

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Technická fakulta**

**Katedra využití strojů**



**Diplomová práce**

**Možnosti využití odpadů ze starých skládek**

**Autor práce: Bc. Jan Šonský**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Vlastimil Altmann, Ph.D.**

**© 2020 ČZU v Praze**

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Jan Šonský

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

**Možnosti využití odpadů ze starých skládek**

Název anglicky

**Options of using waste from old landfills**

---

### Cíle práce

Cílem práce je analýza možností využití odpadů po vytěžení ze starých skládek odpadů.

### Metodika

Charakterizovat, které skládky mají být vytěženy a z jakých důvodů. Následně určit jakým způsobem lze skládku vytěžit. Analyzovat možnosti využití vytěženého odpadu. Zaměřit se na odpad, který lze ekologicky zpracovat.

1. Vypracování rešerše
2. Zvolení cíle a metodiky diplomové práce
3. Vlastní práce – zpracování a vyhodnocení dat o druhu a množství odpadu
4. Vypracování diskuse a doporučení pro praxi

**Doporučený rozsah práce**

40 – 60 stran

**Klíčová slova**

Skládka odpadů, odpad, ekologie, recyklace, termické zpracování odpadů

---

**Doporučené zdroje informací**

- ALTMANN,V.,VACULÍK,P.,MIMRA, M.: (2010). Technika pro zpracování komunálního odpadu, ČZU Praha, Powerprint s.r.o., ISBN 978-80-213-2022-2, 1. vydání, 120 s.
- DRAHOTSKÝ, I.(2003): Logistika: Procesy a jejich řízení. 1. vyd. Brno: Computer Press. ISBN 80-7226-521-0.
- CHENG, J. et al., (2010): Taylor and, Francis Group, LLC, United States of America, s. 488, ISBN 978-1-4200-9517-3.
- McKINNON, A et al., (2010): Green Logistics, Koganpage.com, London, s. 360. ISBN 978-0-7494-5678-8.
- M. LAMBERT, (2000): Douglas. Logistika. 2. vyd. Praha: Computer Press. ISBN 80-7226-221-1.
- VOŠTOVÁ,V.,ALTMANN,V.,FRIES,J.,JERÁBEK,K.: (2009). Logistika odpadového hospodářství. ČVUT Praha, 5 – Technické vědy, ISBN 978-80-01-04426-1, 1. vydání, 349 s.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2018/19 LS – TF

**Vedoucí práce**

doc. Ing. Vlastimil Altmann, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra využití strojů

---

Elektronicky schváleno dne 26. 1. 2018

**doc. Ing. Petr Šařec, Ph.D.**

Vedoucí katedry

---

Elektronicky schváleno dne 30. 1. 2018

**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan

V Praze dne 05. 10. 2018

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: Možnosti využití odpadů ze starých skládek vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním diplomové práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Jsem si vědom, že moje diplomová práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

V ..... dne .....

Podpis autora .....

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Vlastimilu Altmannovi, Ph.D., za odborné vedení, užitečné rady a připomínky. Děkuji provozovateli řešené skládky za poskytnutí potřebných údajů a dokumentace. Zároveň děkuji své rodině za podporu během celého studia.

# Možnosti využití odpadů ze starých skládek

## Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá možnostmi využití odpadů ze starých skládek. Teoretická část poskytuje čtenáři přehled o odpadovém hospodářství a technologiích skládkování odpadů. V praktické části se práce zabývá tématem vytěžení odpadů ze starých skládek a různými možnostmi využití vytěžených odpadů. Dále je v práci navržen proces vytěžení konkrétní skládky ve Středočeském kraji. Pro návrh procesu vytěžení, bylo nutné zjistit skladbu naváženého odpadu v co největším časovém horizontu. Pro analyzování naváženého odpadu byla provedena ruční analýza skladby odpadu, která byla porovnána se statistickými údaji o skládkovaných odpadech. Dle skladby odpadu byly vybrány určité sekce řešené skládky, vhodné pro vytěžení. Navržený proces se zaměřuje především na třídění vytěženého odpadu a jeho následné využití, kde byly zvoleny metody zplyňování a oxidačního spalování. Navržený proces je ekonomicky, environmentálně a sociálně zhodnocen na základě nástroje pro analýzu proveditelnosti vytěžení skládek. Výsledkem tohoto zhodnocení je zisk 437 561 034 Kč. Tento zisk je však bez nutných investic do zařízení na zpracování výsledného odpadu, především zplyňovací jednotky. Při započtení nutných investic do zplyňovací jednotky je zisk záporný a vytěžení skládky je tak neudržitelné z ekonomického hlediska. Sociální a environmentální přínos vytěžení je v obou případech kladný.

**Klíčová slova:** Skládka odpadů, skládkování, vytěžení skládky, asanace skládek, odpad, ekologie, životní prostředí.

# Options of using waste from old landfills

## **Abstract**

This master thesis deals with possibilities of waste recovery from old landfills. Theoretical part describes overview of waste management and landfill technology. In the practical part, thesis deals with the topic of waste extraction from old landfills, and various possibilities of extracted waste use. Furthermore, the thesis proposes a process of mining a specific landfill in the central bohemian region. For the design of the extraction process, it was necessary to know the structure of waste, in the long-time horizon. Waste was analysed by hand sorting, and then compared with statistic structure of landfilled waste. Due to waste structure, only some landfill sections were selected for extraction process. Designed process focusses mainly on extracted waste sorting system and its subsequent use, where gasification and oxidation combustion methods were chosen. Proposed is economically, environmentally and socially evaluated based on landfill mining toolkit. Outcome from this evaluation is net income 437 561 034 Czech crowns. Net income is without necessarily investment to units for waste treatment, especially gasification unit. If necessarily investment is counted, net income is negative and landfill mining is not economically sustainable. Social and environmental benefits from landfill mining are in both cases positive.

**Keywords:** Landfill, landfilling, landfill mining, waste, ecology, environment,

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Teoretická východiska .....</b>	<b>3</b>
2.1 Odpadové hospodářství.....	3
2.1.1 Základní pojmy odpadů .....	3
2.1.1.1 Kategorie odpadů.....	3
2.1.2 Katalog odpadů .....	4
2.1.3 Legislativa.....	5
2.1.3.1 Zákon č. 185/2001 Sb.....	5
2.1.4 Hierarchie nakládání s odpady.....	6
2.1.5 Předcházení vzniku odpadů .....	7
2.1.6 Nakládání s odpadem.....	8
2.2 Skládkování odpadů .....	9
2.2.1 Právní úprava skládkování odpadů.....	10
2.2.2 Skládka jako technické zařízení.....	11
2.2.2.1 Základní pojmy skládkování odpadů.....	12
2.2.3 Druhy skládek odpadů .....	13
2.2.3.1 Řízené skládky.....	14
2.2.3.2 Černé skládky .....	15
2.2.4 Výstavba skládek .....	16
2.2.4.1 Výběr lokality .....	16
2.2.4.2 Přípravné práce při budování skládky .....	16
2.2.4.3 Podloží.....	17
2.2.4.4 Základová spára.....	18
2.2.5 Technologické části skládky .....	18
2.2.5.1 Těsnící systémy .....	18
2.2.5.2 Odplyňovací systémy .....	29
2.2.5.3 Monitorovací zařízení.....	36
2.2.6 Provoz skládek.....	38
2.2.6.1 Provozní řád a deník.....	38
2.2.6.2 Vstupní kontrola .....	39
2.2.6.3 Ukládání odpadu.....	39
2.2.6.4 Úprava odpadů na skládce.....	41



2.2.7	Rekultivace skládek .....	42
2.2.7.1	Uzavírání skládek .....	43
2.2.7.2	Rekultivační technologie .....	44
2.2.8	Využívání odpadů uložených na skládky jejich odtěžováním.....	45
<b>3</b>	<b>Cíl práce a metodika .....</b>	<b>46</b>
3.1	Cíl práce .....	46
3.2	Metodika práce.....	46
3.2.1	Metodika návrhu vlastního řešení.....	46
<b>4</b>	<b>Vlastní práce .....</b>	<b>55</b>
4.1	Popis řešené skládky .....	55
4.2	Koncept vytěžování skládky odpadů .....	56
4.2.1	Scénář č. 1 – současná situace .....	57
4.2.2	Scénář č. 2 – Přetěženi a nové skládkování .....	57
4.2.3	Scénář č. 3 – Vytěžování odpadů a základní třídění.....	57
4.2.4	Scénář č. 4 – Pokročilé třídění a využití jednotlivých složek.....	58
<b>5</b>	<b>Návrh vlastního řešení pro konkrétní skládku.....</b>	<b>60</b>
5.1	Průzkum tělesa skládky .....	60
5.1.1	Historie skládky a složení jednotlivých vrstev .....	60
5.1.2	Výška tělesa skládky.....	61
5.1.3	Geotechnická stabilita.....	61
5.1.4	Degradační stádium uvnitř tělesa skládky .....	62
5.1.5	Možnost výskytu nebezpečných odpadů .....	63
5.1.6	Analýza skladby komunálního odpadu.....	63
5.1.6.1	Analýza skladby naváženého směsného komunálního odpadu.....	64
5.1.6.2	Analýza skladby odpadu uvnitř tělesa skládky .....	65
5.1.6.3	Porovnání skladby odpadů .....	66
5.2	Postup návrhu celého procesu pro řešenou skládku.....	66
5.3	Analýza způsobu vytěžení odpadu.....	66
5.3.1	Volba a výpočet rypadla .....	67
5.3.2	Vytěžování odpadu .....	68
5.3.3	Odvoz vytěženého odpadu.....	68
5.3.3.1	Skladování odvezeného odpadu .....	69
5.4	Třídění odpadu po jeho vytěžení.....	69
5.4.1	Vstup materiálu do třídícího procesu.....	70
5.4.2	Bubnové síto .....	72
5.4.2.1	Dopravní zařízení .....	74

5.4.3	Cyklón pro odtah prachu.....	75
5.4.4	Ruční třídění .....	76
5.4.4.1	Výkonnost ručního třídění.....	77
5.4.4.2	Dopravní zařízení .....	77
5.4.4.3	Kóje pro vytríděný odpad.....	78
5.4.5	Drticí zařízení .....	79
5.4.6	Magnetické separátory .....	80
5.4.6.1	Dopravní zařízení .....	81
5.4.7	Separátory neželezných kovů .....	82
5.4.8	Balistický separátor.....	83
5.4.8.1	Dopravní zařízení .....	84
5.4.9	Skladování materiálů .....	85
5.5	Využití jednotlivých vytríděných složek .....	87
5.5.1	Recyklace.....	87
5.5.2	Využití inertní frakce .....	87
5.5.3	Scénář č. 3 – TAP / ZEVO .....	87
5.5.4	Scénář č. 4 – zplyňování .....	89
5.6	Ekonomické, environmentální a sociální zhodnocení vytěžování .....	90
5.6.1	Ekonomické zhodnocení.....	90
5.6.2	Environmentální a sociální zhodnocení.....	92
5.6.3	Výsledky ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení... 93	
<b>6</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>96</b>
<b>7</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>98</b>
	<b>Přílohy.....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Vytěžování skládek odpadů patří v odpadovém hospodářství k opomíjeným možnostem, i přes zjevné snížení zátěže na životní prostředí, přítomnosti v krajině a faktu, že někde leží vysoké množství, zhutněného a nevyužitého odpadu, který je možné dále využít jako druhotné suroviny.

K tématu této práce se vztahuje několik faktorů. Jedním z nejvýznamnějších faktorů je historická tradice a množství skládkování na území České republiky. Při porovnání nových řízených skládek a starších skládek, které byly vytvořeny bez patřičných příprav a zabezpečení, je patrné, že environmentální dopad starších skládek je mnohonásobně větší. Jelikož je skládka po své provozní době uzavřena, není zřejmé, co se uvnitř tělesa skládky děje v průběhu času. Je však zcela jasné, že především plasty se v přírodě rozkládají stovky let a tedy, že v tělese skládky zůstanou po několik generací. Přitom dnešní využití, ať už recyklací nebo termickým zpracováním či novými progresivními metodami, je efektivnější pro životní prostředí než plasty po stovky let skladovat. Stejný problém můžeme vidět například i v kovových materiálech, které lze poměrně dobře recyklovat na druhotný materiál.

Druhým důležitým faktorem je odklon především evropského odpadového hospodářství od skládkování odpadů. Dle hierarchie odpadového hospodářství je skládkování na posledním místě, a tudíž je chápáno jako nejhorší možnost zpracování odpadů. Odklon od skládkování lze vidět i na zákazu skládkování směsného komunálního odpadu od roku 2030 v celé Evropské Unii.

Náhled na skládkování jako nejhorší možnost odstranění odpadu v nás musí evokovat, že skládky jakožto potencionálně vysoké zátěže životního prostředí nesmí na našem území zůstat věčně. Vzorem nám může být například Dánské království, kde je skládkováno cca. 5 % odpadů. Skládkování je tu spíše chápáno jako skladování odpadu před dalším využitím. Takto lze nahlížet i na moderní řízené skládky v ČR, jejichž zátěž na životní prostředí je menší než u skládek starších, nezabezpečených anebo skládek černých. Jako hlavní výhoda vytěžování skládek odpadů se jeví zisk cenných materiálů. I přes zjevné ekonomické zhodnocení cenných materiálů uložených ve skládkách, jsou patrné i další výhody, jako je eliminace možných ekologických zátěží a uvolňování kapacity nebo pozemků skládky.

Třetím důležitým faktorem je omezená kapacita skládkovacích ploch v ČR. Lze jen těžko připustit, že příslušný krajský úřad povolí soukromým investorům stavbu nové skládky

odpadů dle vyhlášky č. 383/2001 Sb. Avšak i přes hierarchii nakládání s odpady je stále nespočet druhů odpadů, které nelze zpracovat, buď kvůli finanční nákladnosti nebo ekologickým aspektům, jinak než skládkováním.

## 2 Teoretická východiska

### 2.1 Odpadové hospodářství

Odpadové hospodářství je dynamicky se rozvíjející obor, který obsahuje prvky především z přírodovědeckých a technických oborů. Odpadové hospodářství se stává čím dál tím více důležitou částí našich životů. Lidé více a více dbají na důsledky svého jednání vzhledem k přírodě a ovlivňují tak i jednání společností uvádějící různé výrobky na trh. Tzv. green marketing se stává nedílnou součástí všech firem produkující výrobky či provozujících služby. Mezi hlavní činnosti odpadového hospodářství patří odstraňování odpadů, redukce jeho množství a sledování dopadů na životní prostředí.

Definice odpadového hospodářství: „Je činnost zaměřená na předcházení vzniku odpadů, nakládání s odpady, následná péče o místo, kde jsou odpady trvale uloženy a kontrola těchto činností“ (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

#### 2.1.1 Základní pojmy odpadů

Zákon č. 185/2001 Sb. v § 3 říká, že „Odpad je každá movitá věc, které se člověk zbavuje, má v úmyslu, nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin uvedených v příloze č.1 k tomuto zákonu“

Zákon dále definuje druhy odpadů, které lze rozdělit podle:

1. základních fyzikálních vlastností – tuhý, kapalný, plynný,
2. vlivu na životní prostředí – ostatní odpady (OO), nebezpečné odpady (NO),
3. základních oborů, kde vznikl – zdroj, místo vzniku,
4. dle procesu – z výroby, ze spotřeby.

##### 2.1.1.1 Kategorie odpadů

Nebezpečný odpad – „odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu EU o nebezpečných vlastnostech odpadů“ (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

Seznam nebezpečných vlastností odpadů udává příloha č.2 zákona 185/2001 Sb. o odpadech. Seznam nebezpečných vlastností odpadů je uveden v příloze 1.

Komunální odpad – „veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v Katalogu odpadů, s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání,“ (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

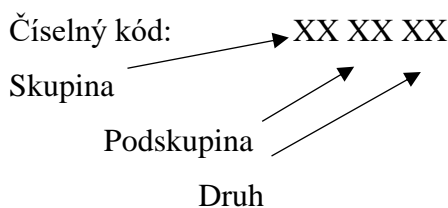
Směsný komunální odpad – odpad, který se nedá dále třídit, tj. zbytkový odpad po vytrídění využitelných složek z KO.

Biologicky rozložitelný odpad – „Jakýkoliv odpad, který je schopen aerobního nebo anaerobního rozkladu“ (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

### 2.1.2 Katalog odpadů

Je seznam odpadů, který definuje vyhláška č. 93/2016 Sb. o katalogu odpadů. Podle katalogu odpadů se zařazují veškeré druhy odpadů. Odpad zařadí původci odpadů nebo oprávněná osoba pod šestimístná katalogová čísla. Katalogové číslo je rozděleno na tři dvojčíslí, kde první určuje skupinu, druhé podskupinu a třetí druh odpadu. Skupina odpadů se určuje podle odvětví, oborů nebo technologických procesů, kde odpad vzniká. Skupina má následně svoje podskupiny, kde je napsán název druhu odpadů. Poslední trojčíslí přesně specifikuje druh odpadů. Je-li odpad tvořen více složkami, které mají vlastní katalogové číslo určí se takové, které představuje největší riziko pro zdraví člověka a škodlivost na životní prostředí. Nejvýznamnějšími skupinami jsou:

- Skupina č. 20 – komunální odpady (odpady z domácností a podobné živnostenské, průmyslové odpady a odpady z úřadů), včetně složek odděleného sběru,
- skupina č. 15 – odpadní obaly; absorpční činidla, čisticí tkaniny, filtrační materiály a ochranné oděvy jinak neurčené,
- skupina č. 02 – odpady ze zemědělství, zahradnictví, rybářství, lesnictví, myslivosti a z výroby a zpracování potravin. (*Vyhláška č. 92/2016 Sb.*)



### 2.1.3 Legislativa

Legislativa odpadového hospodářství v České republice vychází z Evropské politiky. Cílem legislativy je určit právní rámec nakládání s odpady ve všech jeho fázích, tj. stanovit pravidla pro předcházení a nakládání s odpadem a pravidla pro ochranu životního prostředí. Legislativa dále určuje kontrolní orgány a informační systémy. Povinnosti tvůrců odpadu a jejich zpracovatelů.

