<sup>3</sup>. K hmotnosti využitého paliva se dostaneme pomocí následujícího vztahu:

$$m = \rho \cdot V = 840 \cdot 0,04487 = 37,69 \text{ kg} \quad (4.7)$$

Energie, která vzniká při provozu vozidla se spočítá ze vztahu:

$$\begin{aligned} E_{nafty} &= m \cdot H = 37,6 \cdot 42,61 \cdot 10^6 = 1\,605,87 \text{ MJ} = \\ &= 446,08 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4.8)$$

Tato hodnota by platila pouze při 100 % účinnosti motoru. Skutečná účinnost spalovacího motoru však není 100 %, ale 40 %, takže reálný údaj pro výpočet energie, která vzniká při provozu vozidla dostaneme ze vztahu:

$$\begin{aligned} E_{nafty40\%} &= \eta \cdot m \cdot H = 0,4 \cdot 37,6 \cdot 42,61 \cdot 10^6 = 642,35 \text{ MJ} = \\ &= 178,43 \text{ kWh} \end{aligned} \quad (4.9)$$

Z celkové spotřebované energie vozidla pro danou trasu se z následujícího vzorce dopočte energetická spotřeba lisu (40 % celkové spotřebované energie vozidla):

$$E_L = 0,4 \cdot E_{nafty40\%} = 0,4 \cdot 178,43 = 71,37 \text{ kWh} \quad (4.10)$$

A nyní lze spočítat celkovou energetickou bilanci, která vychází ze vztahu:

$$E_C = E_j + E_Z + E_L = 67,83 + 46,75 + 71,37 = 185,95 \text{ kWh} \quad (4.11)$$

Výpočet této energie (185,95 kWh) nerespektuje schopnost rekuperace. Pro výpočet výsledné energie s ohledem na rekuperaci si nejdříve musíme určit rekuperovanou energii vozidla. Brzdový regenerativní systém má účinnost nejčastěji 20 %, z toho tedy vychází následující vzorec pro výpočet rekuperované energie  $E_R$ , kde se za energii dosazuje záporná



hodnota energie, která nám vyšla 19,29 kWh. Následuje vztah pro výpočet celkové výsledné energie  $E$ :

$$E_R = \eta_R \cdot E_- = 0,2 \cdot 19,29 = 3,86 \text{ kWh} \quad (4.12)$$

$$E = E_C - E_R = 185,95 - 3,86 = \mathbf{182,1 \text{ kWh}} \quad (4.13)$$

Výsledná energie potřebná pro překonání dané trasy s ohledem na rekuperaci vozidla činí **182,1 kWh**.

Kdybychom chtěli na tuto trasu, kde potřebná energie pro absolvování trasy činí 182,1 kWh, implementovat model elektrického nákladního vozidla, vycházeli bychom z následujícího vztahu:

$$E_{baterií} = \frac{E}{\eta_{em}} = \frac{182,1}{0,95} = \mathbf{191,68 \text{ kWh}} \quad (4.14)$$

kde  $E$  je výsledná energie potřebná pro absolvování trasy a  $\eta_{em}$  je účinnost elektrického motoru, která činí 95 %. Z tohoto vztahu nám vychází, že minimální kapacita baterie, která slouží jako zásobník elektrické energie, potřebná pro překonání trasy z plzeňské čtvrti Slovany do obce Chotíkov je **192 kWh**.

#### 4.4 Rentabilita elektrických nákladních vozidel

Pro výpočet rentability a ekonomické bilance jsem vycházela z interních dat dvou odpadových společností, a to konkrétně společnosti AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. a společnosti Čistá Plzeň, s.r.o. Nejdůležitější parametry pro porovnání rentability elektrických vozidel a vozidel se spalovacími motory jsou ceny pohonných hmot, elektřiny a pořizovací náklady obou typů vozidel. Výše uvedené ceny, a s tím související náklady rostou v současné době nepředvídatelným tempem a budoucnost nelze v tomto ohledu predikovat.

I přes veškeré výhody elektrických vozidel je zde jedna zásadní nevýhoda, kterou je velmi vysoká pořizovací cena, způsobena zejména velmi vysokou cenou nabíjecích baterií. Investiční náklady vozidel využívající elektrický pohon mohou tak být až třikrát vyšší než pořizovací náklady klasických vozidel se spalovacím motorem. Na druhou stranu, provozní náklady elektrických vozidel jsou mnohem nižší než provozní náklady vozidel se spalovacím motorem. Celkové náklady spojené s vozidly na svoz odpadu můžeme rozdělit na dvě sekce. První sekcí jsou pořizovací nebo také investiční náklady, se kterými se pojí zejména pořizovací cena vozidla. Druhou sekcí jsou náklady provozní, mezi které řadíme zejména výdaje za pohonné hmoty (v našem případě naftu) a u elektrických vozidel výdaje za elektřinu. Další složkou této sekce je udržování vozidla ve stavu, kdy je schopno plného provozu. Náklady spojené s touto poslední zmiňovanou složkou jsou rozhodně vyšší u klasických vozidel se spalovacím motorem, neboť je zapotřebí větší a zároveň dražší údržba těchto vozidel. Řadíme sem drobné opravy, výměnu oleje, palivových a vzduchových filtrů, žhavicích nebo zážehových svíček apod.

Pro porovnání s klasickým nákladním vozem na svoz odpadu s dieslovým motorem, byl použit vůz, který vznikl z iniciativy vídeňského magistrátního oddělení MA 48, které má na starosti odpadové hospodářství. Základ tvoří popelářské auto MAN, přestavbu provedly firmy Framo a MUT. Pohon vozidla i provoz nástavby, tedy stlačování odpadu a jeho vyprazdňování jsou plně elektrické a veškerou energii tak vůz čerpá z rozvodné sítě. Vídeň již testovala i hybridní svozová vozidla se spalovacím motorem a nástavbou využívající elektřinu, tato vozidla se ale v provozu neosvědčila. Kapacita baterií nevydržela denní provoz a nástavby tak v průběhu dne přecházely na dieslový pohon. Jmenovitý výkon vestavěných lithium-iontových baterií (Li-Ion baterie) plně elektrického popelářského vozidla je 230 kWh a měl by vystačit na celodenní provoz, dojezd by měl převýšit 100 km a zahrnuje všechny činnosti spojené s dopravou odpadu, jako je přeprava, stlačení a vyprazdňování odpadu. Nabíjet

se může v každé garáži, stačí zásuvka 400 V. Měníč napětí je totiž součástí palubního systému a není tak zapotřebí budovat speciální dobíjecí stanice. Doba nabíjení závisí na nabíjecím systému, přičemž u palubního nabíjecího systému a připojení CEE 32 A/400 V činí 12 hodin a u rychlého nabíjení 2 hodiny. Technické parametry tohoto elektrického nákladního vozidla a jeho baterie jsou uvedeny v Tab. 4.3 a 4.4. Toto elektrické nákladní vozidlo, které se využívá ve Vídni ve zkušebním provozu je zobrazeno na Obr. 4.5. [42]