#### 2.1.3.1 Zákon č. 185/2001 Sb.

Zákon č. 185/2001 Sb. neboli zákon o odpadech je stěžejní částí legislativy odpadového hospodářství a implementuje příslušné právní předpisy Evropské unie. Zákon upravuje:

- pravidla pro předcházení vzniku odpadů,
- pravidla pro nakládání s odpady při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany zdraví obyvatel a udržitelného rozvoje,
- omezování negativních dopadů využívání přírodních zdrojů,
- zlepšování účinnosti využívání odpadů a přírodních zdrojů,
- práva a povinnosti osob v oblasti odpadového hospodářství,
- působnost orgánů veřejné správy v oblasti odpadového hospodářství. (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

Zákon se vztahuje na nakládání se všemi druhy odpadů s výjimkou:

- odpadních vod v rozsahu, v jakém se na ně vztahují jiné právní předpisy (zákon č. 254/2001 Sb. – zákon o vodách),
- radioaktivních odpadech (zákon č. 263/2016 Sb. – atomový zákon),
- mrtvých těl zvířat, která uhynula jiným způsobem než porážkou, včetně zvířat usmrcených za účelem vymýcení nákazy zvířat odstraňovaných v souladu se zvláštním právním předpisem (zákon č. 166/1999 Sb. – zákon o veterinární péči),
- exkrementů, nejedná-li se o vedlejší produkty živočišného původu podle odstavce 2 písm. c), slámy a jiných přírodních látek pocházejících ze zemědělské výroby nebo lesnictví, které nevykazují žádnou z nebezpečných vlastností

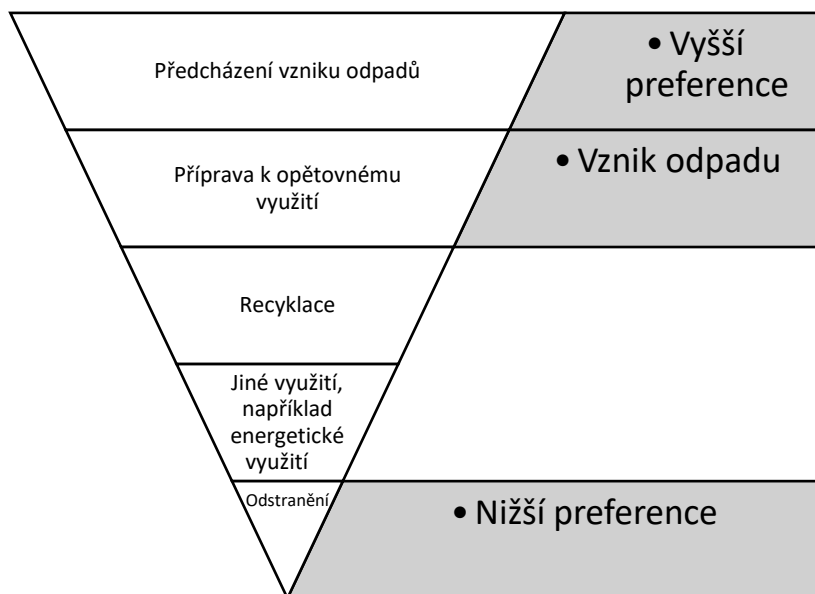
- uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů a které se využívají v zemědělství a lesnictví v souladu se zvláštním právním předpisem, nebo k výrobě energie prostřednictvím postupů nebo metod, které nepoškozují životní prostředí ani neohrožují lidské zdraví (nařízení komise EU č. 1357/2014),
- nezachycených emisí látek znečišťujících ovzduší, oxidu uhličitého zachyceného za účelem jeho ukládání do přírodních horninových struktur a uloženého v těchto strukturách v souladu s jiným právním předpisem nebo oxidu uhličitého zachyceného za účelem výzkumu, vývoje nebo zkoušení nových výrobků a postupů a uloženého v úložišti s kapacitou nižší než 100 kilotun (zákon č. 86/2002 Sb. o ochraně ovzduší)
  - vyřazených výbušnin a vyřazeného střeliva (zákon č. 61/1988 Sb. o hornické činnosti a zákon č. 119/2002 Sb. o střelných zbraních a střelivu),
  - sedimentů přemísťovaných v rámci povrchových vod za účelem správy vod a vodních cest, předcházení povodním, zmírnění účinku povodní a období sucha nebo rekultivace půdy, je-li prokázáno, že nevykazují žádnou z nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelného předpisu Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů (nařízení komise EU č. 1357/2014). (*Zákon č. 185/2001 Sb.*)

#### **2.1.4 Hierarchie nakládání s odpady**

Hierarchie nakládání s odpadem je strategie, podle které by se mělo odpadové hospodářství řídit. Hierarchii nakládání s opady určuje §9 zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech. Nahrazuje lineární model – vyrobit – použít – vyhodit, který vycházel z představy neomezených zdrojů země. Dnešní produkce odpadů a emisí je však čím dál tím větší a je tedy nutné určovat jakým směrem se bude odpadové hospodářství dané země řídit. Hierarchie nakládání s odpady tedy sumarizuje přístup ke zpracování odpadů a ukazuje význam šetření surovinami. (*Hierarchical Structurer*)



Obrázek 1 - Hierarchie nakládání s odpady



Zdroj 1 – (<https://arnika.org/hierarchie-nakladani-s-odpady>)

### 2.1.5 Předcházení vzniku odpadů

Prevence vzniku odpadů je na prvním místě v hierarchii nakládání s odpady. Prevence snižuje množství vzniklého odpadu a vede tak ke snižování materiálů, které negativně ovlivňují životní prostředí a zdraví populace. Součástí prevence je i opětovné použití výrobků a příprava k němu. Prevence vzniku odpadů neovlivňuje pouze části odpadového hospodářství ale i výrobní, těžební a projekční služby. Prevence vzniku odpadů je součástí plánu odpadového hospodářství České republiky. Nejvíce rozšířenou prevencí vzniku odpadů se jeví oběhové hospodářství, tzv. cirkulární ekonomika, ke které směřuje většina odvětví. Zjednodušeně se jedná o koncept, ve kterém neexistuje odpad. Snaží se bořit lineární povahu toků materiálů, využívat je v co největší možné míře a opakovaně. *(Cirkulární ekonomika)*

Obrázek 2 - Cirkulární ekonomika



Zdroj 2 - (<https://incien.org/cirkularni-ekonomika>)

### 2.1.6 Nakládání s odpadem

Nakládání s odpadem zahrnuje mnoho činností, od shromažďování až po konečné odstranění. Zjednodušeně lze o nakládání s odpady mluvit jako o právně upravené, jakékoliv manipulaci s odpadem po jeho vzniku, kterými se většinou zabývají soukromé firmy za účelem zisku. Základní pojmy nakládání s odpadem jsou definovány níže.

**Shromažďování** je krátkodobé soustředování odpadů do kontejnerů v místě jejich vzniku před dalším nakládáním. Například sběrné nádoby.

**Skladování odpadů** znamená přechodné soustředování odpadů v zařízení tomu určeném po dobu nejvýše tří let před jejich využitím nebo jednoho roku před jejich odstraněním.

**Sběrem a výkupem odpadů** se rozumí soustředování odpadů, právníčkou nebo fyzickou osobou oprávněnou k podnikání od jiných osob, kvůli záměru předání k využití nebo odstranění. Výkup odpadů je sběr odpadů, který je vykupován za sjednanou cenu.

**Úprava odpadů** je „Každá činnost, která vede ke změně chemických, biologických nebo fyzikálních vlastností odpadů (včetně jejich třídění) za účelem umožnění nebo usnadnění jejich dopravy, využití, odstraňování nebo za účelem snížení jejich objemu, případně snížení jejich nebezpečných vlastností. (Zákon č. 185/2001 Sb.)

**Využití odpadů** znamená činnost, jejímž výsledkem je, že odpad slouží užitečnému účelu tím, že nahradí materiály používané ke konkrétnímu účelu.

**Materiálové využití odpadů** zahrnuje procesy a postupy, díky nimž lze odpad po úpravě dále materiálově využít, získat z něho suroviny pro další výrobu. Materiálové využití není bezprostřední získání energie.

**Recyklace odpadů** je způsob využití odpadů, kterým je odpad přepracován na výrobky, materiály nebo látky pro původní nebo jiné účely jejich použití, včetně přepracování organických materiálů. Nejedná se o energetické využití nebo zpracování na palivo či zásypový materiál.

**Odstranění odpadů** znamená činnost, která není využitím odpadů i za předpokladu druhotného zisku energie, látek nebo materiálu.

## 2.2 Skládkování odpadů

Skládkování odpadů patří mezi nejstarší způsoby odstraňování odpadů na světě. Nejstarší skládkou na území České republiky je skládka mamutích kostí ze starší doby kamenné v Dolních Věstonicích. Skládky historicky fungovaly k odkládání nepotřebných předmětů, zbytků po lovu a jiných materiálů. Kvůli postupně většímu množství odpadů se skládky stávaly zdrojem epidemií nemocí. Kvůli epidemiím začínala města s organizovaným odvozem odpadů mimo města. Epidemie moru v roce 1597 v Hamburku, zapříčinila jeden z prvních organizovaných svozů odpadů. *(K vývoji skládkování a odpadových technologií aneb něco historie neuškodí)*

V současnosti je skládkování chápáno jako nedostatečný způsob nakládání s odpady a v hierarchii nakládání s odpady zaujímá nejnižší místo. Cílem EU je postupný odklon od skládkování odpadů k jiným technologiím, především k předcházení vzniku odpadů nebo recyklaci. Hlavními nevýhodami skládkování odpadů je ztráta materiálů, půdy a emise plynů a výluhů. I přes tyto negativní faktory, které moderní technologie pro zpracování odpadů nemají, je skládkování velmi používanou technologií v Evropě, především kvůli jednoduchosti a finanční nenáročnosti. Zatímco západní a severní Evropa skládkuje minimálně, ve východní části Evropy se jedná o nejvíce používaný způsob odstraňování odpadů. Množství skládkovaného odpadu v Evropě je uvedené v příloze 2.

### 2.2.1 Právní úprava skládkování odpadů

Skládkování odpadů, je podmíněno dodržováním legislativy, k tomu určené. Hlavním právním předpisem, který skládkování upravuje je zákon o odpadech, tj. zákon č. 185/2001 Sb. a vyhláška č. 294/2005 Sb. Významná je i legislativa Evropské unie a to především směrnice rady EU 1999/31/ES o skládkách odpadů.

Zákon o odpadech definuje především:

- základní pojmy skládkování, tj. definice skládky a jejích fází,
- povinnosti pro provozovatele skládky a obecné povinnosti,
- pravomoci ministerstva stanovit vyhlášky a její specifikace,
- zákaz ukládání odpadů, patřících do povinného zpětného odběru,
- poplatky spojené se skládkování odpadů a finanční rezervy pro první a třetí fázi,
- povinnost ohlašovat údaje o stavu kapacity skládky, finanční rezervy a poplatcích.

*(Zákon č. 185/2001 Sb.)*

Vyhláška č. 294/2005 Sb. upravuje zvláště:

- technické požadavky na skládky odpadů,
- podmínky provozování skládek odpadů,
- seznam odpadů, které je zakázáno na skládky ukládat, případně možné ukládat za určitých podmínek,
- hodnocení vyluhovatelnosti a mísitelnosti odpadů,
- požadavky pro ukládání nebezpečných odpadů z azbestu nebo odpadů vzniklých při spalování nebezpečných odpadů,
- požadavky na ukládání odpadní rtuti,
- způsob tvorby finanční rezervy a její čerpání. *(Vyhláška č. 294/2005 Sb.)*

Příloha č. 5 vyhlášky č. 294/2005 Sb. definuje odpady, které nesmí být skládkovány jako:

- odpady vznikající z výrobků, které podléhají povinnosti zpětného odběru dle § 38 zákona,
- kapalný odpad a odpad, který sedimentací uvolňuje kapalnou fázi,
- nebezpečné odpady, které mají jednu nebo více z těchto nebezpečných vlastností:
  - HP1 – výbušnost,
  - HP2 – oxidaci,
  - HP3 – hořlavost,
  - HP9 – infekčnost,

- HP12 – uvolňování akutně toxického plynu.
- odpady prudce reagující při styku s vodou,
- odpady chemických a biologických látek, které vznikají při výzkumné, vývojové a výukové činnosti, jejichž totožnost nebyla zjištěna anebo jsou nové a jejichž účinky na člověka nebo životní prostředí nejsou známy,
- léčiva, návykové látky a přípravky, makovina a prekursorů drog,
- pesticidy,
- silně zapáchající odpady,
- nádoby a zařízení s obsahem plynu pod tlakem rozdílným od tlaku atmosférického,
- odpady, u nichž míra radionuklidů nebo znečištění jimi neumožňuje jejich uvádění do životního prostředí,
- kyselé a hydrolyze podléhající odpady z výroby oxidu titaničitého. *(Vyhláška č. 294/2005 Sb.)*

Směrnice EU 1999/31/ES je stěžejní směrnice EU, která musela být implementována do legislativ členských zemí nejpozději do dvou let od nabytí účinnosti. Evropská směrnice členění skládky podle typu odpadů, definuje cíle snižování skládkování biologicky rozložitelných odpadů a stanovuje, že poplatky za uložení odpadu musí pokrýt náklady na provoz, uzavření skládky a následnou péči po dobu třiceti let. *(Směrnice EU/1999/31/ES)* Směrnici mění, nová směrnice 2018/850/EU, která směřuje EU k přechodu na oběhové hospodářství, a tedy k větším nárokům na snižování skládkování v EU. *(Směrnice 2018/850/EU)*

### **2.2.2 Skládka jako technické zařízení**

Skládka je technické zařízení, které slouží k odstraňování odpadů trvalým, řízeným uložením na zemi nebo do země, zřízené v souladu s právním předpisem, provozované ve třech navazujících fázích. Skládka má za úkol udržet odpad na stejném místě, po dostatečně dlouhou dobu a zadržet škodliviny, vzniklé při procesu skládkování. Skládka, jakožto velké zařízení pro odstraňování odpadů, musí před výstavbou projít složitým schvalovacím procesem. Schvalovací proces je vymezený zákony č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí (EIA), č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečišťování (IPPC), a č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění. *(Kuraš, 2014)*

### 2.2.2.1 Základní pojmy skládkování odpadů

Základní pojmy o skládkách odpadů jsou uváděny v technických normách:

- ČSN 83 8030: Skládkování odpadů – Základní podmínky pro navrhování, výstavbu a provoz skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018
- ČSN 83 8032: Skládkování odpadů – Těsnění skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018
- ČSN 83 8033: Skládkování odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018
- ČSN 83 8034: Skládkování odpadů – Odplynění skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018
- ČSN 83 8035: Skládkování odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018
- ČSN 83 8036: Skládkování odpadů – Monitorování skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

Normy udávají tyto základní pojmy:

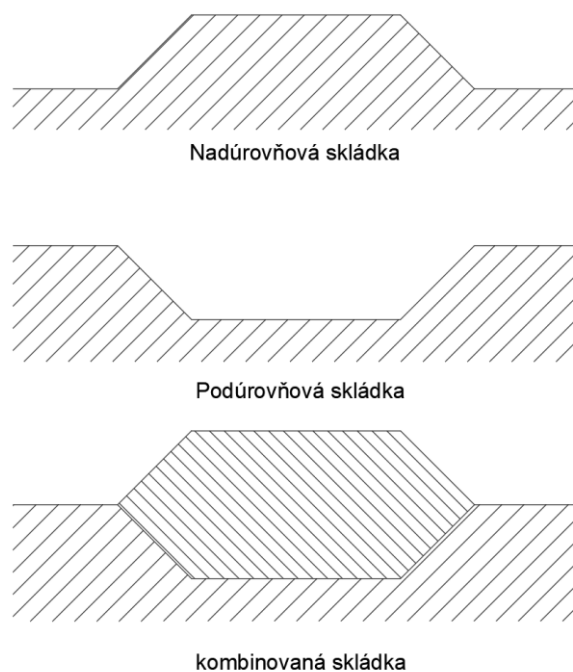
- těleso skládky – konstrukční vrstvy skládky včetně uloženého odpadu,
- sekce skládky – rozdělení jednotlivých etap na prostory, kde probíhá postupné skládkování,
- sektor skládky – vymezená část skládky, sloužící k ukládání podobných odpadů svým složením, původem a vlastnostmi, která svým technickým provedením zabezpečí oddělené ukládání těchto materiálů uvnitř jedné skládky a zamezí kontaktu, smíchání nebo vzájemnému ovlivňování odpadů uložených v jednotlivých sektorech skládky po celou dobu jejich uložení,
- bariéra – přírodní nebo uměle vytvořená překážka, která účinně brání kontaminaci okolního prostředí skládky látkami, pocházející z ukládaného odpadu,
- hrázka – obvodový val jednotlivých sekcí, zajišťující stabilitu skládkového tělesa.