Tab. 4.3: Technické parametry elektrického nákladního vozidla na svoz odpadu MAN

Výkon	400 kWh
Maximální přípustná provozní hmotnost	27 000 kg
Maximální přípustná užitečná hmotnost	11 000 kg
Objem	18 m <sup>3</sup>
Počet náprav	3
Rozměry	9,10 x 2,55 x 3,45 m

Tab. 4.4: Technické parametry baterie elektrického nákladního vozidla na svoz odpadu MAN

Systém	2 x Li-Ion Baterie
Jmenovitý výkon	230 kWh
Jmenovité napětí	600 V
Dojezd	100 km
Doba nabíjení	12 h / 2 h
Hmotnost	2 300 kg (2 x 1 150 kg)
Provozní teplota	-40 až +50 °C
Teplota nabíjení	0 až +40 °C



Obr. 4.5: Elektrické nákladní vozidlo pro svoz odpadu MAN [42]

Pro srovnání celkových nákladů vozidel na svoz odpadu jsem vybrala ze skupiny nákladních vozidel se spalovacím motorem model Mercedes-Benz Antos, jehož parametry jsou uvedeny v podkapitole 4.3 v Tab. 4.1. Tento model v současné době využívá ke svozu odpadu z města Plzeň do ZEVO Plzeň společnost AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. i společnost Čistá Plzeň, s.r.o. Ze skupiny elektrických nákladních vozidel jsem vybrala již zmiňovaný model MAN.

Následující tabulka (Tab. 4.5) obsahuje údaje o pořizovacích cenách vybraného nákladního vozidla se spalovacím motorem i elektrického nákladního vozidla. Pořizovací cena nákladního vozidla Mercedes-Benz Antos mi byla poskytnuta společností AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. Přesnou cenu elektrického vozidla MAN nelze určit a vychází z odhadu odborníků zmiňované společnosti, jedná se tedy o cenu orientační.

Tab. 4.5: Pořizovací ceny nákladních vozidel pro svoz odpadu

Typ vozidla	Pořizovací cena (Kč)
Nákladní vozidlo se spalovacím motorem Mercedes-Benz Antos	4 500 000
Nákladní elektrické vozidlo MAN	11 000 000

Tab. 4.6: Porovnání provozních nákladů vozidla se spalovacím motorem Mercedes-Benz Antos a elektrického nákladního vozidla MAN

		<b>Mercedes-Benz Antos</b>	<b>MAN</b>
Spotřeba el. energie	kWh / km		2,3 kWh
Průměrná cena el. energie	Kč / kWh		2,30 Kč
<b>CELKEM náklady spotřeby el. energie</b>	<b>Kč / 1 km</b>		<b>5,29 Kč</b>
Denní nájezd	km		50 km
Roční nájezd 251 dní (21 dní/měsíc)	km / rok		13 550 km
Průměrná spotřeba nafty	l / 100 km	75 l	
	l / 1 km	0,75 l	
Průměrná cena nafty	Kč / l	28,00 Kč	
CELKEM náklady PHM	Kč / 1 km	21,00 Kč	
Denní nájezd	km	50 km	
Roční nájezd 251 dní (21 dní/měsíc)	km / rok	13 550 km	
<b>CELKEM roční spotřeba PHM a el. energie</b>	<b>Kč / rok</b>	<b>284 550,00 Kč</b>	<b>71 679,50 Kč</b>
Servisní náklady za rok	Kč / rok	80 000,00 Kč	15 000,00 Kč
<b><i>NÁKLADY na 8 let provozu</i></b>			
Počet km		108 400 km	108 400 km
<b>CELKEM spotřeba PHM/el. energie</b>		<b>2 276 400,00 Kč</b>	<b>573 436 Kč</b>
Povinné ručení, havarijní pojistka		328 000,00 Kč	600 000,00 Kč
Silniční daň		120 000,00 Kč	0,00 Kč
Servisní náklady		640 000,00 Kč	120 000,00 Kč
<b>CELKEM provozní náklady</b>		<b>3 364 400,00 Kč</b>	<b>1 293 436 Kč</b>
<b>Celkové náklady na 1 km</b>		<b>31,04 Kč</b>	<b>11,93 Kč</b>
<b>Rozdíl za 8 let</b>		<b>2 070 964,00 Kč</b>	

Ve výše uvedené tabulce (Tab. 4.6) jsou porovnány provozní náklady vozidla se spalovacím motorem Mercedes-Benz Antos a elektrického nákladního vozidla MAN. Pro porovnání rentability obou typů vozidel jsem stanovila dobu provozu těchto vozidel na 8 let. Na základě dostupných informací se jedná o předpokládanou životnost baterií elektrického nákladního vozidla. Po této době se stává elektrické vozidlo neprodejné, neboť náklady na výměnu baterií za nové jsou v řádech jednotek milionů a výměna baterií je tedy nerentabilní.

Ceny pohonných hmot, v našem případě motorové nafty, i elektřiny, se v průběhu let i měsíců mění a s tím se mění i provozní náklady vozidel. V posledním roce, zejména vlivem situace na Ukrajině, došlo k nečekanému a velmi výraznému nárůstu pohonných hmot, avšak ceny energií, včetně elektřiny také rostou závratným tempem. Ceny pohonných hmot i elektřiny jsem stanovila na základě prozkoumání trhu a jedná se o průměrné ceny bez DPH za období od března 2021 do února 2022. Pro výpočet palivových nákladů u klasických vozidel s naftovým motorem jsem stanovila průměrnou cenu motorové nafty na 28 Kč za 1 litr bez DPH. Pro výpočet provozních nákladů u vozidel elektrických motorů jsem stanovila průměrnou cenu elektrické energie na 2,30 Kč za 1 kWh bez DPH. Jedná se o cenu, která vychází ze speciálního zvýhodněného tarifu D27d od společnosti E.ON, který je určen výhradně pro registrované majitele elektromobilů. Tarif D27d může využívat každý majitel nebo provozovatel elektrického vozidla, který se prokáže vlastnickým nebo užívacím právem. Jde o tarif s nižší cenou po dobu osmi hodin denně. [37]

Z výše uvedené tabulky je zřejmé, že úspora na provozních nákladech za 8leté období je více než 2 000 000 Kč ve prospěch elektrického nákladního vozidla, přičemž pořizovací náklady tohoto vozidla jsou o 6 500 000 Kč vyšší než u automobilu s dieselovým pohonem (tato hodnota vychází z Tab. 4.5). Veškeré údaje a odhadované hodnoty obsažené v tabulce vychází z interních informací technických pracovníků společnosti AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.

Následující tabulka Tab. 4.7 obsahuje aktuální data pro období od března roku 2021 do února roku 2022, která mi byla poskytnuta společností Čistá Plzeň, s.r.o. Jedná se o měsíční nájezdy včetně měsíční průměrné spotřeby jednoho svozového vozu, který jezdí zmiňovanou trasu z předchozí podkapitoly 4.3.1 – Slovany-Chotíkov. Z těchto údajů jsem si vypočetla měsíční výdaje za naftu i za elektřinu a z toho jednotlivé měsíční úspory. V tabulce Tab. 4.8 jsou následně shrnuty celkové roční náklady na naftu, které činí pro dané auto a danou

trasu 211 721 Kč. Pro stejné období jsou zde shrnuty celkové roční náklady na elektřinu, což vychází na 52 023 Kč. Z tabulky je zřejmé, že dochází ke značným úsporám na výdajích u elektrických nákladních vozidel a že celková roční úspora je 159 698 Kč.

Tab. 4.7: Měsíční výdaje za naftu a elektřinu na trase z plzeňské čtvrti Slovany do obce Chotíkov za rok 2021/2022

Měsíc/rok	Počet najetých km	Spotřeba (l/100 km)	Výdaje za naftu (Kč)	Výdaje za elektřinu (Kč)	Měsíční úspora
3/2021	1 044	83	24 263	5 523	18 740
4/2021	1 048	79	23 182	5 544	17 638
5/2021	734	77	15 825	3 883	11 942
6/2021	453	68	8 625	2 396	6 229
7/2021	948	72	19 112	5 015	14 097
8/2021	758	67	14 220	4 010	10 210
9/2021	844	76	17 960	4 465	13 495
10/2021	927	79	20 505	4 904	15 601
11/2021	688	75	14 448	3 640	10 808
12/2021	817	82	18 758	4 322	14 436
1/2022	837	80	18 749	4 428	14 321
2/2022	736	78	16 074	3 893	12 181

Tab. 4.8: Celkové roční náklady za naftu a elektřinu, včetně roční úspory při využití elektrického nákladního vozidla

Nákladní vozidlo se spalovacím motorem Mercedes-Benz Antos	211 721 Kč
Nákladní elektrické vozidlo MAN	52 023 Kč
<b>Roční úspora</b>	<b>159 698 Kč</b>

## 4.5 Výpočet uhlíkové stopy

Uhlíková stopa obecně označuje celkové množství skleníkových plynů a její hodnota se nejčastěji vyjadřuje v množství vyprodukovaného oxidu uhličitého. Mezi druhy skleníkových plynů mimo CO<sub>2</sub> řadíme dále – metan, oxid dusný a fluorované plyny. Velké množství skleníkových plynů může vést k řadě nepříznivých jevů, jako je například globální oteplování, a proto je velice důležité řídit uhlíkové stopy lidských činů a objektů (v našem případě nákladních vozidel pro svoz odpadu). Velikost uhlíkové stopy závisí na mnoha faktorech a čím je větší, tím větší je zátěž pro životní prostředí.

Právě oxid uhličitý CO<sub>2</sub>, kterému se budu v závěru práce podrobně věnovat, tvoří podle americké agentury EPA až 81 % skleníkových plynů. CO<sub>2</sub> pochází zejména se spalování fosilních paliv, jako je uhlí, ropa a zemní plyn. Podle stejné agentury tvoří doprava, včetně nákladních a osobních vozidel, letecké a námořní dopravy a železnice až 34 % emisí oxidu uhličitého. Pro výpočet uhlíkové stopy je zapotřebí znát následující hodnoty: průměrnou spotřebu paliva, celkový počet najetých kilometrů, průměrný počet kilometrů najetých za jeden litr paliva a typ paliva. [39]

Dle mého názoru jsou v souvislosti s touto problematikou 3 možnosti, jak optimalizovat dopravu nákladních vozidel pro svoz odpadu a snížit tak uhlíkovou stopu. První možností je přechod na alternativní paliva nebo alternativní zdroje energie (přechod na elektromobilitu), další možností je zlepšení palivové účinnosti prostřednictvím vyspělých technologií a poslední možností je zlepšení provozních postupů, jako je například snížení doby nečinnosti.



Obr. 4.6: Často využívaný symbol pro uhlíkovou stopu [39]



K výpočtu uhlíkové stopy je zapotřebí znalost přesných vstupních hodnot, jejichž zjištění patří mezi náročnější disciplíny z důvodu vysoké odbornosti. Pro pravdivost vstupních hodnot bychom měli brát v potaz různé, na sobě nezávislé zdroje. Výpočet uhlíkové stopy, konkrétně nákladních vozidel pro svoz odpadu, zahrnují následující: ekologickou náročnost výroby všech komponentů, jejich dopravu, montování a samotný provoz vozidla.

V závěru této práce jsem se rozhodla uvést příklad výpočtu uhlíkové stopy nákladního vozidla pro svoz odpadu Mercedes-Benz Antos se spalovacím dieselovým motorem, které využívá ke svozu odpadu společnost AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. i společnost Čistá Plzeň, s.r.o. a dále pak příklad výpočtu uhlíkové stopy elektrického nákladního vozidla modelu MAN, které bylo použito v práci k optimalizaci dopravy svozu odpadu.