### 2.2.3 Druhy skládek odpadů

Skládky odpadů lze dělit podle kritérií:

1. dle technického zabezpečení na skupiny:
  - a. S – IO, skupina určená pro inertní odpady,
  - b. S – OO, skupina určená pro ostatní odpady, rozdělená na podskupiny:
    - i. S – OO1, podskupina pro skládky, nebo sektory skládek s nízkým obsahem organických biologicky rozložitelných látek,
    - ii. S – OO3, podskupina pro skládky, nebo sektory skládek s podstatným obsahem organických biologicky rozložitelných látek, odpadů, které nelze hodnotit podle jejich výluhu a odpadů z azbestu,
  - c. S – NO, skupina určená pro nebezpečné odpady. (*Vyhláška č. 294/2005 Sb.*)
2. dle zabezpečení na:
  - a. nezabezpečené – černé skládky (blíže definované v kapitole 2.2.3.2),
  - b. zabezpečené – řízené skládky (blíže definované v kapitole 2.2.3.1).
3. dle zajištění ochrany před srážkami na:
  - a. otevřené,
  - b. kryté.
4. podle manipulace s odpadem na:
  - a. s úpravou odpadu – třídění, drcení, vlhčení,
  - b. bez úpravy odpadu.
5. dle způsobu uložení odpadu ve skládce na:
  - a. skládky jedno druhové – odpady na skládce nesmějí být smíchány,
  - b. skládky více druhové,
  - c. skládky sdružené – kombinované ukládání KO a průmyslového odpadu.
6. podle umístění vzhledem k úrovni terénu na:
  - a. podúrovňové skládky (tzv. svahové),
  - b. nadúrovňové skládky (tzv. násypové),
  - c. podzemní skládky. (*Kuraš, 1994*)

**Obrázek 3 - Typy skládek ve vztahu k terénu**



**Zdroj 3 - (Kuraš, 1994)**

### **2.2.3.1 Řízené skládky**

Řízené skládky jsou aktuálně základním standardem pro skládkování odpadů. Jedná se o technické zařízení, k ukládání odpadů za daných technických a provozních podmínek. Vlivy technických i provozních podmínek na životní prostředí, musejí být průběžně kontrolovány. Řízené skládky musejí být vybaveny:

1. těsnícím systémem, tj. přírodní či technickou bariérou, která brání průsaku výluhu do podzemních vod nebo okolí,
2. drenážním systémem, ke sběru výluhu a odvodu do jímky,
3. odplyňovacím systémem, který má za úkol jímat skládkový plyn z tělesa skládky,
4. zařízením na příjem a hutnění odpadu. (Kuraš, 1994)

Řízené skládky mají tři fáze životnosti:

1. výstavba skládky,
2. provoz skládky,
3. rekultivace a následná péče (třicet let). (Kuraš, 1994)



### 2.2.3.2 Černé skládky

Černé skládky jsou místa, kde dochází k nelegálnímu ukládání odpadu. Černé skládky nejsou schválená místa k odstraňování odpadů a vznikají tak bez nutných technických opatření. Černé skládky mají oproti řízeným skládkám pouze dvě fáze:

1. ukládání odpadu,
2. sanace nebo rekultivace. (*Černé skládky – co skrývají a jak je řešit?*)

Černé skládky vznikají v přírodě, nejčastěji za vesnicemi, v místech se sníženou pravděpodobností kontroly úřadů či jiných orgánů. Hlavními důvody ke vzniku černých skládek jsou:

- nedostatečný svoz odpadu v dané lokalitě, tj. špatně nastavené intervaly svozu, či absence svozu,
- vysoké poplatky za svoz odpadu,
- menší míra sběrných nádob pro oddělený sběr,
- absence sběrného dvora. (*Černé skládky – co skrývají a jak je řešit?*)

Černé skládky jsou tvořeny nejrozličnějšími druhy odpadů, od stavebních sutí, nábytku, elektro zařízení či nebezpečných odpadů jako jsou oleje, barvy či laky. Vzhledem k různorodosti odpadu, ale především absenci technických opatření jsou černé skládky velkou zátěží pro životní prostředí v jejím okolí. Hlavní negativní vlivy černých skládek na životní prostředí jsou:

- tvorba a únik výluhu do okolí nebo podzemních vod,
- tvorba a únik skládkového plynu,
- šíření zápachu do okolí,
- šíření infekcí, díky přemnožení živočichů nebo hmyzu. (*Černé skládky – co skrývají a jak je řešit?*)

Kvůli negativnímu vlivu na životní prostředí, ale i estetice prostředí, kde se černá skládka nachází, je nutné černé skládky odstraňovat. Odstraňování probíhá většinou na náklady obcí, jelikož většinou nelze zjistit kdo je původce odpadu. Odstranění provádí technické služby obcí nebo měst, či specializované firmy, které odpad pomocí rypadel vyteží a převezou k bezpečnému odstranění. Následně je možné provést rekultivaci či asanaci okolí. Doporučením je poté i oplocení, či kontrola, aby nedocházelo k dalšímu černému skládkování. (*Černé skládky – co skrývají a jak je řešit?*)

I přes přítomnost svozu odpadů a sofistikovaných možností zbavení se odpadu, se na území ČR stále nacházejí a tvoří černé skládky. Podle serveru „ZmapujTo“ se na území ČR nachází přes dva tisíce černých skládek. (*ZmapujTo.cz*)

#### **2.2.4 Výstavba skládek**

Tato kapitola se zabývá výstavbou skládek odpadů.

##### **2.2.4.1 Výběr lokality**

Správný výběr lokality pro vybudování skládky odpadů je důležitý faktor pro vhodné fungování skládky. Výběr lokalit je omezován přírodními ale i společenskými a resortními zájmy v dané lokalitě. Vybudování skládky je podmíněné územním plánem dané obce nebo zásadami územního rozvoje kraje. Lokalita pro vybudování skládky se posuzuje podle těchto faktorů:

- ochrany životního prostředí,
- ochrany fauny,
- technických možností, tj. realizovatelnosti výstavby a provozu,
- zájmů v daném území včetně společenské závažnosti. (*Kuraš, 2014*)

Lokalita pro umístění skládky musí splňovat tyto podmínky:

1. geologické a hydrogeologické podmínky – vlastnosti horninového prostředí skládky, bránící šíření kontaminace z výluhu skládky,
2. vodohospodářské podmínky – v okolí skládky se nesmí nacházet vodohospodářské zdroje, které by mohli být kontaminovány,
3. podmínky ochrany přírody a krajiny,
4. podmínky ochrany lesního hospodářství a zemědělské výroby,
5. podmínky ochrany inženýrských sítí – skládky nesmí být v ochranných pásmech plynovodů, ropovodů, parovodů, aj. (*Kuraš, 2014*)

##### **2.2.4.2 Přípravné práce při budování skládky**

Jelikož je skládkování prováděno v delším časovém horizontu, je nutné, aby skládka byla dlouhodobě stabilní – nesmí vzniknout žádné nepovolené deformace tělesa skládky. Deformace by mohly poškodit ochranné prvky skládky, tj. těsnící, drenážní, odplyňovací nebo monitorovací systémy skládky. Vzniklé deformace, vzhledem k povaze skládkování

(vršení materiálu na sebe), je prakticky nemožné v budoucnu eliminovat. Přípravné práce při budování skládky jsou:

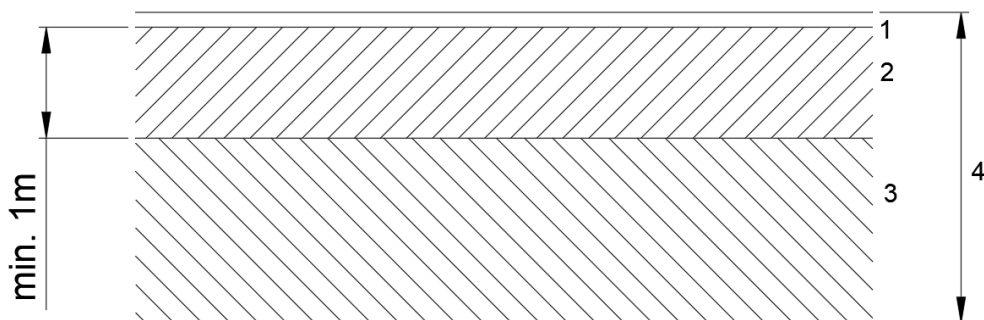
- příprava terénu,
- zřízení minerálního těsnění,
- zušlechtění fyzikálně – mechanických vlastností podloží skládky,
- skrytí orniční a podorniční vrstvy,
- pokládka těsní vrstvy z PEHD,
- výstavba drenážní vrstvy a odvodňovacího systému,
- zřízení odplyňovacího systému. (*Jurnik, 1994*)

Přípravným pracím předchází hydrogeologické a geotechnologické průzkumy. Průzkumy jsou dále rozšířeny o odhad sesedání a sesuvu skládky, který je důležitý pro výpočet objemu skládky, jímání skládkového plynu, recirkulace výluhu a konstrukci překryvu. Sesedání je závislé na mnoha faktorech, je nepravidelné a udává se 5–30 % z původního objemu odpadu. (*Kuraš, 2014*)

#### **2.2.4.3 Podloží**

Podloží je prvním stupněm těsnění dna skládky a hraje důležitou roli v eliminaci průsaku výluhu do okolí. Podloží skládky je uměle vybudované a vznikne navozením těsnicí vrstvy půdy do předem upraveného prostoru, kam se má odpad ukládat. Vytvořené podloží musí zajistit stejnoměrné sedání půdy. Tloušťka upravené části podloží musí být maximálně 30 cm. Vrchní část podloží, která se dodatečně zhutní se nazývá základová spára. Na základové spáře je následně vybudováno těsnění skládky. Obrázek 4 znázorňuje podloží skládky. (*Jurnik, 1994*)

Obrázek 4 - Podloží skládky



Zdroj 4 – (ČSN 83 8030)

kde:

- 1 – základová spára
- 2 – upravená část podloží
- 3 – neupravená část podloží
- 4 – projektovaná výška podloží skládky

#### 2.2.4.4 Základová spára

Základová spára je vyrovnaná a dodatečně zhutněná plocha podloží skládky, na které se buduje těsnění skládky. Základová spára musí být rovná, dostatečně zhutněná a musí mít dostatečný sklon k odvodu výluhu ze skládky. Zemina, která tvoří základovou spáru, musí v celé své ploše vykazovat stejné zhutnění. Zhutnění je kontrolováno každých 2 500 m<sup>2</sup>. Tolerance výstavby základové spáry je 5 cm od vyprojektované výšky. Pro správnou funkčnost základové spáry, vzhledem k žádné možnosti opravy po nanesení minerálního těsnění, je nutné zamezit poškození při výstavbě. (*Jurnik, 1994*)

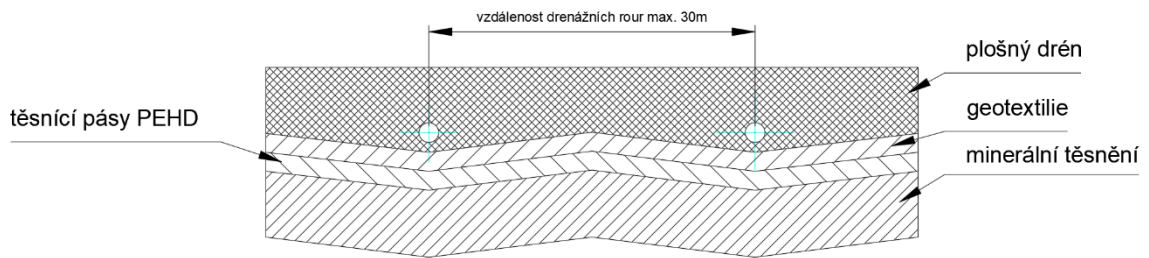
#### 2.2.5 Technologické části skládky

Tato kapitola blíže specifikuje jednotlivé technologické části skládky.

##### 2.2.5.1 Těsnící systémy

Těsnící systémy skládek slouží k eliminaci průsaku výluhu do podzemních vod a okolí. Do skládek, které nemají těsnící systémy, lze ukládat pouze odpad inertní. Skládky komunálního odpadu (S – OO) musejí mít kombinované těsnění složené z přírodní a umělé bariéry. Těsnící systém je zobrazen na obrázku 5.

Obrázek 5 - Těsnící systém skládky S – OO



Zdroj 5 - (Jurnik, 1994)

### Přírodní minerální těsnění

Minerální těsnění je uměle vytvořená nepropustná těsnící zábrana z přírodního materiálu, kterou tvoří jedna, či více vrstev zeminy. Jako minerální těsnění se používají přírodní málo propustné materiály, například jíly. Propustnost těchto materiálu nesmí být vyšší než 3 cm za rok, což odpovídá koeficientu filtrace  $10^{-9} m \cdot s^{-1}$ . K vylepšení vlastností materiálu mohou být používány různé přísady, např. vápno, práškové vodní sklo, aj. (Kuraš, 2014)

Minerální těsnění se pokládá na základovou spáru a tvoří jí více vrstev, většinou tři, o maximální tloušťce 20 cm. Nejvyšší vrstva nesmí obsahovat zrna či částice s ostrými hranami a velikost zrna nesmí být větší než 20 mm. Zhotovení minerálního těsnění nemůže probíhat v nepříznivých klimatických podmínkách, tj. za deště a mrazu. Při utuzování musí být zemina dostatečně vlhká, aby se předcházelo vzniku trhlin, které je případně nutné zacelit. Povrch zeminy by měl být lesklý a hladký. Minerální těsnění se profiluje tak, aby spád odvodňovacího vedení byl  $\geq 2 \%$  a příčný spád mezi odvodňovacími vedeními v sekcích byl  $\geq 3 \%$ . (Jurnik, 1994)

### Umělé těsnění

Umělé těsnění je dodatečným zabezpečením dna skládek. Dá se rozdělit do dvou částí, a to na těsnění z nepropustného materiálu – vysoko hustotního polyethylenu a geotextilie. Geotextilie má za úkol ochránit polyethylenovou vrstvu před mechanickým poškozením od plošného drénu.

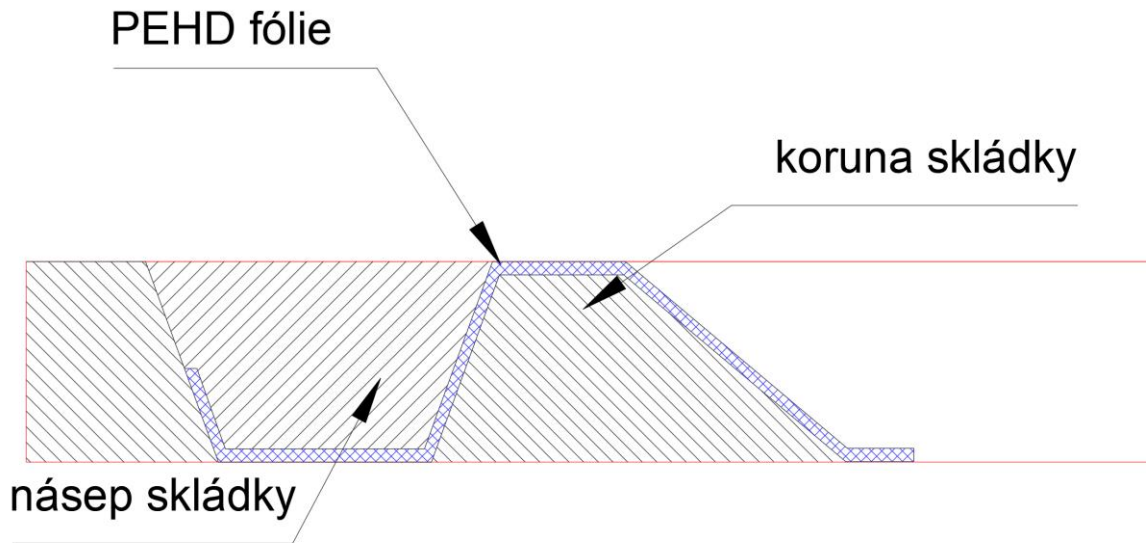
## Těsnící pásy z plastů

Těsnící pásy jsou dodatečnou ochranou před únikem výluhu z tělesa skládky. Používají se výhradně pásy z vysoko hustotního polyethylenu – PEHD fólie. PEHD materiál má ze všech plastů největší odpor proti propustnosti výluhu a jeho odolnost proti chlorovaným uhlovodíkům je vysoká. Jelikož jsou pásy na dně skládky po celou dobu její životnosti (30 a více let), mechanická stabilita je vysoce důležitá. PEHD materiál má vysokou pevnost v tahu, která však klesá s jeho tloušťkou. Používají se tedy pásy o tloušťce 2,5 mm. Pásy jsou i přes to chráněny z obou stran – ze spodu uhlazenou a utuženou základovou spárkou a ze shora geotextilií. Tloušťka 2,5 mm splňuje nároky na biologickou odolnost proti prorůstání kořenů, odolnost vůči mikroorganismům a hlodavcům. (*Jurník, 1994*)

Největší výhodou PEHD je jeho nízká propustnost  $10^{-14} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ , přesto je možnost difuze výluhu membránou. Dalšími materiály, které lze použít k těsnění, jsou butylkaučuky nebo fluoropolymery. Vzhledem k nízké ceně je však PEHD nejpoužívanějším materiálem. (*Kuraš, 2014*)

Těsnící pásy z PEHD materiálu jsou dodávány v rolích o určité šířce, nejčastěji 5 a více metrů. Ke spojování rolí se používá svařování pomocí horkého klínu, svařování extruzivní nebo svařování horkým plynem. Nejčastějším způsobem je svařování pomocí horkého klínu, který provádí svařovací automat. Vzhledem k narušení struktury materiálu je požadováno nejmenší množství svarů, čehož lze docílit větší šíří fólie. Po svaření se celá plocha fólie kontroluje, především nepropustnost svarů. Fólie je zahnuta přes korunu skládky a zasypána zeminou v násepu skládky. (*Váňa, 2009*)

Obrázek 6 - Ukončení PEHD fólie



Zdroj 6 - (Jurnik, 1994)

### Ochranná vrstva z geotextilie

Ochranná vrstva z geotextilie se pokládá na zhotovenou PEHD fólii viz obrázek 5. Geotextilie má za úkol zamezit mechanickému porušení PEHD vrstvy. Převážně se používá polypropylenová geotextilie s plošnou hmotností až  $1200 \text{ g.m}^{-2}$  s přidavným stabilizátorem na odolnost proti ultrafialovému záření. Stabilizátor prodlužuje životnost geotextilie. Geotextilie se pokládá s přesahem 20 cm a je spojována stehovým svařováním. Svařence jsou kontrolovány kvůli těsnosti vakuovou zkouškou nebo zkouškou vysokým napětím. (Jurnik, 1994)

### Drenážní systémy

Drenážní systém slouží k odvodu průsakových vod z tělesa skládky. Voda se do tělesa skládky dostává dešťovými srážkami, z odpadu nebo z recirkulace vody za účelem podpory vývoje mikrobiální anaerobní populace. Výluh musí být zachycen, neboť obsahuje organické i anorganické znečištění a jeho emise do okolí mohou vysoce znečišťovat životní prostředí. (Kuraš, 2014)

Drenážní systém tvoří:

- vnitřní drenážní systém,
  - o trubní sběrné drény,
  - o plošné drény,
- vnější drenážní systém,
  - o svodné trubní drény,
  - o šachty svodného drénu,
  - o jímka dešťové vody,
  - o jímka průsakové vody. (Malý, 2002)

### **Vznik výluhu a jeho složení**

Výluh je odpadní voda, která je znečištěna organickými i anorganickými polutanty, s poměrně proměnlivými vlastnostmi a představuje vysoké riziko pro vodní zdroje v okolí skládky. Skládkový výluh vzniká průchodem vody tělesem skládky, která se hromadí ve skládce a akumuluje polutanty z odpadu. Voda se do skládky dostává především dešťovými či sněhovými srážkami a vlhkostí obsažené v odpadu. Srážky jsou hlavní příčinou infiltrace vody do tělesa skládky. Výluh vzniká po nasycení sorpční kapacity odpadů. Kvůli průsaku vody do tělesa skládky, probíhá komplex chemických, biologických a fyzikálních procesů, které jsou důvodem rozkladu a přeměny biodegradovatelného odpadu. Uvolněné polutanty z těchto procesů jsou akumulovány v průsakové vodě. Vzhledem k vysoké heterogenosti odpadů je vodní sorpční kapacita rozdílná. Vodní sorpční kapacita závisí i na stupni zhutnění odpadu a biologické rozložitelnosti, jelikož organické látky se na zadržování vody podílejí nejvíce. Výluh se tělesem skládky pohybuje účinkem gravitace. Množství vzniklého výluhu závisí především na:

- mocnosti skládkového tělesa,
- hmotnosti uloženého odpadu,
- kvalitě těsnění dna skládky,
- kvalitě drenážního systému. (Kuraš, 2014)

Malý (2002) stanovuje množství průsakové vody v delším časovém intervalu podle rovnice /1/.



$$V_p = V_s + V_m - O_{povr} - O_{podz} - E - V_{ms} \quad [m^3] \quad /1/$$

kde:

- $V_p$  = množství průsakových vod [ $m^3$ ]
- $V_s$  = objem srážek [ $m^3$ ]
- $V_m$  = objem vody ve skládkovaném odpadu [ $m^3$ ]
- $O_{povr}$  = povrchový odtok [ $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ ]
- $O_{podz}$  = podzemní odtok [ $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ ]
- $E$  = výpar do ovzduší [ $m^3$ ]
- $V_{ms}$  = množství vody poutané ve skládkovém materiálu [ $m^3$ ]

Složení výluhu závisí především na složení odpadu. Výluh může být znečištěn jak biologicky, tak i chemicky. Spolu s choroboplodnými bakteriemi jsou hlavními znečišťovateli chemické látky:

- těžké kovy,
- alifatické kyseliny,
- amonné sloučeniny,
- dusičnany. (*Kuraš, 2014*)

Složení výluhu a koncentrace jednotlivých polutantů závisí na stáří skládky, biologických procesech, které probíhají v tělese skládky, a na množství vody, které prochází tělesem skládky. V tělese skládky se nachází tři fáze, pevná, kapalná a plynná. Kapalná fáze neboli výluh, absorbuje rozpuštěné nebo suspendované organické látky a anorganické ionty z pevné fáze – odpadu. Plynná fáze – skládkový plyn, obsahuje především uhlík –  $CO_2$  a  $CH_4$ . Jednotlivé fáze rozkladu organického materiálu uvnitř tělesa skládky mají jiné hodnoty pH a složení výluhu se tedy v průběhu času mění. Postupným rozkladem odpadu, se snižují hodnoty biologické spotřeby kyslíku – BSK a chemické spotřeby kyslíku CHSK. Z poměru BSK / CHSK lze určit stupeň rozkladu odpadu a tedy stabilitu skládky.