#### 4.5.1 Výpočet emisí CO<sub>2</sub> vznikajících při samotném spalování paliva

Nejprve je důležité si uvědomit, že i při samotném spalování paliva vzniká určité množství CO<sub>2</sub>. Pro výpočet uhlíkové stopy je tedy nutné si nejdříve spočítat přesné množství CO<sub>2</sub>, které vyprodukuje jeden spálený litr pohonné hmoty při jeho samotném spalování. Vzhledem k tomu, že obě výše zmiňované odpadové společnosti využívají nákladní automobily pro svoz odpadu s naftovým motorem, budu se nadále zaměřovat zejména na tyto motory. Výpočet uhlíkové stopy vznikající při samotném spalování jednoho litru benzínu a jednoho litru LPG zde bude uveden pouze pro srovnání.

Naftový motor: 1 litr nafty má hmotnost 835 g a obsahuje 86,2 % uhlíku. Po přepočtu na hmotnost se jedná o 720 g uhlíku v každém jednom litru nafty. Víme, že pro spálení jednoho litru nafty je třeba 1920 g kyslíku a z toho již můžeme dopočítat přesné množství CO<sub>2</sub> z jednoho spáleného litru nafty. Po součtu hmotnosti uhlíku a kyslíku dostáváme přesné množství CO<sub>2</sub> vznikajícího při samotném spalování 1 litru nafty, toto množství je 2640 g CO<sub>2</sub>.

Benzinový motor: 1 litr benzínu má hmotnost 750 g a obsahuje 87 % uhlíku. Po přepočtu na hmotnost se jedná o 752 g uhlíku v každém jednom litru benzínu. Víme, že pro spálení jednoho litru benzínu je třeba 1740 g kyslíku a z toho již můžeme dopočítat přesné množství CO<sub>2</sub> z jednoho spáleného litru benzínu. Po součtu hmotnosti uhlíku a kyslíku dostáváme přesné množství CO<sub>2</sub> vznikajícího při samotném spalování 1 litru benzínu, toto množství je 2392 g CO<sub>2</sub>.

Pohon LPG (zkapalněný ropný plyn): 1 litr LPG má hmotnost 550 g a obsahuje 82,5 % uhlíku. Po přepočtu na hmotnost se jedná o 454 g uhlíku v každém jednom litru LPG. Víme, že pro spálení jednoho litru LPG je třeba 1211 g kyslíku a z toho již můžeme dopočítat přesné množství  $\text{CO}_2$  z jednoho spáleného litru LPG. Po součtu hmotnosti uhlíku a kyslíku dostáváme přesné množství  $\text{CO}_2$  vznikajícího při samotném spalování 1 litru LPG, toto množství je 1665 g  $\text{CO}_2$ .

Elektrický motor: jelikož zde nedochází ke spalování pohonných hmot, tyto výše uvedené emise u elektromotorů nevznikají a tím pádem jsou nulové, což obecně řadíme mezi jednu z největších výhod využívání elektrických vozidel.

Tab. 4.9: Množství  $\text{CO}_2$  vznikající při samotném spalování jednoho litru paliva (převzato z [38])

Druh paliva	Množství $\text{CO}_2$ (g)
Nafta	2640
Benzin	2390
LPG	1660
Elektřina	0

Z výše uvedené tabulky (Tab. 4.9) je patrné, že u spalovacích motorů se nejmenší množství  $\text{CO}_2$  vyprodukuje samotným spalováním zkapalněného ropného plynu (LPG) – 1660 g  $\text{CO}_2$ , a naopak největší množství  $\text{CO}_2$  připadá na spálení jednoho litru nafty – 2640 g  $\text{CO}_2$ . Hodnoty u nafty, benzínu i LPG jsou uváděny v gramech a je to množství, které vzniká spalováním jednoho litru paliva. Zde můžeme vidět značnou výhodu ve využívání elektrických nákladních vozidel, neboť u nich nedochází vlivem používání elektrického motoru ke spalování paliva a tím pádem jsou tyto emise nulové.

#### 4.5.2 Výpočet emisí $\text{CO}_2$ u nákladních vozidel se spalovacím motorem

Pro výpočet uhlíkové stopy nákladních dieselových i benzinových vozidel se spalovacím motorem je zapotřebí vyčíslit ekologickou náročnost výroby jednoho litru nafty nebo benzínu. Nafta i benzin se získává destilací a rafinací ropy při středně vysokých teplotách. Pro rafinaci ropy na jeden litr nafty je zapotřebí 0,23 kWh elektrické energie a na jeden litr benzínu je to o 0,02 kWh této energie méně, tedy 0,21 kWh. Abychom došli k potřebné hodnotě, musíme přepočíst tuto elektrickou energii na množství vyprodukovaného  $\text{CO}_2$ .

Na tento přepočít jsem využila energetický mix platný pro Českou republiku, ve kterém:

$$\mathbf{1 \text{ vyrobená kWh} = 0,52 \text{ kg CO}_2} \quad (4.15)$$

Přepočít elektrické energie potřebné na výrobu jednoho litru nafty na množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>:

$$0,23 \cdot 0,52 = 0,1196 \text{ kg CO}_2 \quad (4.16)$$

Přepočít elektrické energie potřebné na výrobu jednoho litru benzínu na množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub>:

$$0,21 \cdot 0,52 = 0,1092 \text{ kg CO}_2 \quad (4.17)$$

Výroba 1 litru nafty vyprodukuje po zaokrouhlení 0,120 kg CO<sub>2</sub>, což je o něco málo více, než vyprodukuje výroba 1 litru benzínu. Na výrobu jednoho litru benzínu připadá 0,109 kg CO<sub>2</sub>.

Dalším nutným krokem pro výpočet hodnoty celkové uhlíkové stopy je zjištění průměrné spotřeby nákladních vozidel. Jak již bylo zmíněno, odpadové společnosti využívají ke svozu odpadu nákladní vozidla s dieselovým motorem, a proto zde bude řešena varianta pro dieselové motory. Průměrná spotřeba svozového vozidla Mercedes-Benz Antos činí 75 l/100 km. Dále je zapotřebí si určit celkový nájezd vozidel. K určení tohoto nájezdu jsem vycházela z tabulky Tab. 4.6, kde tento nájezd činí 108 400 km za 8 let. Při průměrné spotřebě 75 l/100 km spálilo pro tento nájezd nákladní vozidlo s naftovým motorem 81 300 l nafty. Výroba tohoto množství paliva vyprodukovala 9 756 kg CO<sub>2</sub>, což vychází z následujícího výpočtu:

$$81\,300 \cdot 0,120 = 9\,756 \text{ kg CO}_2 \quad (4.18)$$

Samotné spalování 81 300 l nafty vyprodukuje 214 632 kg CO<sub>2</sub>. Tuto hodnotu jsme získali vynásobením spotřebované nafty za 8 let a množstvím CO<sub>2</sub> vzniklého samotným spálením jednoho litru nafty. Po sečtení vyprodukovaného množství CO<sub>2</sub> samotným spalováním a množství emisí spojených s výrobou nafty docházíme k celkové produkci CO<sub>2</sub> u spalovacího dieselového motoru za sledované období 8 let:

$$214\,632 + 9\,756 = 224\,388 \text{ kg CO}_2 \quad (4.19)$$

### 4.5.3 Výpočet emisí CO<sub>2</sub> u elektrických nákladních vozidel

Pro výpočet uhlíkové stopy u elektrických nákladních vozidel je zásadní ekologická náročnost výroby baterií. Její hodnota se udává ve velmi velkém rozmezí. Pro výpočet uhlíkové stopy v tomto bodě budeme uvažovat baterii již zmiňovaného modelu elektrického nákladního vozidla MAN, který disponuje Li-Ion baterií s jmenovitým výkonem 230 kWh.

Množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě baterie elektrického nákladního vozidla MAN vychází z množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě baterie s kapacitou 100 kWh. Při výrobě takovéto baterie se vyprodukuje 15 000-20 000 kg CO<sub>2</sub>. V případě baterie u elektrického vozidla typu MAN, kde se jedná o baterii s kapacitou 230 kWh je tedy její výroba zatížena emisemi 28 000-35 000 kg CO<sub>2</sub>. Ve výpočtu jsem uvažovala průměrnou hodnotu 32 000 kg CO<sub>2</sub>.

Další množství CO<sub>2</sub>, které se produkuje u elektrických nákladních vozidel pochází z výroby elektřiny. Pro výpočet takového množství jsem využila již zmiňovaný energetický mix platný pro Českou republiku, ve kterém je 1 kWh krytá 0,52 kg CO<sub>2</sub>. K výpočtu je nutné určit, kolik kWh bylo potřeba na nájezd po dobu 8 let, tedy na nájezd 108 400 km. Tato hodnota činí 249 320 kWh a po vynásobení s předem stanovenou hodnotou 0,52 kg CO<sub>2</sub> se dostáváme k množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě elektřiny potřebné k dobíjení baterií na základě energetického mixu platného pro ČR, které činí 128 698 kg CO<sub>2</sub>. Zjednodušený výpočet vypadá takto:

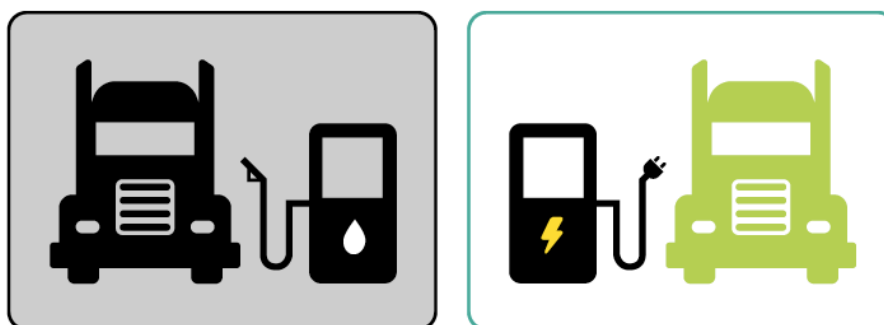
$$2,3 \text{ kWh} \cdot 108\,400 = 249\,320 \text{ kWh} \quad (4.20)$$

$$249\,320 \text{ kWh} \cdot 0,52 \text{ kg CO}_2 = 129\,646 \text{ kg CO}_2 \quad (4.21)$$

#### 4.5.4 Srovnání nákladních vozidel se spalovacím motorem a elektrických nákladních vozidel

Pro porovnání uhlíkové stopy obou srovnávaných typů vozidel vycházíme z předpokladu, že uhlíková stopa výroby nákladního vozidla s dieselovým motorem a elektrického nákladního vozidla je přibližně stejná, a proto jí ve výpočtu nebereme v úvahu.

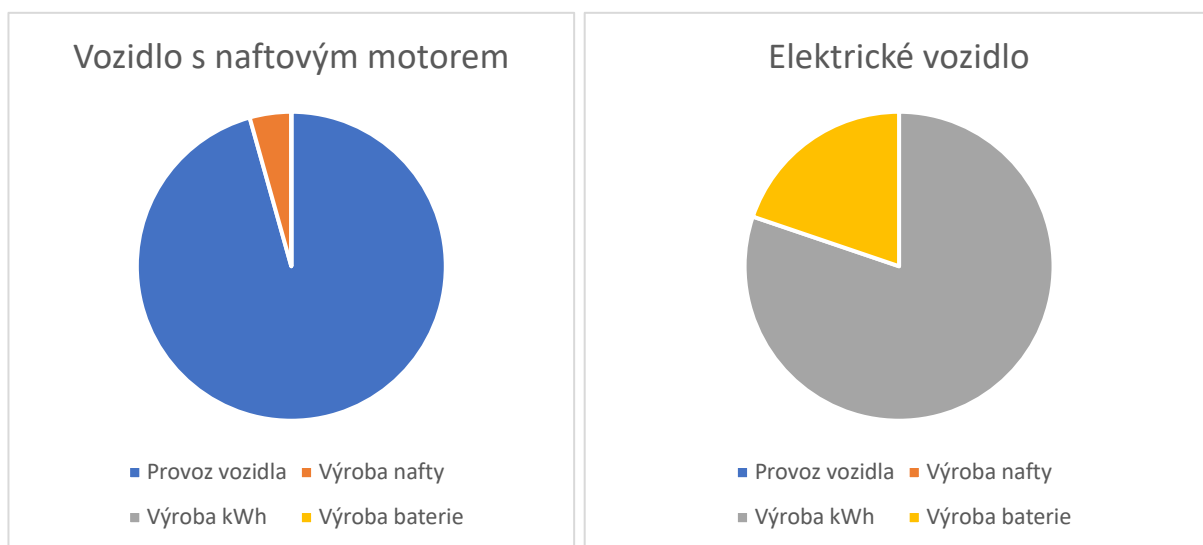
Po výpočtu uhlíkové stopy u obou typů vozidel na svoz odpadu mohou potvrdit následující fakta: nákladní dieselové vozidlo typu Mercedes-Benz Antos vyprodukuje značné množství oxidu uhličitého při provozu vozidla, zlomek emisí se produkuje při výrobě nafty. U elektrických nákladních vozidel se vyprodukuje značné množství CO<sub>2</sub> při výrobě elektrické energie nutné k dobíjení baterií, výrazná produkce CO<sub>2</sub> je i při výrobě samotných baterií. V následující tabulce Tab. 4.10 a grafu 4.1 jsou porovnány zmiňované hodnoty. Tabulka nezahrnuje množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě obou typů vozidel, jelikož je toto množství přibližně stejné, a tak ho ve srovnání vyprodukovaného CO<sub>2</sub> u nákladního vozidla se spalovacím motorem a elektrického nákladního vozidla zanedbáváme.