Chemické látky obsažené ve výluhu lze rozdělit do pěti skupin:

1. celková organická hmota – těžké alifatické kyseliny a humifikované látky.

Vyjadřuje se pomocí:

- a. chemické spotřeby kyslíku – CHSK,
- b. biochemické spotřeby kyslíku – BSK,
- c. celkového organického uhlíku – TOC,

2. dusíkaté látky – organický dusík a amonné ionty  $\text{NH}_4^+$ . Pocházejí z rozkladu proteinů,
3. anorganické makrosubstance – Ca, Mg, Na, K,  $\text{HCO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,
4. těžké kovy – většinou v malých koncentracích, převážně Zn a Ni. Možný je i výskyt Cd, Pb, Cu, Cr, Hg, As, Sb, Sn a jejich organické a anorganické komplexy,
5. organické stopové látky – vyskytují se převážně u NO – aromatické uhlovodíky, fenoly, pesticidy nebo chlorované látky. (Kuraš, 2014)

### **Zařízení drenážního systému**

Zařízení drenážního systému má za úkol odvádět vodu – výluh z tělesa skládky, který se hromadí na dně skládky a zamezit tak možnostem průsaku do okolního prostředí. Jelikož je nemožné drenážní systém při skládkování později opravit, kladou se na drenážní systém vysoké požadavky a odpovědnost při výstavbě. Drenážní systém je rozdělen na vnější a vnitřní. Vnitřní drenážní systém odvádí výluh z tělesa skládky. Vnější drenážní systém svádí vodu do jímek, odkud je odvážena k čištění nebo recirkulována zpět do tělesa skládky.

### **Vnitřní drenážní systém**

Vnitřní drenážní systém je složen z plošného a trubního drénu. Plošný drén je filtračně stabilní propustná vrstva materiálu, kterým je pokryto dno a svahy skládky. Plošný drén shromažďuje výluh a pomocí sklonu dna skládky ho odvádí k trubním drénům, viz obrázek 5. Jako plošný drén se používají přírodní materiály, nejčastěji kačírek, drcené kamenivo, střepy nebo stavební odpad. Materiál však musí mít dostatečnou pevnost a odolnost proti zvětrávání. Propustnost materiálu nesmí klesnout pod  $10^{-4} \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Plošný drén slouží i k zachycení plošného zatížení, vzniklého z ukládání odpadu. (Jurnik, 1994)

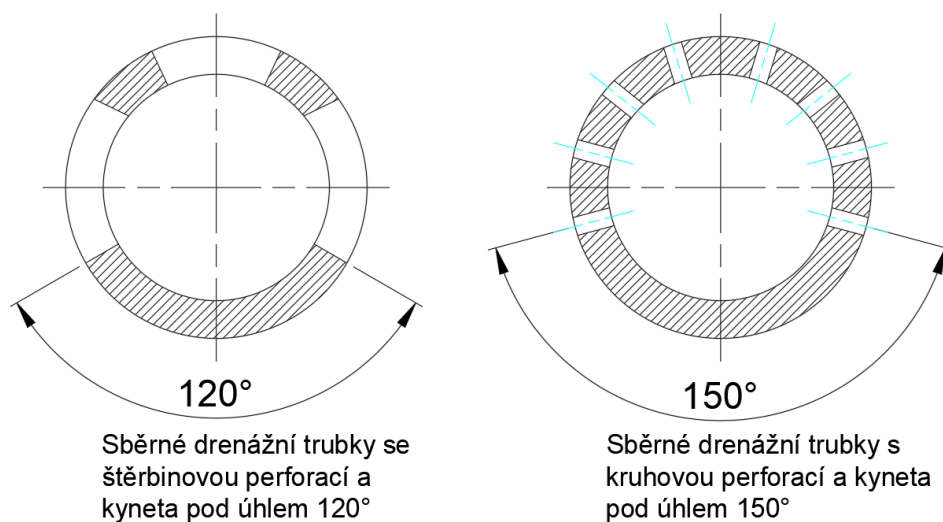
Trubní drény jsou ukládány do plošného drénu a slouží k odvodu vody z tělesa skládky. Jedná-li se o skládku s vyšším sklonem dna skládky, není nutné trubní drén používat, k odvodu slouží plošný drén. Trubní drén je tvořen perforovanými trubkami z PEHD materiálu o průměru 200 až 250 mm a tloušťce stěn 18,2 až 22,8 mm.

Na trubky jsou kladeny následující požadavky:

- malý odpor vnikání vody do sběrných drénů na základě optimálního tvaru a uspořádání vstupních otvorů,
- kvalitní materiál s vysokými mechanickými vlastnostmi,
- dostatečný jmenovitý průměr, který umožňuje kontrolu a čištění,
- snadný odtok výluhu v trubce, při nejmenším spádu 2 %. (*Jurník, 1994*)

Trubky užívané pro trubní drény mají perforaci ve tvaru štěrbin nebo kruhu s celkovou plochou pro vstup kapaliny 100 cm<sup>2</sup> na 1 m délky a zhotovují se frézováním nebo vrtáním. Mechanické vlastnosti perforovaných trubek musí být stejné jako trubek nepreferovaných. Provádí se zkoušky pružnosti, hustoty, pevnosti, napětí, roztažnosti mechanické i tepelné. Jelikož plošný drén nedovoluje, aby trubky byly ve větším sklonu, je nutné, aby byl vnitřní povrch trubek hladký a rovný. Za optimální rozteč trubek se považuje 15 m, avšak by neměla překročit 30 m. Trubní drén lze rozdělit na sběrný a svodný drén. Sběrný drén slouží ke sběru výluhu v ploše. Svodný drén ke svodu výluhu do jímky. Napojení svodného drénu na sběrný drén je v šachtách mimo těleso skládky. Každý sektor skládky má vlastní šachtu. Na jedné straně skládky je sběrný drén vyveden nad korunu skládky kvůli kontrole a čištění. (*Jurník, 1994*)

**Obrázek 7 - Perforace drenážních trubek**



**Zdroj 7 - (Jurník, 1994)**

## Vnější drenážní systém

Vnější drenážní systém je tvořen trubními svodnými drény, šachtami svodného drénu, jímkou průsakové vody a jímkou dešťové vody.

Svodný drén je neperforovaná trubka z PEHD materiálu, sloužící k odvodu výluhu případně dešťové vody z šachty do jímky. Šachty mají průměr 1,5 m a jsou vyrobeny z železobetonu, zevnitř izolované PEHD fólií a nacházejí se mimo těleso skládky. Horní část šachty musí být nad úrovní terénu, aby se zamezilo možnosti průsaku povrchové vody poklopem šachty. Kvůli manipulaci s přepojovacím ventilem, musejí mít šachty dostatečný průměr. Vzhledem k uzavřenému prostoru a možným výparům z výluhu a emisím skládkového plynu pomocí sběrných drénů, je nutné dostatečné větrání před manipulací s přepojovacím ventilem v šachtě. (*Jurnik, 1994*)

Jímka průsakové vody slouží k zachycení výluhu ze skládky. Průsaková jímka je umístěna v areálu skládky, avšak mimo násep skládky. Má-li skládka vlastní čistírnu odpadních vod, není jímka nutná. Jímka je železobetonová konstrukce, tvořena z vodo stavebního a chemicky stálého betonu. Výpočet objemu jímky se provádí podle velikosti plochy podloží a dešťových, případně sněhových srážek. Stěny jímky jsou izolovány pomocí PEHD fólie nebo jiných odolných materiálů. Jímka musí obsahovat ochranné prvky pro zamezení vstupu lidí a zvíře do jímky (zábradlí). V případě páchnoucího výluhu musí být uzavřena. Jímka musí mít zařízení na měření přítoku výluhu a slouží jako sklad výluhu před odvozem k vyčištění, do čistírny odpadních vod. (*Jurnik, 1994*)

Jímka na dešťovou vodu je nezbytnou součástí vnějšího drenážního systému každé skládky. Shromažďují se zde srážkové vody z rekultivovaných částí skládek nebo ze sběrného drénu ze sekcí skládek dosud neznečištěných odpadem. (*Jurnik, 1994*)

## Zpracování výluhu

Zpracování výluhu je finanční zátěž firem, které provozují skládky odpadů. Jako v celkové hierarchii nakládání s odpady, je předcházení vzniku výluhu možným řešením omrzování těchto nákladů. Předcházet vzniku výluhu, resp. omezovat jeho množství lze:

- zamezením vstupu dešťových srážek do tělesa skládky,
- omezením množství biologicky rozložitelných složek ve skládkovaném odpadu,

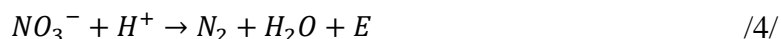
- stabilizací odpadu. (Kuraš, 2014)

Cílem každé skládky je snaha o snížení množství výluhu. Obvykle je však množství výluhu v takové míře, že je nutné výluh zpracovávat, tj. čistit. Zpracování výluhu je technologicky složitý proces, vzhledem k nestálosti vlastností výluhu. Výluh může být znečištěn širokým spektrem polutantů, což tvoří technologicky složitou směs k vyčištění. Cílem čištění výluhu je odstranění environmentálně závažných látek, aby mohl být výluh vypuštěn do životního prostředí. K čištění výluhu je nejčastěji používán víceetapový systém, který využívá chemických, fyzikálních a bakteriálních procesů. Nejběžnějším způsobem čištění je odvoz výluhu v cisternách a vyčištění v čistírnách odpadních vod. (Malý, 2002)

Ekonomicky nejvýhodnějším způsobem čištění výluhu je biologické zpracování, které lze rozdělit na aerobní a anaerobní procesy. Biologické procesy rozkládají organické látky na oxid uhličitý, vodu a biomasu. Vzhledem k velkému množství organických polutantů ve výluhu, umožňuje biologické zpracování poměrně efektivní cestu k částečnému vyčištění výluhu. Aerobní procesy, tedy procesy s přístupem kyslíku, jsou výhodnější pro rozklad aromatických látek. Anaerobní procesy, tedy procesy bez přístupu kyslíku, jsou výhodnější pro rozklad látek s kratšími alifatickými řetězci. Výhodou aerobních procesů oproti anaerobním je jejich rychlost a snadná říditelnost procesu. Dochází však při nich k tvorbě kalů – suspenze mikroorganismů, které mohou adsorbovat organické látky nebo těžké kovy. Při anaerobních procesech vzniká menší množství kalů a tyto procesy mohou vytvářet energeticky využitelný methan. Anaerobní procesy jsou závislé na prostředí, které narušují těžké kovy a jiné toxické látky. Z tohoto důvodu se nejčastěji používá kombinace aerobních a anaerobních procesů. Příkladem je odstraňování amoniakálního dusíku, který je-li neodstraněn z výluhu a vypuštěn do vodního recipientu způsobuje vysokou eutrofizaci. Odstraňuje se nitrifikací (aerobní proces) a následnou denitrifikací (anaerobní proces). Autotrofní nitrifikace amoniakálního dusíku probíhá ve dvou fázích. Nitritace a následná nitratace je patrná z rovnice /2/, resp. /3/. (Kuraš, 2014)



Po aerobním procesu – nitrifikace, je zařazen anaerobní proces disimilativní denitrifikace, viz rovnice /3/.



U starších skládek odpadů je koncentrace amoniaku vysoká. Biologickými procesy nelze dosáhnout požadovaných hodnot pro vypouštění do recipientu. Je tedy nutné hledat jiné alternativy čištění, jako například srážení ve formě struvitu nebo využití fyzikálně chemických procesů. Fyzikálně chemické procesy jsou například stripování vzduchem, reverzní osmóza, chemické srážení, oxidace a adsorpce na aktivním uhlí nebo zeolitu. (Kuraš, 2014)

Pro zpracování výluhů lze použít i fyzikální a chemické procesy. Tyto procesy fungují na principu koncentrace a separace polutantů z výluhu. Vzniklý koncentrát, obsahující organické i anorganické látky může být spalován, skládkován nebo jinak zpracován. Některými chemickými procesy, lze přeměnit organické látky na oxid uhličitý a vodu. Mezi tyto procesy patří:

- mokrá oxidace,
- ozonizace,
- zpracování pomocí UV záření,
- zpracování pomocí peroxidu vodíku. (Malý, 2002)

Nejběžnějšími chemickými způsoby však jsou:

- koagulace,
- flokulace,
- chemické srážení,
- chemická a elektrochemická oxidace,
- reverzní osmóza. (Malý, 2002)

Hlavními technikami fyzikálního čištění výluhu jsou:

- stripování vzduchem,
- membránová filtrace,
- vypařování a spalování,
- adsorpce. (Kuraš, 2014)

Chemické i fyzikální procesy jsou ekonomicky nákladné a většinou se způsoby kombinují. (Kuraš, 2014)

Alternativou k finančně náročným chemickým a fyzikálním procesům jsou přírodní postupy pro čištění výluhu jako například stabilizační rybníky, kořenové čistírny nebo přírodní odpařování. Tyto procesy jsou však závislé na klimatických podmínkách, ročním období nebo rozmanitosti organismů. Jejich účinnost je řádově menší. (Kuraš, 2014)

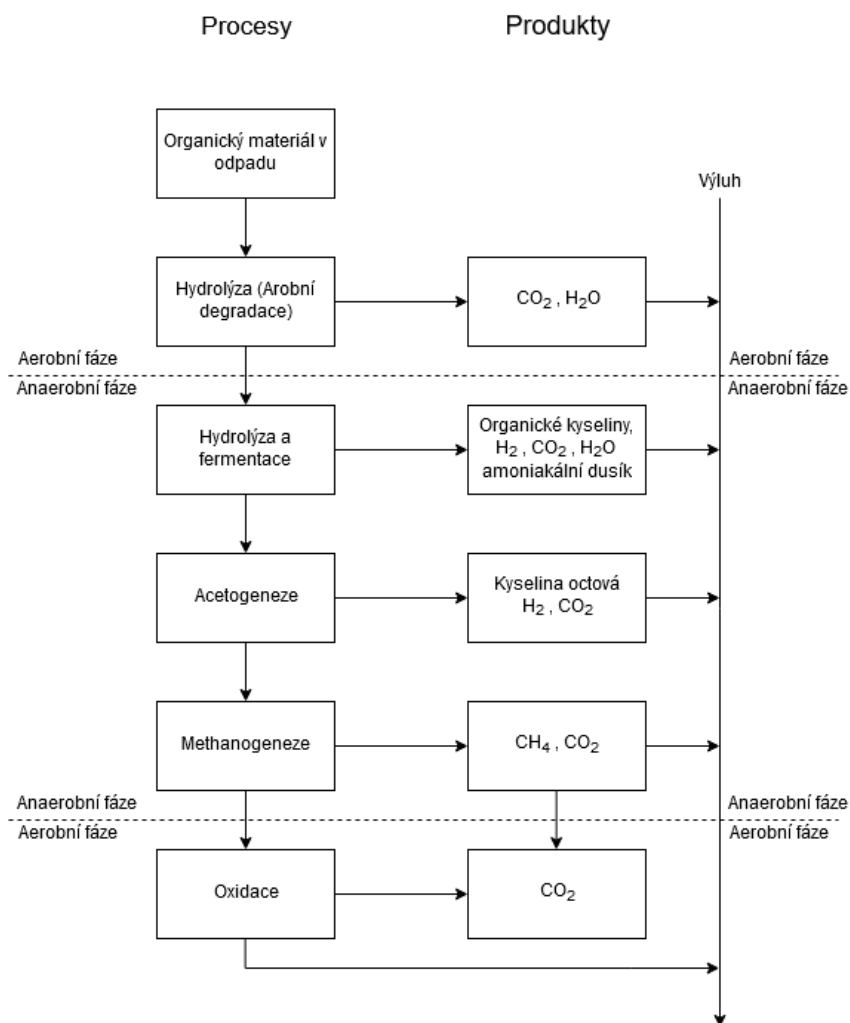
#### **2.2.5.2 Odplyňovací systémy**

Odplyňovací systémy slouží k jímání skládkového plynu, který vzniká rozkladem organického materiálu. Dále slouží k zamezení úniku skládkového plynu do okolí a zamezení růstu tlaku uvnitř tělesa skládky. Růst tlaku uvnitř tělesa skládky by mohl zapříčinit výbuch. Odplyňovací systém je využíván k odvodu plynu k využití. Jímání plynu lze rozdělit na aktivní a pasivní způsob a je povinnou součástí každé skládky komunálního, případně průmyslového odpadu.

#### **Vznik skládkového plynu a jeho vlastnosti**

Vznik skládkového plynu je podmíněn ukládáním biologicky rozložitelného odpadu na skládku. Vznik skládkového plynu probíhá v několik oddělených fázích, které probíhají odděleně a mají charakteristické podmínky a produkty viz obrázek 8.

**Obrázek 8 - Degradace organických odpadů ve skládce**



**Zdroj 8 - (Williams, 2005)**

Vznik skládkového plynu je závislý zvláště na:

- mocnosti skládkového tělesa,
- stupni zhutnění,
- vlhkosti odpadů,
- složení odpadů. (Kuraš, 2014)

### **Aerobní fáze**

Aerobní fáze je první fází vzniku skládkového plynu. Je závislá na kyslíku a vlhkosti ve skládce. Aerobní fáze trvá pouze několik dní, dokud se nedosáhne dostatečné vlhkosti k růstu organismů. Při aerobní fázi dochází k exotermickým reakcím a těleso skládky se



zahřívá až na 90 °C. Při této fázi dochází primárně ke spotřebě O<sub>2</sub> a menší spotřebě N<sub>2</sub>. Hlavním produktem této fáze je CO<sub>2</sub>. Po dostatečné akumulaci vlhkosti dochází k postupné tvorbě anaerobního prostředí. (Williams, 2005)

### **Anaerobní fáze**

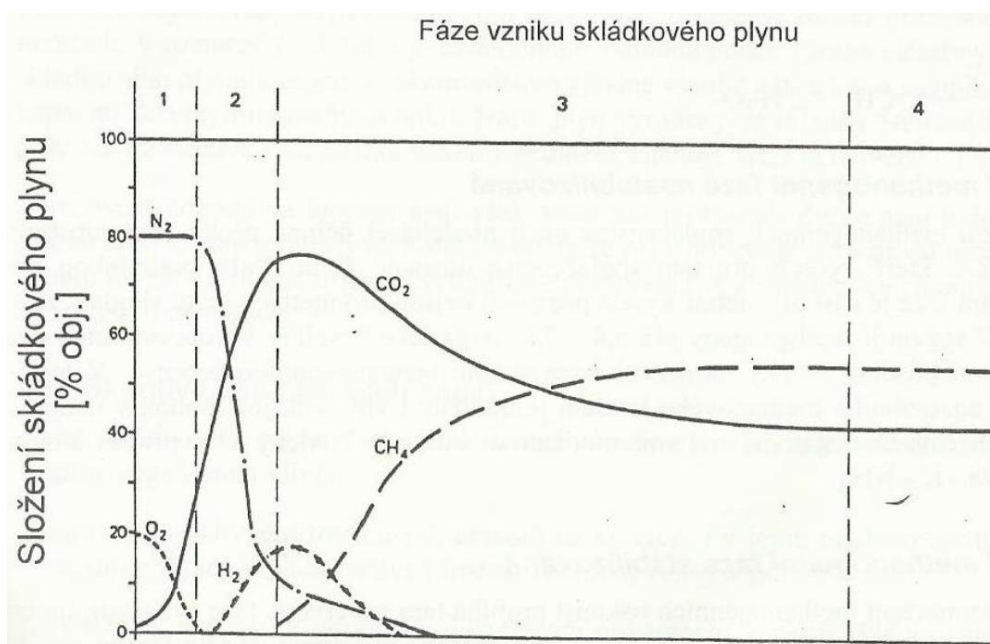
Anaerobní fáze v tělese skládky probíhá ve třech po sobě jdoucích fázích.

První anaerobní kyselinotvornou fází je Acetogeneze. Při této fázi dochází k úplnému přechodu z aerobního na anaerobní prostředí. Postupnou hydrolyzou dochází k mikrobiální přeměně biologicky rozložitelné hmoty a vznikají těkavé organické kyseliny, vodík, amoniakální dusík a oxid uhličitý. Akceptor elektronů kyslík je vytěšňován oxidem uhličitým a akceptorem elektronů se stávají nitráty a sulfáty. V této fázi již lze ve výluhu měřit CHSK a organické kyseliny. V této fázi klesá pH, což má za příčinu větší mobilitu kovů. Významným faktorem této fáze je nárůst biomasy a tvorba acidogenních bakterií, které tvoří kyseliny spotřebovávající substráty a živiny. (Kuraš, 2014)

Druhou anaerobní fází je methanogenní nestabilizovaná fáze. Vzniklé kyseliny z acetogenezní fáze jsou spotřebovány methanogeními bakteriemi za vzniku methanu a oxidu uhličitého. Akceptory elektronů nitráty a sulfáty jsou redukovány na sulfidy a amoniak. Hodnota pH roste což má za následek růst methanogenních bakterií. Methanogenní fáze probíhá výrazně pomaleji než předchozí fáze. Postupně dochází ke spotřebě a ustálení hladiny oxidu uhličitého, tvorbě methanu, spotřebě dusíku a vodíku. (Kuraš, 2014)

Třetí anaerobní fází je methanogenní stabilizovaná fáze. Konečná fáze stabilizace skládky. Postupně dochází k využití zbylého substrátu a živin což způsobuje utlumení biologické aktivity. Tvorba methanu klesá a dochází ke snížení polutantů ve výluhu. Po spotřebě živin dochází k výskytu kyslíku a oxidaci dalších látek. (Kuraš, 2014)

**Obrázek 9 - Fáze vzniku skládkového plynu**



**Zdroj 9 - (Kuraš, 1994)**

Obrázek 9 ukazuje popsané fáze vzniku skládkového plynu a vývoj a spotřebu jednotlivých plynů. Dle poklesu  $O_2$  je zjevné, že první fáze je aerobní, fáze 2 až 4 jsou anaerobní.

### **Vlastnosti skládkového plynu**

Vlastnosti skládkového plynu a jeho množství závisí na:

- složení odpadu,
- stáří odpadu – skládky,
- vlhkosti,
- stupni zhutnění,
- pH vodného prostředí,
- rychlosti zavážení odpadu. (Malý, 2002)

Skládkový plyn je složen z majoritních plynů – methanu a oxidu uhličitého a minoritních plynů jako dusík, sulfan, aj. Průměrné složení skládkového plynu je znázorněno v tabulce 1.

**Tabulka 1 - Složení skládkového plynu**

<b>Komponenty</b>		<b>Typické hodnoty [% objemová]</b>
<b>Název</b>	<b>Chemická značení</b>	
<b>Methan</b>	CH <sub>4</sub>	60 až 64
<b>Oxid uhličitý</b>	CO <sub>2</sub>	30 až 36
<b>Dusík</b>	N <sub>2</sub>	0 až 3
<b>Kyslík</b>	O <sub>2</sub>	0
<b>Vodík</b>	H <sub>2</sub>	0,0 až 0,05
<b>Oxid uhelnatý</b>	CO	0
<b>Sulfan</b>	H <sub>2</sub> S	-
<b>Oxid dusný</b>	N <sub>2</sub> O	0,0 až 0,2
<b>Organicky vázané halogeny</b>	-	-

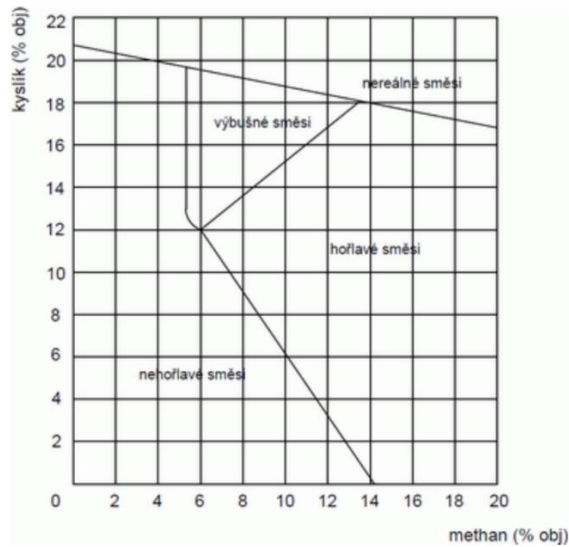
**Zdroj 10 - (<https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/18395-rizika-vzniku-a-kumulace-horlavych-plynu-pri-skladkovani-odpadu>)**

Důležitými vlastnostmi skládkového plynu je jeho měrná hmotnost, výbušnost a zápalnost. Zmíněné vlastnosti silně závisí na složení plynu. V prvopočátku tvorby skládkového plynu, v důsledku vysokého obsahu CO<sub>2</sub>, je měrná hmotnost skládkového plynu vyšší než vzduchu. V konečné fázi methanogeneze se měrná hmotnost skládkového plynu pohybuje v rozmezí  $1,13 \div 1,25 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a je tedy lehčí než vzduch ( $1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ). Výbušnost a zápalnost jsou důležité faktory vzhledem k bezpečnosti skládky. Přemíra methanu, vzhledem ke špatnému jímání, nebo vysoké teploty okolí, může zapříčinit výbuch nebo zahoření skládky. Výbušnost i zápalnost jsou závislé na množství methanu ve skládkovém plynu. Methan ve směsi se vzduchem a inertními plyny může explodovat, je-li koncentrace methanu v rozmezí dolní a horní meze výbušnosti. Norma ČSN 83 8034 udává meze výbušnosti a zápalnou teplotu, při teplotě 20 °C a tlaku 101,3 kPa takto:

- dolní mez výbušnosti – 5 % obj.,
- horní mez výbušnosti – 15 % obj.,
- zápalná teplota – 540 °C. (Tzb-info)

Oblasti hoření a výbuchu udává Coward – Jonesův diagram:

**Obrázek 10 - Coward - Jonesův diagram**



**Zdroj 11 - (ČSN 83 8034: Skládování odpadů – Odplynění skládek)**

### **Zařízení odplyňovacího systému**

Odplyňovací systém je tvořen:

- sběrnou sítí – určena k jímání plynu v tělese skládky,
- svodnou sítí – určena k odvádění plynu ze sběrné sítě,
- zařízením pro odvod, využití a odstranění skládkového plynu.

Odplyňovací systém lze rozdělit podle technického hlediska na:

- vertikální,
- horizontální,
- kombinované.

Tyto systémy se mohou budovat průběžně, s výstavbou skládky. Průběžné budování je však rizikové vzhledem k nutným kontrolám poškození. Systémy lze budovat i po uzavření nebo v průběhu rekultivace jako vertikální vrty. Nejčastějším způsobem jímání plynu je kombinace vertikálního a horizontálního systému. (Váňa, 2009)

### **Vertikální odplyňovací systém**

Vertikální odplyňovací systém je jímací zařízení skládkového plynu ve tvaru šachet a studní, v nichž se plyn shromažďuje. Odtud je plyn svodnou sítí odváděn z tělesa skládky.

Vertikální studny se budují ode dna skládky a jsou stavěny průběžně během provozu skládky. Jsou tvořeny z betonových skruží s perforací, uvnitř osazeny trubkami z PEHD. Z vertikálních studní je svodným potrubím plyn odváděn do regulačních šachet. Svodným potrubím se spolu se skládkovým plynem odvádí i vzniklý kondenzát. (*Jurník, 1994*)

Vertikální systémy nemusí být budovány v průběhu skládkování ale následně, po rekultivaci, jako vrty o průměru 60–110 cm, do kterých jsou zapuštěny perforované trubky z PEHD materiálu o průměru 150–300 mm. Trubky jsou obsypány štěrkem. Vertikální vrty jsou nebezpečné z hlediska možnosti protržení těsnícího systému nebo porušení drenážního systému. Vzhledem k těmto nebezpečím, se nejčastěji budují horizontální systémy, které je možné spojit s drenážním systémem. (*Váňa, 2009*)

### **Horizontální odplyňovací systémy**

Vzhledem k rostoucí výšce skládky v průběhu času, je nutné odvádět skládkový plyn přídatnými drenážními rovinami – horizontálním odplyňovacím systémem. Pro zvýšení účinnosti jímání plynu se volí vzdálenost potrubí v horizontálním směru 20 až 30 metrů a vertikálním směru 5 až 10 m. Při jímání plynu dochází k tvorbě kondenzátu, který je vzhledem k perforaci trubek smícháván s výluhem, a proto je horizontální systém vyspádován na jednu stranu, s větším spádem než 2 %. Při menším spádu, může výluh zaplnit celý průřez sběrné trubky a zamezit tak odvodu plynu. V nejnižších místech svodného vedení se budují odvodňovače. Odsávání plynu je vedeno přes regulační šachty, které odsávají plyn pod podtlakem 50 kPa. (*Jurník, 1994*)

### **Využití skládkového plynu**

Využití skládkové plynu závisí na způsobu jeho jímání, která se dělí na:

- aktivní – plyn je odsáván podtlakem, vytvořeným v externím zařízení, z tělesa skládky do sběrného a jímacího zařízení,
- pasivní – plyn uniká vlastní přetlakem z tělesa skládky. (*Váňa, 2009*)

Aktivní způsob je cca. pětikrát účinnější. Při pasivním způsobu jímání plynu dochází k migraci plynu tělesem skládky a samovolným únikem z tělesa skládky do všech směrů. Migrací plynu mimo těleso může dojít k vytvoření výbušné směsi, jak je zmíněno v kapitole

2.2.5.2. Skládkový plyn při migraci ke krycí vrstvě tělesa skládky, může zapříčinit snížení koncentrace kyslíku a nemožnost biologické rekultivace. Patrná je tedy nutnost jímání plynu aktivním způsobem, který i přes technické specifikace, zachytává pouze část vzniklého plynu (20–70 %). (*Biomass Technology*)

Využití skládkového plynu závisí primárně na jeho vlastnostech, především na množství methanu, který je vysoce výhřevný. Skládkový plyn lze využít jako palivo, pro výrobu elektrické energie, tepla nebo ho přeměnit na chemické látky a jiné palivo. Nejjednodušším a nejlevnějším způsobem je přímé spalování a využití tepla získaného spalováním pro vytápění objektů. Nákladnějšími a modernějšími způsoby využití skládkového plynu jsou:

- čištění na kvalitu zemního plynu a následné využití ve spalovacích jednotkách,
- přeměna na chemikálie a syntetická paliva (např. výroba uhlovodíkových paliv procesem Fischer – Tropšovi syntézy),
- syntéza methanolu vysokotlakou chemickou katalytickou reakcí a částečnou biooxidací,
- využití pro Stirlingův motor,
- využití pro motory na bázi Rankinova cyklu,
- výroba elektřiny v palivových článcích. (*Kuraš, 2014*)

Nejběžnějším způsobem využití skládkového plynu je jeho spalování v kogenerační jednotce. Kogenerační jednotka slouží ke kombinované výrobě elektrické energie a tepla. Elektrická energie slouží k provozu skládky nebo je odváděna do sítě. Vzniklá tepelná energie může sloužit k vytápění zařízení v areálu skládky. Modernějším využitím skládkového plynu může být trigenerační jednotka, která slouží ke kombinované výrobě elektrické energie, tepla a chladu. Jedná se o spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. (*Kogenerace – TZB-info*)

### 2.2.5.3 Monitorovací zařízení

Účelem monitorovacího zařízení je:

- sledování schopností skládky plnit funkce,
- neustálé sledování vlivu skládky na životní prostředí,
- monitorování technického stavu objektů,
- hodnocení monitorování pro případná doplňková opatření.

Sledování těchto údajů má za cíl přesně definovat vliv skládky na životní prostředí, tj. funkčnost a spolehlivost technických a přírodních bariér. Monitorovací systém je nedílnou součástí každé skládky. Podle stupně rizika ovlivnění životního prostředí je budováno před zahájením provozu kvůli zjištění výchozích údajů a technických specifikací. Monitorování skládky se provádí po celou dobu provozu i dále po uzavření skládky – 30 let. (Filip, 2003)

Monitorovací zařízení sleduje:

- jakost a množství průsakových vod – výluhu,
- jakost a množství podzemních a povrchových vod v okolí skládky,
- těleso skládky a jeho podloží,
- množství a složení skládkového plynu. (Filip, 2003)

Frekvence měření a monitorování je rozdílná při provozování skládky a následné péči po uzavření, viz tabulka 2.

**Tabulka 2 - Monitorované parametry**

<b>Monitorovaný parametr</b>	<b>Četnost měření při provozu</b>	<b>Četnost měření při následné péči</b>
<b>Množství průsak. vod na výstupu z vnitřního drenážního systému</b>	1x za měsíc	1x za 6 měsíců
<b>Složení průsakových vod</b>	1x za 3 měsíce	1x za 6 měsíců
<b>Úroveň hladiny a jakost podzemní vody v okolí skládky</b>	Závisí na lokalitě a rizikovosti	
<b>Jakost povrchových vod</b>	1x za 3 měsíce	1x za 6 měsíců
<b>Množství a tlak skládkového plynu</b>	Pravidelně v určitých intervalech v závislosti na druhu odpadu	
<b>Složení skládkového plynu</b>	Dle potřeby a druhu odpadu, většinou měřeno v kogenerační jednotce	
<b>Struktura a složení tělesa skládky:</b>	1x za rok	
<ul style="list-style-type: none"> <li>- množství a složení odpadu</li> <li>- způsob ukládání</li> <li>- čas a trvání ukládání</li> </ul>		
<b>Deformace tělesa skládky</b>	1x za rok	
<b>Bezpečnost svahů</b>	1x za rok	

Zdroj 12 - (Filip, 2003)

## 2.2.6 Provoz skládek

Provoz skládky je zahájen po úspěšné kolaudaci a schválení provozního řádu, který musí každá skládka dodržovat. Provoz skládky má tři fáze:

- ukládání odpadu,
- rozhrnování a utužování odpadu,
- krytí denních vrstev zeminou.