Obr. 4.7: Tankování vs. nabíjení [40]

Tab. 4.10: Množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> obou typů vozidel bez ohledu na množství vyprodukovaného CO<sub>2</sub> při výrobě vozidla

	Vozidlo s naftovým motorem	Elektrické vozidlo
Provoz vozidla	214 632 kg	0 kg
Výroba nafty	9 756 kg	0 kg
Výroba kWh	0 kg	129 646 kg
Výroba baterie	0 kg	32 000 kg
<b>Celkem</b>	<b>224 388 kg</b>	<b>161 646 kg</b>



Graf 4.1: Rozdíly v původu vyprodukovaného CO<sub>2</sub> u obou typů vozidel

#### 4.6 Efektivita likvidace odpadů v ZEVO Plzeň

Na základě výpočtu energetické bilance klasického nákladního vozidla s dieselovým motorem i elektrického nákladního vozidla víme (viz podkapitola 4.3.1), že nákladní vozidlo s dieselovým motorem má energetickou náročnost na jednu analyzovanou trasu 182 kWh a u elektrického nákladního vozidla činí energetická náročnost 192 kWh.

Naopak z veřejně dostupných informací víme, že ročně dojde v ZEVO Plzeň k energetickému využití, respektive spálení, 110 000 tun odpadu. Z tohoto množství odpadu se vyprodukuje 36 000 MWh elektrické energie a 400 000 GJ tepla. Na základě těchto hodnot jsem si stanovila, že spálením 1 tuny odpadu se vyprodukuje 327 kWh elektrické energie a 3,64 GJ tepla. Z těchto hodnot můžeme dojít k závěru, že z 5 tun, které doveze do ZEVO Plzeň jeden svozový vůz za jednu mnou analyzovanou trasu, se získá cca 1 635 kWh a cca 18 GJ tepla.

Z tohoto výpočtu je zřejmé, že spalováním 5 tun odpadu dovezeného jedním svozovým vozidlem za jednu analyzovanou trasu získáme téměř 10x vyšší množství elektrické energie, než je výsledná energie potřebná pro překonání dané analyzované trasy, nehledě na množství vyrobeného tepla.

## Závěr

V oblasti nakládání s odpady je Česká republika přibližně ve středu celé Evropy, cesta ke zlepšení může být částečně lépe recyklovat, méně ukládat odpady na skládky a více energeticky využívat odpady. Tyto činnosti navíc podpořit tím, že návazné děje jako je právě řešený svoz odpadu, budou více udržitelnější a ekologičtější.

Závěrem této diplomové práce jsem došla k názoru, že optimalizace dopravy implementací elektrických nákladních vozidel do běžného provozu odpadových společností Čistá Plzeň, s.r.o. a AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o. bude pravděpodobně rentabilní pouze za předpokladu využívání dotačních programů, snížení pořizovacích nákladů těchto vozidel a zajištění dostatečné infrastruktury rychle dobíjecích stanic. Česká republika bohužel není momentálně v takovém stavu, aby veškerá doprava, včetně nákladní dopravy a dopravy pro svoz odpadu, mohla přejít na elektromobilitu. Případný přechod na elektromobilitu v tomto odvětví však přináší několik pozitivních zjištění, mezi které patří zejména nižší produkce CO<sub>2</sub> při provozu vozidla určeného na svoz odpadu.

Obecným problémem elektromobility je velmi omezená síť dobíjecích stanic. Tato nevýhoda je však u nákladních elektrických vozidel odstraněna tím, že kapacita baterie 230 kWh je dostatečná pro uskutečnění jedné nebo dvou svozových tras (50-100 km). Dobíjení baterie tak bude s velkou pravděpodobností realizováno 1x denně, a to v nočních hodinách v areálu domovské společnosti.

Pro potvrzení výše uvedeného se jeví jako přijatelné řešení nákup jednoho takového vozidla a v závislosti na získaných parametrech provozu určit další postup. Na základě informací od zástupce společnosti Čistá Plzeň s.r.o. bylo o takovém nákupu uvažováno, ale v době realizace nebyly tyto nákladní automobily k dispozici.

Jednou z udržitelnějších možností v nabíjení baterií elektromobilů je využití fotovoltaiky, která se může umístit například přímo v ZEVO Plzeň nebo v areálu společnosti Čistá Plzeň, s.r.o. Využitím fotovoltaiky dochází ke zlepšení energetické bilance elektrických nákladních vozidel, ale bez využití akumulace elektrické energie by vyrobenou elektrickou energii nešlo využít pro nabíjení. Špičkový výkon totiž fotovoltaická elektrárna dosahuje okolo poledne, kdy se vozidla na svoz odpadu pohybují na trase.