### 2.2.6.1 Provozní řád a deník

Provozní řád musí být vyhotoven před zahájením provozu a schválen orgánem ochrany životního prostředí. Provozní deník obsahuje:

- sídlo, místo a adresu provozovatele,
- seznam odpadů, které je možné ukládat na skládku,
- povinnosti vstupní kontroly,
- způsob vedení evidence,
- způsob ukládání odpadu,
- organizační a technologické zabezpečení provozu,
- nařízení pro případ havárie,
- způsob zabezpečení technické kontroly a monitoringu,
- způsob rekultivace. (*Jurnik, 1994*)

Provozní deník musí být veden od zahájení provozu skládky. Do deníku se uvádí všechny důležité údaje, které souvisejí s provozem skládky, tj mj.:

- druh, hmotnost a množství přijatého odpadu, včetně dodavatele, datumu a místa uložení na skládce,
- analýzu odpadu,
- způsob naložení s odpady,
- množství a jakost přitékající průsakové vody do jímky,
- množství a jakost podzemních a povrchových vod v okolí skládky,
- stav tělesa skládky a jeho podloží,
- množství plynu a jeho vlastnosti. (*Jurnik, 1994*)



### 2.2.6.2 Vstupní kontrola

Vstupní kontrola odpadu má za úkol zamezit ukládání skrytých nevhodných odpadů a předmětů, které nesplňují podmínky provozního řádu. Vstupní kontrola musí být na všech typech skládek odpadů a sestává se z vizuální prohlídky (na váze a na místě ukládání) nebo v případě odpadů, které nejsou jednoznačně deklarovány, laboratorním vyšetřením. Odpady, splňující podmínky uložení na skládku musí být vedeny v provozním deníku podle původu, druhu, množství a dodavatele. Odpady, které nesmějí být na dané skládce uloženy musejí být odmítnuty a zaznamenány v provozním deníku. (*Jurnik, 1994*)

### 2.2.6.3 Ukládání odpadu

Odpady, schválené vstupní kontrolou k uložení, musejí být stejný den rozloženy do tenkých vrstev 30–50 cm a následně utuženy kompaktozem a překryty vrstvou zeminy. Odpady jsou na denní pracovní plochu naváženy svozovými auty, a to buď navážením shora, zdola nebo kombinovaně. Ukládání odpadu je prováděno čelním nebo kruhovým způsobem. Čelní postup se používá u podúrovňových a kombinovaných skládkách a spočívá v postupném vršení vrstev na sebe (další vrstva postupně zaplňuje již dokončenou vrstvu). Kruhový postup je používán u nadúrovňových skládek a spočívá ve tvorbě spirály z pracovní vrstvy směrem k vrcholu skládky. (*Williams, 2005*)

Ukládání odpadu je prováděno do třech vrstev, mezi nimiž je krycí vrstva zeminy. Do každé vrstvy je ukládán jiný typ odpadu, z důvodu stability, ochrany technických zařízení a zvýšení jejich účinnosti. Ve skládce rozeznáváme tři vrstvy odpadu:

1. základová,
2. postupová,
3. konečná.

Mezi jednotlivými vrstvami se nachází krycí vrstva zeminy o mocnosti 20 cm. Krycí vrstva zeminy slouží k ochraně okolního prostředí, které by mohlo vzniknout zápachem, odletem odpadu, samovznícením odpadu, ptactvem, hlodavci, aj. Na konečnou vrstvu odpadu se ukládá závěrečná vrstva zeminy o mocnosti 60 cm, kvůli vytvoření půdy pro budoucí rekultivaci. (*Atlmann, 1996*)

## Navážení odpadu

Navážení odpadu pomocí svozových aut je prováděno třemi způsoby:

- a) shora,
- b) zdola,
- c) kombinovaně.

Navážení shora neboli ve směru ukládání, je prováděno svozovými auty, které naváží odpad po povrchu pracovní postupové vrstvy a vykládají jej na vymezenou část pracovní postupové vrstvy. Ve směru postupu ukládání je odpad rozhrnut a zhutněn.

Navážení zdola, je prováděno proti směru ukládání odpadu. Svazové automobily přivážejí odpad po ukončené vrstvě, proti směru jejich ukládání. Následné rozhrnování a hutnění odpadu se provádí proti pracovnímu svahu, který má sklon 1:4 až 1:5.

Kombinované navážení je využíváno především u velkoobjemových skládek, kde je nutné využít více pracovních mechanismů pro rozhrnování a utužování odpadu. (*Altmann, 1996*)

## Hutnění odpadu

Hutnění odpadu provádí vlastní vahou stroj – kompaktor, pravidelnými přejezdy. Kompaktor slouží kromě hutnění i k drcení a rozhrnování odpadu. Cílem práce kompaktoru je ukládat odpad s vyšší objemovou hmotností. Míra zhutnění odpadu je závislá především na:

- druhu odpadu, jeho kusovostí, množství organických a inertních látek,
- způsobu ukládání odpadu,
- kvalitě zhutňovacího stroje – hmotnosti, osazením pěchovacími koly,
- druhu deponie,
- podmínkách okolí – teplota, srážky.

Pro výpočet dosažitelné objemové hmotnosti, při využití kompaktoru s provozní hmotností od 18 do 36 tun lze využít Wiemerovu rovnici o úložné objemové hmotnosti odpadu:

$$\xi_E = w(c + 0,015 \times G) \quad [dm^3]$$

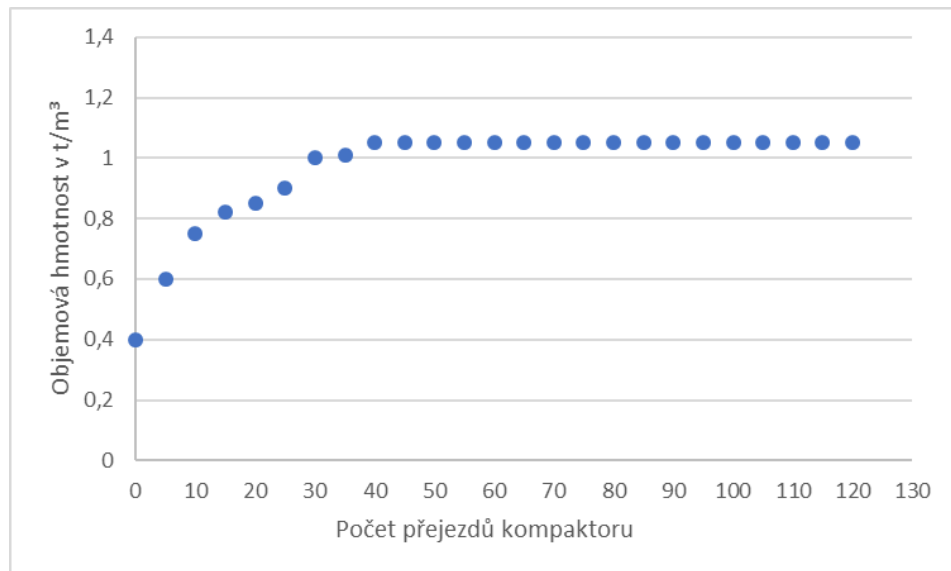
/5/

kde:

- $\xi_E$  = úložná objemová hmotnost [ $dm^3$ ]
- $w$  = faktor ukládací techniky:
  - o ukládání ve slabých vrstvách  $w = 1,0$
  - o ukládání z vysouvací rampy  $w = 0,95$
  - o ukládání z rampy  $w = 0,74$
- $c$  = hustota volného odpadu [ $t \cdot m^{-3}$ ]
  - o  $> 0,35 t \cdot m^{-3}$
- $G$  = hmotnost kompaktoru [t] (*Altmann, 1996*)

Vliv přejezdů kompaktoru na objemovou hmotnost odpadu je patrný z obrázku 11.

**Obrázek 11 - Vliv přejezdů kompaktoru na objemovou hmotnost odpadu**



**Zdroj 13 - (Altmann, 1996)**

#### 2.2.6.4 Úprava odpadů na skládce

Kromě hutnění a drcení odpadu, což je úprava odpadu za účelem zvětšení objemové hmotnosti, mohou některé skládky odpadů před vlastním skládkováním odpad upravovat. Odpad se upravuje kvůli odebrání nežádoucích a recyklovatelných složek. Úpravu lze rozdělit na:

- biologickou úpravu,
- fyzikálně-chemickou úpravu,

- úpravu složení odpadu,
- jiné způsoby.

Biologickou úpravou se myslí, snížení biologické složky v odpadu, která má za následek tvorbu skládkového plynu ale i možný přesun nebezpečných vlastností do výluhu, např. H9 – infekčnost. Fyzikálně chemické postupy jako např. sušení, kalcinace, změna pH, srážení, filtrace, soldifikace, enkapsulace, vitrifikace, aj. slouží především k úpravě vlastností odpadu a jsou zřídka používány. Úprava složení odpadu slouží k vytřídění využitelných složek a omezení množství skládkovaného materiálu. Jiné způsoby úpravy odpadů zahrnují způsoby, které nelze přiřadit k ostatním, výše uvedeným úpravám. Jedná se například o balení odpadů do speciálních kontejnerů. *(Skládkování odpadů z hlediska zákona o odpadech a jeho prováděcích právních předpisů)*

### **2.2.7 Rekultivace skládek**

Rekultivace je poslední fází životnosti skládky a musí přijít bezprostředně po ukončení skládkování odpadu. Rekultivace se dělí na:

- technickou,
- biologickou,
- částečnou,
- úplnou. *(Kuraš, 2014)*

Rekultivace umožňuje vhodné začlenění skládky do okolní krajiny, případně vrácení devastovaných ploch do půdního fondu. Cíl rekultivace je využití plochy skládky k lesnickým, parkovým, rekreačním nebo zemědělským účelům. Vzhledem k průběhu skládkování lze rekultivovat postupně – po dosažení maximální výšky v určité sekci skládky, nebo celkově – po uzavření skládky. *(Kuraš, 2014)*

Rekultivace skládek probíhá ve třech fázích:

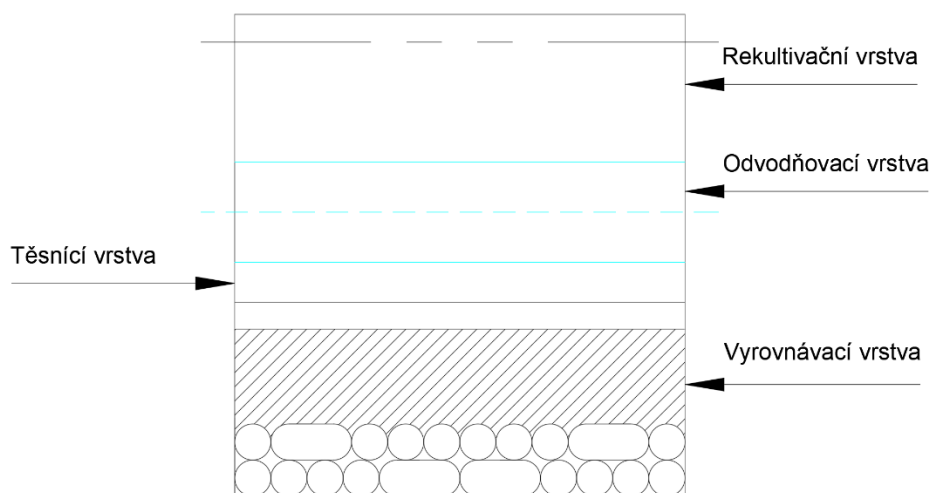
1. přípravná fáze,
  - a. zpracování veškerých podkladů k rekultivaci,
  - b. zajištění povolení,
2. realizační fáze,
  - a. provedení technické a biologické rekultivace,
3. následná fáze,

- a. péče o rekultivovanou skládku,
- b. monitoring tělesa skládky. (Altmann, 1996)

### 2.2.7.1 Uzavírání skládek

K uzavření skládky dochází při dosažení projektované výšky v některém z úseků skládky. Bezprostředně po dosažení této výšky, se musí plocha této části překrýt nepropustným materiálem a rekultivovat. Sklon tělesa skládky musí zajišťovat spád k odtoku vody – 3 %, ale nesmí překročit 53 % kvůli stabilitě skládky. Maximální dovolený sklon je 1:2,5 do maximální výšky 30 metrů. Uzavírání skládek je prováděno ve čtyřech po sobě jdoucích vrstvách. (Jurnik, 1994)

Obrázek 12 - Uzavírací vrstvy skládky



Zdroj 14 - (Filip, 2003)

#### Vyrovnávací vrstva

Vyrovnávací vrstva se pokládá na zhutněný odpad. Je tvořena propustným jemnozrnným materiálem ve výšce 0,2 až 0,25 metrů. Jako propustný materiál se používá šterk nebo hrubý písek. Vyrovnávací vrstva odstraňuje nerovnosti, vzniklé skládkováním odpadu, brání porušení těsnící vrstvy a umožňuje dodatečnou manipulaci s požadovaným sklonem skládky. (Odpady a recyklace – co se skládkou dál?)

### **Těsnicí a odvodňovací vrstva**

Těsnicí vrstva slouží k neprodyšnému uzavření skládky a zamezení vstupu srážkových a povrchových vod do tělesa skládky. Těsnicí vrstva je tvořena vrstvou minerálního těsnění se součinitelem filtrace  $k = 10^{-9} \text{ m.s}^{-1}$  v mocnosti 60 cm a těsníci pásy z PEHD fólie s mocností minimálně 2 mm. Na těsnicí vrstvu je kvůli ochraně fólie pokládána geotextilie s gramáží  $800 \text{ g.m}^{-2}$ . Na geotextilii je položena drenážní vrstva o mocnosti nejméně 0,25 metrů, zároveň s trubními drény pro odvodnění rekultivační vrstvy. Na odvodňovací vrstvu je umístěna geotextilie. (*Odpady a recyklace – co se skládkou dál?*)

### **Rekultivační vrstva**

Rekultivační vrstva je nejsvrchnější vrstva skládky a je určena pro další využití povrchu. Tloušťka rekultivační vrstvy závisí na typu předpokládané rekultivace. Je tvořena ochranou vrstvou a vrstvou zeminy, která je vybraná speciálně podle druhu rekultivace. Celková mocnost rekultivační vrstvy bývá 0,5 až 1 m, kde cca 0,6 až 0,7 m je ochrana těsnících vrstev. (*Odpady a recyklace – co se skládkou dál?*)

#### **2.2.7.2 Rekultivační technologie**

##### **Technická rekultivace**

Technickou rekultivací se rozumí terénní úpravy spojené s rekultivací. Jedná se tedy o souhrn technických opatření, které zajišťují vhodné podmínky pro další způsoby rekultivace. Technická opatření se liší podle druhu následné rekultivace a jedná se především o:

- urovnání povrchu skládky,
- svahování,
- převrstvení ornici,
- přesun zeminy. (*Kuraš, 1994*)

## **Biologická rekultivace**

Je konečná fáze rekultivace, která slouží k zapojení skládky do okolní krajiny. Před biologickou rekultivací je nutná úprava a zabezpečení skládky. Biologické způsoby rekultivace závisí na území, kde se skládka nachází. Typy biologické rekultivace jsou:

- základní osetí povrchu skládky travinami a dřevinami,
- zemědělská rekultivace (louky, pastviny, zahrady, vinice, sady),
- lesnická rekultivace (produkční lesy, lesoparky),
- vodohospodářská rekultivace (obnova říčních ekosystémů, zvyšování vodní bilance prostředí),
- rekreační (výstavba rekreačních oblastí, parků, aj.),
- ostatní rekultivace. (*Odpady a recyklace – co se skládkou dál?*)

### **2.2.8 Využívání odpadů uložených na skládky jejich odtěžováním**

Vzhledem k pozitivní hospodářské situaci a celkovému zlepšování životní situace na celém světě, dochází k postupně většímu využívání primárních surovin. Primární suroviny, ať už vzácné kovy, nebo jiné materiály, mají omezené zdroje. Využívání již uložených odpadů jejich postupným odtěžováním (anglicky urban mining), lze chápat jako budoucí trend odpadového hospodářství. Získání zdrojů, které jsou produkovány městským katabolismem, lze využívat jako druhotné suroviny či zdroje energie. Historie skládkování, jakožto nejstarší technologie pro odstraňování odpadů, podporuje rozvoj projektů urban miningu. Vyspělé země EU již urban mining zvažují a připravují tak projekty pro hlubinnou nebo povrchovou těžbu. Potenciálními zdroji, které jsou ve skládkách uloženy, jsou především vzácné a drahé kovy, plasty nebo ocel. Tyto uložené materiály mohou být využity pro recyklaci nebo energetické zhodnocení. I přes již dnes standardní sběr elektronických zařízení, se uvádí, že zlato obsažené v plošných spojích elektronických zařízení, představuje každoročně až 2000 kg potenciálního zdroje, zbytečně uloženého na skládky. Koncentrace zlata v těchto zařízeních je výrazně vyšší než jeho obsah v přírodních zdrojích a lze tedy předpokládat, že environmentální dopad těžby zlata bude vyšší než využití uloženého odpadu. Urban mining v širším kontextu zahrnuje i využívání odpadních materiálů z měst, jako například vozidla s ukončenou životností. Urban mining je tedy globální strategie přechodu z lineárního na cirkulární přístup v oblasti odpadového hospodářství. (*Kuraš, 2014*)

## **3 Cíl práce a metodika**

### **3.1 Cíl práce**

Cílem práce je analyzovat možnosti využití odpadů po vytěžení ze staré skládky odpadů. Mezi dílčí cíle práce patří:

- porovnat rozbor odpadů s teoretickým složením odpadu uvnitř tělesa skládky, tj. udělat vlastní rozbor odpadů navážených na skládku a porovnat jej s teoretickým složením odpadu uvnitř tělesa skládky,
- vybrat které části skládky by měli být vytěženy, tj. určit, části skládky, ze kterých je možné vytěžený odpad využít,
- určit způsob vytěžování skládky, tj. vybrat vhodné stroje pro vytěžování,
- stanovit proces třídění odpadu po jeho vytěžení včetně využití vytríděných složek,
- určit ekonomický, environmentální a sociální dopad vytěžování.

### **3.2 Metodika práce**

Vypracování práce je na základě vylepšeného konceptu vytěžování skládky odpadů (Enhanced landfill mining concept). Výběr vhodných scénářů vytěžování, pro řešenou skládku, bude určen na základě odborných informací o řešené skládce. Po výběru scénářů bude proveden průzkum tělesa skládky zabývající se historií skládky, výškou tělesa skládky, geotechnickou stabilitou skládky, degradačním stádiem uvnitř tělesa skládky, výskytem nebezpečných odpadů uvnitř skládky a skladbou naváženého a uloženého odpadu. Na základě průzkumu tělesa skládky bude stanovena technologie pro vytěžování, třídění a využití vytěženého odpadu dle uvedených rovnic. Navržená technologie bude ekonomicky, environmentálně a sociálně zhodnocena a porovnána s podobnými technologiemi pro vytěžování skládky, pomocí Enhanced landfill mining toolkit (ELMT), nástroje, který slouží k určení proveditelnosti, odhadu finančního rámce a zjištění environmentálních a sociálních dopadů vytěžování skládky.