Při srovnání nákladních vozidel se spalovacím motorem a elektrických nákladních vozidel je z pohledu produkce skleníkových plynů CO<sub>2</sub> a z pohledu zatěžování životního prostředí emisemi CO<sub>2</sub>, elektrické nákladní vozidlo lepší volbou. Za sledované období 8 let při celkovém nájezdu 108 400 km vyprodukuje elektrické nákladní vozidlo o necelých 63 tisíc kg CO<sub>2</sub> méně než klasické nákladní vozidlo se spalovacím motorem. Stále se ale budeme potýkat s problematikou dostupnosti elektrických nákladních vozidel na trhu a s velmi vysokou pořizovací cenou. Za sledované období 8 let při ročním nájezdu 13 550 km dochází sice k ušetření provozních nákladů u elektrických nákladních vozidel o více než 2 miliony, ale to nemění nic na skutečnosti, že pořizovací náklady elektrického nákladního vozidla jsou zhruba o 6,5 milionu Kč vyšší než pořizovací náklady nákladního vozidla s naftovým motorem. Z těchto tvrzení vyplývá, že elektromobilita je tedy koncept obnovitelnějšího, udržitelnějšího a ekologičtějšího řešení odpadového hospodářství, ale z ekonomického hlediska je momentálně v této oblasti nerentabilní.

Z hlediska provozu elektrických nákladních vozidel je zcela zásadní, aby tato vozidla byla využívána maximálně možným způsobem. To znamená, aby byla využívána denně a byla nasazována na svozové trasy s takovým počtem km, aby byla plně využita kapacita baterie. Teprve tehdy se můžou plně projevit benefity elektrických nákladních vozidel, které mají v porovnání s nákladními automobily se spalovacím motorem výrazně nižší provozní náklady. Důležitým faktorem, který také hovoří ve prospěch nákladních automobilů s elektrickým motorem, jsou nulové emise CO<sub>2</sub> při provozu. Jedním, a myslím si, že zásadním problémem je z pohledu uhlíkové stopy nevyřešená otázka, a to, jak se bude nakládat s bateriemi po skončení jejich životnosti. Touto problematikou se zabývají odborníci předních výrobců v oboru, avšak ke konkrétním výsledkům dle dostupných informací zatím nedošlo. Téměř jisté je však to, že likvidace těchto baterií bude produkovat značné množství CO<sub>2</sub>. Tato nevyřešená záležitost snižuje výhodu používání elektromobilů.



## Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] Zákon č. 541/2020 Sb., Zákon o odpadech.
- [2] Eurostat. *Předcházíme vzniku odpadů* [online]. © Pelhřimov, 17.8.2018. [cit. 23.2.2022]. Dostupné z: <http://www.mupe.cz/predchazejme-vzniku-odpadu/d-25304>.
- [3] JANDAČOVÁ, Alžběta. *Likvidace odpadů ve městě Plzni s využitím spalovny*. Plzeň, 2019. Bakalářská práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky a ekologie. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr.h.c..
- [4] The Difference Between Recycling and Upcycling. *Evolve Organic Beauty* [online]. [cit. 4.2.2022]. Dostupné z: <https://www.evolvebeauty.co.uk/blogs/news/recycling-vs-upcycling>
- [5] Co je ZEVO. *České energetické závody (ČEZ)* [online]. ČEZ, a.s., ©2022. [cit. 25.2.2022]. Dostupné z: <https://www.cez.cz/cs/zevo/co-je-zevo.html>.
- [6] How is a circular economy different from a linear economy? *Het Groene Brein* [online]. Het Groene Brein, ©2022. [cit. 1.3.2022]. Dostupné z: <https://kenniskaarten.hetgroenebrein.nl/en/knowledge-map-circular-economy/how-is-a-circular-economy-different-from-a-linear-economy/>.
- [7] Latest Eurostat Figures: Municipal Waste Treatment 2019. *CEWEP* [online]. Cewep e.V., 12.3.2021. [cit. 2.3.2022]. Dostupné z: <https://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2019/>.
- [8] Princip ZEVO. *ZEVO Plzeň* [online]. Nedatováno. [cit. 4.3.2022]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/princip>.
- [9] What is Waste-to-Energy? *RTS* [online]. 19.7.2021. [cit. 15.3.2022]. Dostupné z: <https://www.rts.com/blog/what-is-waste-to-energy/>.
- [10] Životní prostředí. *O energetice* [online]. OM Solutions s.r.o., 5.4.2018. [cit. 6.3.2022]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/zivotni-prostredi/infografika-energeticke-vyuziti-odpadu-evrope-ceske-republice/>.
- [11] Výroční zpráva 2019-2020. *Termizo (tmz)* [online]. Termizo, a.s., ©2010-2022. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: [https://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2021/11/TMZ-V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD-zpr%C3%A1va-2019-2020\\_signed.pdf](https://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2021/11/TMZ-V%C3%BDro%C4%8Dn%C3%AD-zpr%C3%A1va-2019-2020_signed.pdf).
- [12] Výroční zpráva Pražské služby, a.s. 2020. *Pražské služby* [online]. Pražské služby, a.s., ©2019. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/upload/files/vz-2020-final.pdf>.