#### **3.2.1 Metodika návrhu vlastního řešení**

Metodika návrhu vlastního řešení je vytvořena na základě provedeného průzkumu tělesa skládky. Průzkum tělesa skládky se zabývá historií skládky, výškou tělesa skládky,



geotechnickou stabilitou skládky, degradačním stádiem uvnitř tělesa skládky, výskytem nebezpečných odpadů uvnitř tělesa skládky, skladbou naváženého a skládkovaného odpadu. Na základě odpadu uvnitř tělesa skládky je navržen postup vytěžování, proces třídění a zpracování jednotlivých složek skládkovaného odpadu. Vlastní návrh je ekonomicky, environmentálně a sociálně zhodnocen pomocí nástroje pro určení proveditelnosti vytěžování skládky.

### **Metodika průzkumu tělesa skládky**

Určení historie, výšky, geotechnické stability, degradačního stádia a výskytu nebezpečných odpadů uvnitř tělesa skládky, bude provedeno pomocí dat získaných z provozního řádu, provozního deníku a projektové dokumentace řešené skládky.

Analýza skladby naváženého odpadu bude provedena v areálu řešené skládky, pro dvě svozová auta. Data z provedené analýzy skladby odpadu budou porovnána s teoretickou skladbou odpadu uvnitř tělesa skládky, uvedených v nástroji pro určení proveditelnosti vytěžování skládky. Data z provedené analýzy skladby odpadu naváženého na skládku budou shrnuta do tabulky 3.

**Tabulka 3 - Zastoupení jednotlivých látek v SKO**

<b>Zastoupení jednotlivých látek v SKO [% hm]</b>		
<b>Odpad</b>	<b>Typ zástavby</b>	
	<b>Centrální</b>	<b>Příměstská</b>
<b>Papír, lepenka, kartón</b>		
<b>Plasty</b>		
<b>Sklo a keramika</b>		
<b>Kamenivo a inertní materiál</b>		
<b>Kovy – železné</b>		
<b>Kovy – neželezné (elektronické zařízení)</b>		
<b>Textil</b>		
<b>BRO</b>		
<b>Dřevo</b>		
<b>Nebezpečný odpad</b>		
<b>Zbylá frakce &lt;10 mm</b>		

### **Metodika návrhu vytěžení, třídění a využití odpadu**

Metodika návrhu vytěžení a třídění je na základě uvedených rovnic. Analýza možností využití vytríděných odpadů je na základě jednotlivých scénářů vytěžení. Jednotlivé možnosti využití budou popsány dle odborné literatury.

#### **Hmotnost vytěženého odpadu**

$$m = \rho \times V_{s,celkem} \quad [t] \quad /6/$$

kde:

- m = hmotnost [t]
- $\rho$  = objemová hmotnost odpadu [ $t \cdot m^{-3}$ ]
- $V_{s,celkem}$  = objem ve vytěžovaných sekcích [ $m^3$ ]

### **Teoretická výkonnost rypadla**

$$Q_{teor.rypadlo} = \frac{3600 \times V_{lopata.min}}{T} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad /7/$$

kde:

- $Q_{teor.rypadlo}$  = teoretická provozní výkonnost rypadla [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]
- $V_{lopata.min}$  = minimální nutný objem lopaty [ $m^3$ ]
- $T$  = doba jednoho pracovního cyklu [s]

### **Objem lopaty rypadla**

$$V_{minimální} = \frac{Q_{teor.rypadlo} \times T}{3600} \quad [m^3] \quad /8/$$

kde:

- $V_{minimální}$  = minimální objem lopaty rypadla [ $m^3$ ]
- $Q_{teor.rypadlo}$  = teoretická provozní výkonnost rypadla [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]
- $T$  = doba jednoho pracovního cyklu [s]

### **Teoretická výkonnost zvoleného rypadla**

$$Q_{teor.zvoleného stroje} = \frac{3600 \times V_{lopata.z}}{T} \quad [m^3 \cdot h^{-1}] \quad /9/$$

kde:

- $Q_{teor.zvoleného stroje}$  = Teoretická výkonnost rypadla [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]
- $V_{lopata.z}$  = zvolený objem lopaty [ $m^3$ ]
- $T$  = doba jednoho pracovního cyklu [s]

### **Celkový čas přepravy z tělesa skládky k vyprázdnění**

$$T_{přepavy} = 2 \times T_{jízdy} + T_{vypr} \quad [s] \quad /10/$$

kde:

- $T_{přepavy}$  = celkový čas přepravy [s]
- $T_{jízdy}$  = doba jedné jízdy z tělesa skládky k vyprázdnění [s]
- $T_{vypr}$  = doba vyprazdňování [s]

### Doba plnění korby odvozového prostředku

$$T_{korba} = \frac{V_{korba} \times T}{V_{lopata.z}} \quad [s] \quad /11/$$

kde:

- $T_{korba}$  = doba plnění korby [s]
- $V_{korba}$  = objem korby [ $m^3$ ]
- $T$  = doba jednoho pracovního cyklu [s]
- $V_{lopata.z}$  = objem lopaty zvoleného stroje [ $m^3$ ]

### Cyklus návozu odpadu z tělesa skládky k třídění

Cyklus jedné dodávky je složen z doby plnění korby ( $T_{korba}$ ) a celkového času přepravy (cesta z tělesa skládky, vyprázdnění korby a cesty zpátky k naplnění) ( $T_{přepravy}$ )

$$Cyklus\ návozu = T_{korba} + T_{přepravy} \quad [s] \quad /12/$$

kde:

- Cyklus návozu = cyklus jedné dodávky [s]
- $T_{korba}$  = doba plnění korby [s]
- $T_{přepravy}$  = celkový čas přepravy [s]

### Počet návozů za hodinu

$$N_{návozů} = \frac{hodina}{Cyklus\ návozu} \quad [-] \quad /13/$$

kde:

- $N_{návozů}$  = požadované množství návozů za hodinu [-]
- Cyklus návozu = cyklus jedné dodávky [s]

### Množství navezeného odpadu z tělesa skládky na složiště

$$N_{odpadu} = N_{návozů} \times V_{korba} \quad [m^3] \quad /14/$$

kde:

- $N_{odpadu}$  = celkové množství navezeného odpadu na složiště [ $m^3$ ]
- $N_{návozů}$  = požadované množství návozů za hodinu
- $V_{korba}$  = objem korby ( $m^3$ )

### Počet cyklů nakladače za hodinu, při plnění dávkovače

$$\text{Počet cyklů nakladače za hodinu} = \frac{N_{\text{odpadu}}}{V_{\text{nakladač}}} \quad [-] \quad /15/$$

kde:

- $N_{\text{odpadu}}$  = celkové množství navezeného odpadu [ $\text{m}^3$ ]
- $V_{\text{nakladač}}$  = objem lopaty nakladače [ $\text{m}^3$ ]

### Výkonnost dopravního zařízení

$$Q_m = \frac{Q_{\text{teor.ruční třídění}} \times \rho}{3600} \quad [\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}] \quad /16/$$

kde:

- $Q_m$  = výkonnost dopravníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $Q_{\text{teor.ruční třídění}}$  = teoretická výkonnost ručního třídění [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]
- $\rho$  = objemová hmotnost odpadu [ $\text{t} \cdot \text{m}^{-3}$ ]

### Teoretický průřez materiálu na pásu

$$S_T = \frac{Q_m}{\rho_s \times v_p} \quad [\text{m}^2] \quad /17/$$

kde:

- $S_T$  = teoretický průřez materiálu [ $\text{m}^2$ ]
- $\rho_s$  = sypná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]
- $v_p$  = rychlost pásu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]
- $Q_m$  = výkonnost dopravníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]

### Šířka dopravního pásu

$$B = \sqrt{\frac{6S_T}{\tan \psi_d}} \quad [\text{m}] \quad /18/$$

kde:

- $B$  = šířka pásu [ $\text{m}$ ]
- $S_T$  = teoretický průřez materiálu [ $\text{m}^2$ ]
- $\psi_d$  = dynamický sypný úhel [ $^\circ$ ]

### Výkonnost příjmového dopravníku

$$Q_{p.d.} = S_{m.ž} \times v_p \times \rho_s \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad /19/$$

kde:

- $Q_{p.d.}$  = výkonnost příjmového dopravníku [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]
- $S_{m.ž}$  = průřez materiálu ve žlabu [ $m^2$ ]
- $v_p$  = rychlost pásu [ $m \cdot s^{-1}$ ]
- $\rho_s$  = sypná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]

### Teoretický průřez materiálu na příjmovém dopravníku

$$S_{třídící pás} = \frac{1}{6} B_{třídící pás}^2 \times \tan \psi_d \quad [m^2] \quad /20/$$

kde:

- $S_{třídící pás}$  = teoretický průřez materiálu na třídícím pásu [ $m^2$ ]
- $B_{třídící pás}$  = šířka třídícího pásu [m]
- $\psi_d$  = dynamický sypný úhel [ $^\circ$ ]

### Teoretická výkonnost třídícího dopravníku

$$Q_{t.d.} = S_{třídící pás} \times v_p \times \rho_s \quad [kg \cdot s^{-1}] \quad /21/$$

kde:

- $Q_{t.d.}$  = výkonnost třídícího dopravníku [ $kg \cdot s^{-1}$ ]
- $S_{třídící pás}$  = teoretický průřez materiálu na třídícím pásu [ $m^2$ ]
- $\rho_s$  = sypná hmotnost [ $kg \cdot m^{-3}$ ]
- $v_p$  = rychlost pásu [ $m \cdot s^{-1}$ ]

### Délka dopravníku

$$délka = \frac{výška}{\sin(sklonu)} \quad [m] \quad /22/$$

kde:

- délka = délka dopravníku pro druhou separaci železných kovů [m]
- výška = požadovaná výška dopravníku [m]
- sklon = sklon dopravníku [ $^\circ$ ]

## Metodika ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení

K ekonomickému, environmentálnímu a sociálnímu zhodnocení vytěžování skládky odpadů je použit „Enhanced landfill mining toolkit“ dále jen „ELMT“ z Cranfield University. Autorem nástroje jsou Camacho-Dominguez V., Paster G., Tasiu A., a Val J. Nástroj slouží k určení: proveditelnosti vytěžování skládky, odhad finančního rámce projektu a zjištění sociální a environmentálních dopadů vytěžování.

### Čistý příjem

$$\begin{aligned} \text{Čistý příjem} &= \text{zisk vytěžování} && /23/ \\ &- \text{náklady vytěžování} \quad [\text{Kč}] \end{aligned}$$

### Zisk vytěžování

$$\text{Zisk vytěžování} = WtM + WtE \quad [\text{Kč}] \quad /24/$$

kde:

- WtM = waste to material (zisk z prodeje materiálů pro recyklaci) [Kč]
- WtE = waste to energy (zisk z prodeje elektrické energie ze zplyňování) [Kč]

### Zisk z prodeje materiálů pro recyklaci

$$WtM = \text{Celkové množství kovů} \times \text{cena kovů} \quad [\text{Kč}] \quad /25/$$

kde:

- WtM = waste to material (zisk z prodeje materiálů pro recyklaci) [Kč]

### Zisk z prodeje elektrické energie

$$WtE = \text{cena elektřiny} \times \text{produkce el. energie} \quad [\text{Kč}] \quad /26/$$

kde:

- WtE = waste to energy (zisk z prodeje elektrické energie ze zplyňování) [Kč]

### Produkce el. energie

$$\begin{aligned} \text{El. energie} &= \text{Výhřevnost TAP} && /27/ \\ &\times \text{účinnost zplyňování} \quad [\text{Mwh}] \end{aligned}$$

## Náklady vytěžování

$$\text{Náklady vytěžování} = \text{OPEX} + \text{CAPEX} \quad [\text{Kč}] \quad /28/$$

kde:

- OPEX = provozní náklady [Kč]
- CAPEX = investiční náklady [Kč]

Porovnání jednotlivých dílčích scénářů je pomocí algoritmu min-max převedeno na hodnocení 0 až 100. U ekonomického zhodnocení má nejnižší čistý příjem hodnotu 0 a nejvyšší příjem 100. U environmentálního a sociálního zhodnocení je na základě ovlivňování ŽP a sociálního prostředí v okolí skládky, každému dílčímu scénáři přidáván větší faktor. Tudíž jsou nejnižší hodnoty nejvíce příznivé pro životní a sociální prostředí v okolí skládky. Faktory environmentálního a sociálního zhodnocení mají opačné hodnoty, než ekonomické zhodnocení – nejnižší hodnoty 100 a nejvyšší 0.

$$\text{hodnocení} = (f_1 \times \text{hodnota} + f_2) \quad /29/$$

kde:

- $f_1 = 1 / (\text{nejvyšší hodnota} - \text{nejnižší hodnota})$
- $f_2 = -f_1 \times \text{nejnižší hodnota}$



## 4 Vlastní práce

Vlastní práce se zabývá analýzou vytěžení odpadů ze skládky ve Středočeském kraji. Vytěžení skládky je prováděno podle ELFMC – Enhanced landfill mining concept, český vylepšený koncept vytěžování skládky. Tento koncept byl poprvé představen v Izraeli v roce 1953, jako koncept k získání hnojiv pro sady. Výrazný nárůst povědomí o tomto konceptu byl zaznamenán v 90. letech minulého století, jako výsledek zvyšování nároků legislativy na životní prostředí a potřebu pozemních prostorů. V posledních letech koncept získal větší přízeň především kvůli snižování zásob jednotlivých primárních zdrojů surovin. Rozvoj technologií již umožňuje efektivní separaci smíšených odpadů s cílem produkce kvalitních druhotných surovin a zelené energie. Vytěžování skládek odpadů lze tedy definovat jako proces těžby minerálů nebo jiných přírodních zdrojů z odpadů, které byli odstraněny, trvalým uložením pod nebo nad úroveň povrchu. Účel vytěžování je získání druhotných surovin, energeticky využitelných materiálů a jinak nevyužitelné plochy, za současného snížení zátěže životního prostředí.

### 4.1 Popis řešené skládky

Řešená skládka je skládka typu S-NO a nachází se nedaleko Prahy ve Středočeském kraji. Zahájení provozu skládky proběhlo v srpnu roku 1994. Předpokládaná doba životnosti skládky je čtyřicet let, plánovaná doba ukončení provozu je tedy na rok 2035. Následná péče po uzavření skládky je dle zákona o odpadech nastavena na třicet let. Výstavba skládky je rozdělena na sedm etap. Aktuálně probíhá skládkování na třetí části sedmé etapy. Celková projektovaná kapacita skládky je 4 449 000 m<sup>3</sup> a je rozprostřena na ploše 27,1 hektarů. Sklon tělesa skládky je v poměru maximálně 1:2,5. Skládka je rozdělena do 25 sekcí. Západní sekce 1 až 16 slouží jako sektory S-OO1 a S-OO3 pro komunální odpad. Východní sekce 17 až 25 jsou určeny pro nebezpečné a průmyslové odpady. Aktuálně jsou sekce 1 až 8, 24 a 25 již rekultivované. Ostatní sekce kromě sekcí 15 a 16, které jsou volné, jsou aktuálně používány. Vytvořený skládkový plyn je odsáván aktivním systémem a spalován v kogenerační jednotce. Před využíváním kogenerační jednotky byl skládkový plyn spalován na fléře. Kogenerační jednotka byla vybudována v roce 2009 s výkonem 320 kW. V roce 2014 byla rozšířena na 920 kW. Kogenerační jednotka produkuje elektrickou energii a odpadní teplo. Vytvořená elektrická energie je pouštěna do elektrické přenosové soustavy.

V roce 2011 bylo realizováno využívání odpadního tepla pro vytápění administrativní budovy a třídící linky.

Objemy jednotlivých sekcí jsou uvedeny v příloze 3.

Řešená skládka je technicky zabezpečena dle ČSN 83 8030, ČSN 83 8032 a vyhlášky č. 294/2005 Sb. a splňuje tak veškerá bezpečnostní opatření určená pro řízené skládky odpadů.

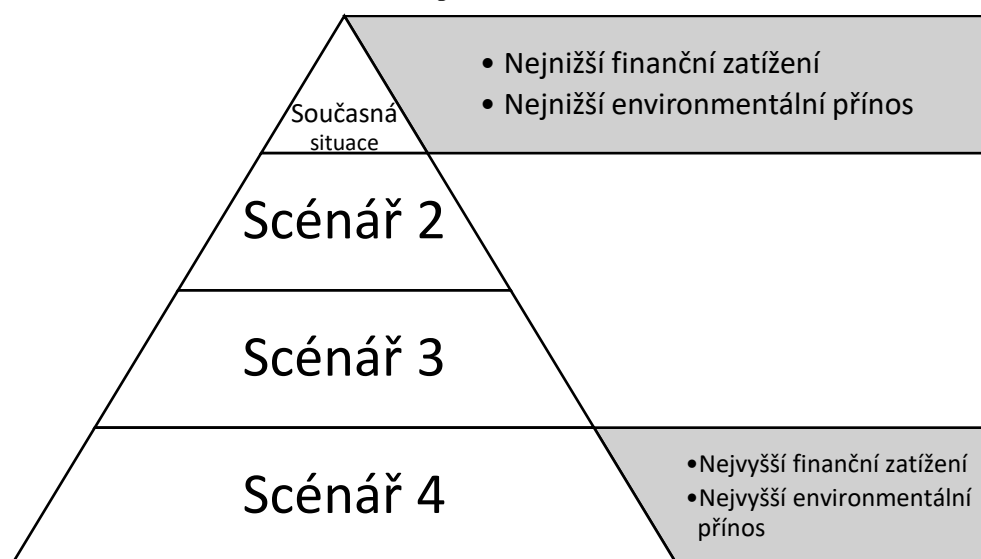
Vzhledem ke svému umístění je na skládku navážen odpad z centrální zástavby z hlavního města Prahy a z okolní příměstské zástavby.

V areálu skládky se mimo tělesa nachází i další zařízení pro nakládání s opady, jako např. recyklační plocha, třídící linka, sklad nebezpečných odpadů, mezideponie, soldifikační linka nebo zařízení pro biologickou úpravu odpadů. Areál skládky poskytuje i zázemí pro zaměstnance, mycí rampu, čerpací stanici pohonných hmot, retenční nádrž, jímky průsakových vod a čistírnu odpadních vod. Situace řešeného areálu skládky, včetně rozdělení tělesa do jednotlivých sekcí je uvedeno v příloze 4.