- [13] Výroční zpráva 2020. *Plzeňská teplárenská (pltep)* [online]. Plzeňská teplárenská, a.s., ©2022. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocní-zprava-2020a/>.
- [14] Schwandorf waste incineration plant: How new things can be created from waste. *Loibl Conveying Technologies* [online]. Loibl Conveyer Systems, ©2022. 11.1.2021. [cit. 18.3.2022]. Dostupné z: <https://loibl-group.com/en/news/article/schwandorf-waste-incineration-plant-how-new-things-can-be-created-from-waste.html>.
- [15] The art of Vienna power plants. *Wien info* [online]. ©2022. [cit. 18.3.2022]. Dostupné z: <https://www.wien.info/en/sightseeing/green-vienna/vienna-power-plants-363592>.
- [16] Waste-to-Energy and Social Acceptance: Copenhill WtE plant in Copenhagen. *IEA Bioenergy* [online]. IEA Bioenergy, ©2020. March 2021. [cit. 20.3.2022]. Dostupné z: [https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/03/T36\\_WtE-and-Social-Acceptance\\_Copenhill-WtE-plant-in-Copenhagen.pdf](https://www.ieabioenergy.com/wp-content/uploads/2021/03/T36_WtE-and-Social-Acceptance_Copenhill-WtE-plant-in-Copenhagen.pdf).
- [17] Waste-to-Energy (Municipal Solid Waste). *EIA* [online]. Energy Information Administration, ©2022. 26.11.2021. [cit. 25.3.2022]. Dostupné z: <https://www.eia.gov/energyexplained/biomass/waste-to-energy.php>.
- [18] MATUŠKOVÁ, Alena a kol. *Geografie Plzeňského kraje*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2014. ISBN 978-80-261-0461-2.
- [19] Plán odpadového hospodářství Plzeňského kraje 2016-2026. *Plzeňský kraj* [online]. Prosinec 2015. [cit. 20.3.2022]. Dostupné z: <http://www.plzenskykraj.cz/cs/clanek/plan-odpadoveho-hospodarstvi-plzenskeho-kraje-2016-2026>.
- [20] Regionální Rozvojová Agentura Plzeňského kraje, o.p.s. *Plzeňský kraj* [online]. [cit. 28.3.2022]. Dostupné z: <https://www.rra-pk.cz/projekt/optimalizace-systemu-nakladani-s-odpady/>.
- [21] O ZEVO Chotíkov. *ZEVO Plzeň* [online]. Nedatováno. [cit. 4.4.2022]. Dostupné z: <http://www.zevoplzen.cz/o-nas>.
- [22] Historie ZEVO. *ZEVO Plzeň* [online]. Nedatováno. [cit. 4.4.2022]. Dostupné z: <https://www.zevoplzen.cz/princip>.
- [23] JELÍNKOVÁ, Libuše. Spalovna v Chotíkově zahájila provoz. In: *Odpady-online.cz* [online]. Profil Press s.r.o., 3.10.2016. [cit. 6.4.2022]. Dostupné z: <http://odpady-online.cz/spalovna-v-chotikove-zahajila-provoz/>.

- [24] Studie proveditelnosti integrovaného systému nakládání s komunálními odpady v území Plzeňského kraje. Plzeňský kraj [online]. [cit. 20.4.2022]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/134002413-Studie-proveditelnosti-integrovaneho-systemu-nakladani-s-komunalnimi-odpady-v-uzemi-plzenskeho-kraje.html>.
- [25] DRÁPELA, Pavel. *Závod na energetické využití odpadů ZEVO Plzeň* [přednáška]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni.
- [26] Čistá Plzeň – společnost. *Čistá Plzeň* [online]. Statutární město Plzeň, ©2022. [cit. 1.5.2022]. Dostupné z: <http://cistaplzen.cz/spolecnost/>.
- [27] Elektrické popelářské auto. *Hybrid* [online]. Chamanne, s.r.o., ©2006 – 2022. [cit. 1.5.2022]. Dostupné z: <http://www.hybrid.cz/volvo-predstavilo-elektricke-popelarske-auto>.
- [28] KIZLINK, Juraj. *Odpady - sběr, zpracování, využití, zneškodnění, legislativa*. Brno: Akademické Nakladatelství Cerm, s.r.o., 2014. ISBN 978-80-7204-884-7.
- [29] Výroční zpráva 2016-2017. *Termizo (tmz)* [online]. Termizo, a.s., ©2010-2022. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: [http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2018/04/TMZ\\_VZ\\_2016\\_2017\\_podepsana\\_s\\_vyrokem\\_opravene\\_zah\\_lavi.pdf](http://tmz.mvv.cz/wp-content/uploads/2018/04/TMZ_VZ_2016_2017_podepsana_s_vyrokem_opravene_zah_lavi.pdf).
- [30] Výroční zpráva Pražské služby, a.s. 2017. *Pražské služby* [online]. Pražské služby, a.s., ©2019. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.psas.cz/index.cfm/info-pro-akcionare/2018/vyrocnizprava-za-rok-2017/>.
- [31] Výroční zpráva 2017. *Plzeňská teplárenská (pltep)* [online]. Plzeňská teplárenská, a.s., ©2022. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.pltep.cz/vyrocnizprava-2017/>.
- [32] Výroční zpráva 2017. *SAKO* [online]. SAKO Brno, a.s., ©2018. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/dokumenty-ke-stazeni/cz/>.
- [33] Výroční zpráva 2020. *SAKO* [online]. SAKO Brno, a.s., ©2018. [cit. 5.3.2022]. Dostupné z: <https://www.sako.cz/dokumenty-ke-stazeni/cz/>.
- [34] Landfill waste. *Europa* [online]. ©2022. [cit. 18.2.2022]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste\\_en](https://ec.europa.eu/environment/topics/waste-and-recycling/landfill-waste_en).
- [35] FENCL, Jakub. *Projekt elektromobilní dopravy odpadů v městě Plzeň*. Plzeň, 2018. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická. Katedra elektroenergetiky a ekologie. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Vostrácký, DrSc., dr.h.c..
- [36] MENCL, Hynek. *Modelování prvků smart city infrastruktury v reálných aplikacích*. Plzeň, 2020. Diplomová práce. Západočeská univerzita. Fakulta elektrotechnická.

- Katedra technologií a měření. Vedoucí práce Prof. Ing. Zdeněk Vostracký, DrSc., dr.h.c..
- [37] Sazba D27d, tarif D27d – elektřina. *Kurzy* [online]. Kurzy.cz, spol. s.r.o., ©2000-2022. [cit. 12.5.2022]. Dostupné z: <https://www.kurzy.cz/elektrina/d27d>.
- [38] Výpočet emisí CO<sub>2</sub>. *Autolexicon* [online]. ©2022. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z: <https://www.autolexicon.net/cs/articles/vypocet-emisi-co2/>.
- [39] Všední trable s výpočty uhlíkové stopy. *Ekolist* [online]. ©2022. [cit. 14.5.2022]. Dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/vsedni-trable-s-vypocty-uhlikove-stopy>.
- [40] Re-Inventing the Garbage Truck. *Global green USA* [online]. Unsplash, ©2022. [cit. 5.5.2022]. Dostupné z: <https://globalgreen.org/category/reports/>.
- [41] Interní materiály společnosti AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.
- [42] Vídeň nasazuje první plně elektrický popelářský vůz. *Technickytydenik* [online]. Business Media CZ s.r.o. [cit. 5.5.2022]. Dostupné z: [https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/viden-nasazuje-prvni-plne-elektricky-popelarsky-vuz\\_47288.html](https://www.technickytydenik.cz/rubriky/denni-zpravodajstvi/viden-nasazuje-prvni-plne-elektricky-popelarsky-vuz_47288.html).