## **4.2 Koncept vytěžování skládky odpadů**

Koncept vytěžování skládek lze rozdělit do třech možných scénářů. Jednotlivé scénáře jsou závislé především na ukládaném odpadu, tj. na složení odpadu uvnitř tělesa skládky. Je patrné, že některé odpady lze konvekčními i moderními technologiemi využít a některé odpady zatím nemají jinou možnost odstranění než skládkováním. Jednotlivé scénáře se od sebe liší finanční náročností, ale i environmentálním přínosem pro danou lokalitu. Jednotlivé scénáře lze porovnat se současnou situací, tj. nevytěžováním skládky. Při této situaci dochází pouze k produkci skládkového plynu, jeho jímání a využívání. Jednotlivé scénáře vzhledem k finančním a environmentálním zatížením jsou rozděleny na obrázku 13 Obrázek 13.

Obrázek 13 - Rozdělení scénářů podle finančního a environmentálního zatížení



#### 4.2.1 Scénář č. 1 – současná situace

Tento scénář přináší nejmenší finanční zatížení provozovatele skládky. Jedná se o současnou situaci standardního skládkování odpadů, kde dochází pouze k jímání skládkového plynu a zachytávání průsakových vod. Současná situace však má kvůli emisím plynů a vod nejhorší environmentální výsledek. Tento princip je patrný z kapitoly 2.2.3.1.

#### 4.2.2 Scénář č. 2 – Přetěženi a nové skládkování

Tento scénář počítá s vytěžením sládky a následným novým skládkováním, bez jakékoliv separace využitelných složek. Scénář se především hodí pro skládky s vysokou mírou zátěže životního prostředí, a tedy nedostatečným zabráněním úniku emisí z tělesa skládky. Tato sanace zátěže životního prostředí má za účel ochránit okolí tělesa skládky a bezpečně zabezpečit již skládkovaný odpad v novém tělese skládky se všemi patřičnými ochrannými prvky. Scénář č. 2 je určen především pro staré skládky odpadů, kdy technologie nepodporovala dostatečné uzavření tělesa a zamezení úniku emisí do okolního prostředí. Z environmentálního hlediska dojde ke snížení vlivů na životní prostředí. Finanční náročnost dosahuje střední hodnoty.

#### 4.2.3 Scénář č. 3 – Vytěžování odpadů a základní třídění

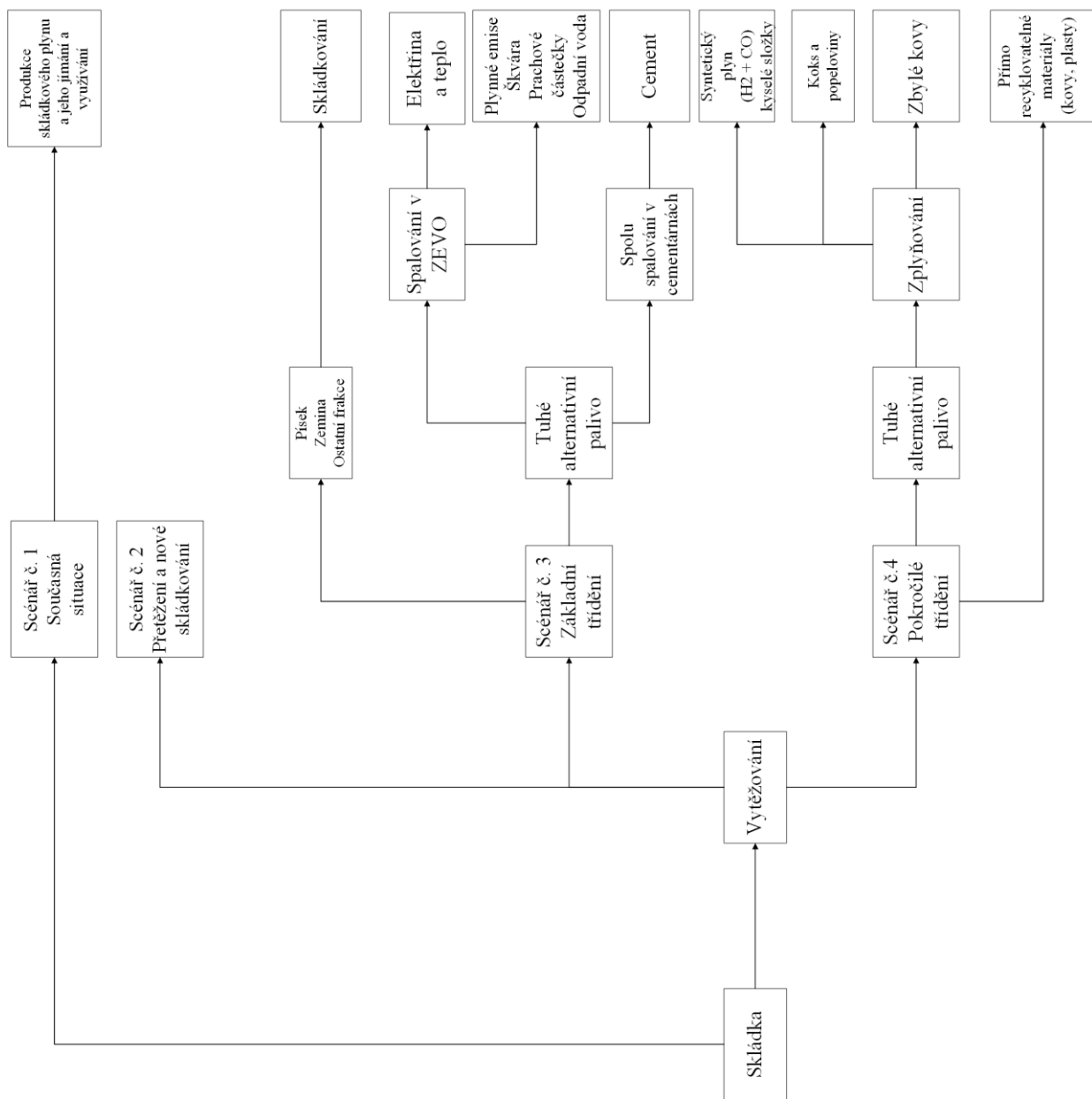
Scénář č. 3 je již pokročilým druhem vytěžování skládek odpadů. Po vytěžení odpadů z tělesa skládky dochází k základnímu třídění odpadů, za účelem získání spalitelné části

odpadů. Spalitelné části jsou spalovány v zařízeních pro energetické využití odpadů nebo drceny za účelem tvorby tuhého alternativního paliva (TAP) a jeho spolu spalování v cementárnách. Zbylé, nevytříděné složky jako kovy, zemina a inertní materiály jsou znovu skládkovány. Detailní analýzou tohoto scénáře se zabývají následující kapitoly.

#### **4.2.4 Scénář č. 4 – Pokročilé třídění a využití jednotlivých složek**

Scénář č. 4 zahrnuje nejnovější technologie pro zpracování odpadů. Jeho environmentální přínos je ze všech scénářů vytěžování skládek odpadů nejvyšší. Kvůli využití ručního třídění operátory a především nových technologií je však tento scénář vysoce finančně náročný. Výstupem z pokročilého třídění, které je uvedeno v kapitole 5.4, je tuhé alternativní palivo, kovy a jiné recyklovatelné materiály. Jednotlivým částem tohoto konceptu, vzhledem k výběru tohoto scénáře pro řešenou skládku, se zabývají následující kapitoly. Celkový koncept a jednotlivé scénáře jsou na obrázku 14.

**Obrázek 14 - Koncept vytěžování skládky odpadů**



## **5 Návrh vlastního řešení pro konkrétní skládku**

Pro danou skládku, vzhledem k množství uloženého odpadu, velikosti areálu a vysoce kvalitní ochrany životního prostředí v okolí skládky jsou dále řešeny pouze scénáře č. 3 a č. 4.

### **5.1 Průzkum tělesa skládky**

Průzkum tělesa skládky se provádí za účelem zjištění požadovaných informací pro výběr sektorů skládky pro budoucí vytěžení. Hlavními zkoumanými parametry jsou:

1. historie skládky, tj. složení a množství jednotlivých vrstev,
2. výška tělesa skládky,
3. geotechnická stabilita,
4. degradační stádium uvnitř tělesa skládky,
5. možnost výskytu nebezpečných odpadů,
6. skladba naváženého a již uloženého odpadu.

#### **5.1.1 Historie skládky a složení jednotlivých vrstev**

Výstavba skládky začala v roce 1993 první etapou. K zahájení provozu došlo v roce 1994. Při první etapě došlo k vybudování celého areálu, oplocení, technologie pro nakládání s průsakovými a srážkovými vodami. V ostatních etapách docházelo k postupnému otevírání nových sekcí. Budování jednotlivých sekcí, začátek a konec jejich používání jsou v závislosti na jednotlivých etapách uvedeny v tabulce 4.

**Tabulka 4 - Časové rozlišení jednotlivých sekcí**

<b>Etapa</b>	<b>Sekce</b>	<b>Začátek skládkování</b>	<b>Konec skládkování</b>
<b>1</b>	1,2,3,4,24,25	1994	1999
<b>2</b>	5,23	1999	2003
<b>3</b>	6,22	2004	2005
<b>4</b>	7,8	2005	2008
<b>5</b>	20,21	2006	2011
<b>6</b>	9,10	2008	2012
<b>7 – část 1</b>	19	2011	2015
<b>7 – část 2</b>	11	2012	2015
<b>7 – část 3</b>	12, 18	2015	2017 (2018)
<b>7 – část 4</b>	13	2017	V provozu
	17	2018	

**Zdroj 15 - Provozní řád**

Složení jednotlivých sekcí je řešeno v kapitole 5.1.6.2.

### **5.1.2 Výška tělesa skládky**

Výška tělesa skládky je v jednotlivých sekcích rozdílná, vzhledem k nesourodosti terénu, na kterém je těleso skládky vybudováno. Výška tělesa určuje jeho kapacitu, ale především ztěžuje možnosti vytěžování odpadů, kvůli částečnému postupu rypadla. Výška koruny skládky (nejvyšší místo tělesa skládky) je od hrany komunikace (násep skládky) 57,25 metrů. Maximální výšková kóta je 272,5 metrů nad mořem.

### **5.1.3 Geotechnická stabilita**

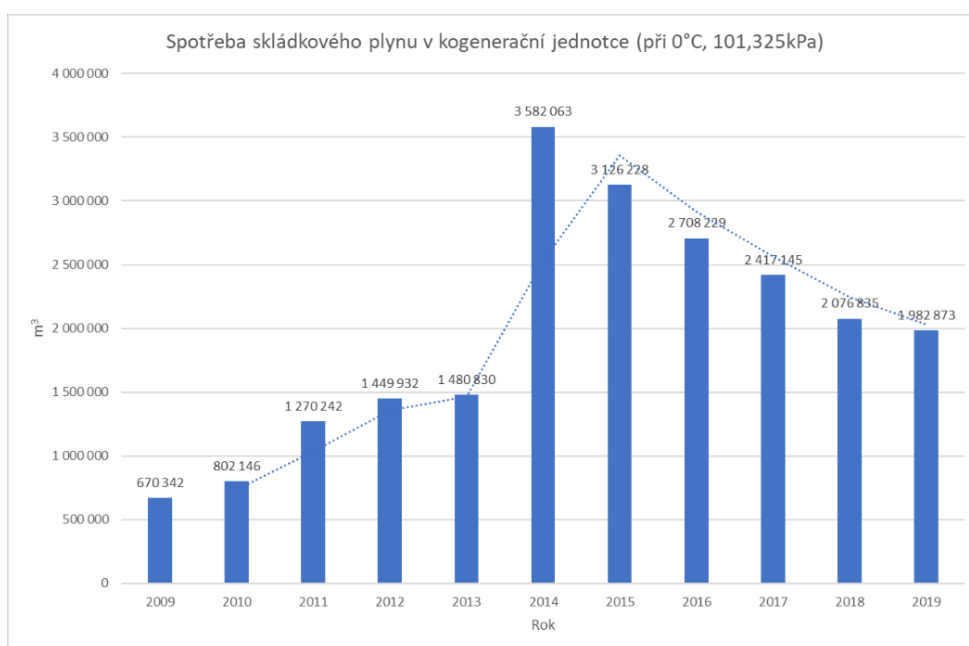
Geotechnická stabilita skládky je zajištěna dodržáním sklonu svahu skládky, určeného v projektové dokumentaci, v poměru maximálně 1:2,5. Tvorba sklonu svahu skládky je prováděna po celou dobu provozování skládky tvorbou kvalitních hrázek a je opakovaně měřena odbornou firmou. Tvarování konečné podoby svahů je zajištěno rekultivační vrstvou. Geotechnická stabilita, která zajišťuje stabilitu skládky při i po ukončení provozu by neměla být procesem vytěžování narušena. Je nutné zvolit postup

vytěžování takový, který nenaruší soudržnost odpadu a neporuší tak stabilitu skládky. Stabilitě se podrobněji věnuje kapitola 5.3.

#### 5.1.4 DegradáčnÍ stádium uvnitř tělesa skládky

DegradáčnÍ stádium uvnitř tělesa skládky určuje tvorbu skládkového plynu. Sledování degradáčnÍho stádía uvnitř skládky nelze efektivně měřit, především kvůli nemožnosti jednoduchého odebrání vzorků. Sledovat lze tvorbu skládkového plynu a jeho závislosti na degradáčním procesu (obrázek 9), při spalování v kogeneráční jednotce. Dle tvorby skládkového plynu lze předběžně určit jaké množství biologicky rozložitelného odpadu bude ve vytěženém odpadu. Velké množství biologicky rozložitelného odpadu by při výrobě TAP mohlo snižovat výhřevnost paliva, a omezovat tak následný zisk z této komodity. Spalování skládkového plynu a tedy množství vytvořeného skládkového plynu je znázorněno na obrázku 15. Únik skládkového plynu do okolí je zanedbán.

Obrázek 15 - Tvorba skládkového plynu v řešené skládce



Zdroj 16 - (Údaje z řešené skládky)

Z tvorby skládkového plynu v řešené skládce je patrný nárůst v roce 2014, kdy došlo k instalaci dalších 600 kW výkonu, oproti rokům předešlým. Následný pokles v tvorbě skládkového plynu lze chápat v závislosti na stále menším množství skládkovaného BRO, dle vyhlášky č. 294/2005. Je tedy patrné, že ve vytěžovaném odpadu z novějších sekcí bude méně biologicky rozložitelného odpadu. Ve starších sekcích bude BRO více, ale dle časového horizontu bude BRO ve větší fázi rozkladu.



### **5.1.5 Možnost výskytu nebezpečných odpadů**

Jelikož je řešená skládka typu S-NO je zřejmé, že se uvnitř tělesa skládky budou nacházet nebezpečné odpady včetně azbestu. Kvůli dodržování bezpečnosti práce je nutné vědět, v jakých sekcích se NO nacházejí. Řešená skládka je rozdělena na dvě části, na část pro skládkování komunálních odpadů (S-OO1 a S-OO3) a na část pro skládkování nebezpečných odpadů (S-NO). Díky tomuto rozdělení lze pomocí údajů z provozního deníku určit, že v sekcích 17 až 25 se nachází pouze NO. Sekce 17 až 25 budou s ohledem na bezpečnost práce z návrhu vyřazeny. Při odtěžování je nutné dbát na rozdělení sekcí 16 a 17, které od sebe nejsou nijak speciálně odděleny.

Sekce 1 až 16 jsou vybudovány jako S-OO3. Z kapitoly 2.2.3 je zřejmé, že se v těchto sekcích mohou nacházet odpady z azbestů. Při těžbě skládky by mohlo dojít k narušení azbestových vláken a jejich uvolnění do ovzduší, i přes povinnosti přijímat azbest zabalený v ochranných pytlích a po uložení ho překrýt zeminou. Provozní řád (PŘ) skládky zakazuje provádění veškerých vrtných a výkopových prací, které by mohly vést k uvolnění vláken azbestu. Azbest je karcinogenní silikát, který při inhalaci způsobuje poškození dýchacích cest. Je nutné předem vědět, ve které sekci a sektoru se azbest nachází. Dle schváleného provozního řádu je azbest ukládán, zabalený či vázaný pojivem, do předem určeného a zakresleného prostoru a neobsahuje jiné nebezpečné látky než azbest. Dle provozního řádu je azbest ukládán v sekcích 8 a 11. Místo uložení azbestu je pouze v několika vrstvách dané sekce (sektorech) a tvoří tak tzv. komín. Skládková evidence udává, že azbest byl ve výše zmíněných sekcích ukládán od roku 2017 (sekce 8), resp. 2019 (sekce 11). Při těžbě těchto sektorů musí být dbáno na výskyt azbestu. Azbest bude vytěžen a zlikvidován odbornou firmou, zabývající se likvidací azbestu. Umístění azbestu v jednotlivých sekcích je uvedeno v příloze 5

### **5.1.6 Analýza skladby komunálního odpadu**

Složení odpadu je hlavním předpokladem pro výběr a správné nastavení jednotlivých technologií. Složení odpadu se s postupem času, rozdílným typem zástavby nebo absencí separačních míst mění. Je proto zřejmé, že odpad uvnitř tělesa skládky bude mít rozlišnou skladbu než aktuálně navážený SKO. Jedním ukazatelem chování odpadů uvnitř tělesa skládky je tvorba skládkového plynu, jeho množství a složení. Dalším ukazatelem je tvorba skládkového výluhu. Není tedy zcela zřejmé, v jakém stádiu se odpad uvnitř tělesa nachází

a jakou má skladbu. Určení skladby odpadu v jednotlivých sekcích skládky je uvedeno v kapitole 5.1.6.2. Skladba odpadu uvnitř tělesa skládky bude porovnána s vlastním rozborem naváženého SKO.

#### 5.1.6.1 Analýza skladby naváženého směsného komunálního odpadu

Analýza skladby naváženého směsného komunálního odpadu byla provedena 14.1.2020, v areálu skládky ve středočeském kraji. Analýza byla prováděna pro dvě svozová auta z rozdílných typů zástavby. Centrální zástavba byla zastoupena svozovým autem, svázející odpad z městských částí hlavního města Prahy. Příměstská zástavba je zastoupena menšími obcemi v okolí řešené skládky. Z každého svozového auta byl odebrán reprezentativní vzorek do nádoby o objemu 120 l. Hmotnost vzorku byla změřena na 30 kg. Vzorek byl následně ručním tříděním rozdělen do jednotlivých složek a ty zváženy. Naměřená skladba odpadu je v tabulce 5. Vybrané složky korespondují s požadovanými vstupními daty pro kapitolu 5.6.

Tabulka 5 - Složení SKO naváženého na skládku

<b>Zastoupení jednotlivých látek v [SKO % hm.]</b>		
<b>Odpad</b>	<b>Typ zástavby</b>	
	<b>Centrální</b>	<b>Příměstská</b>
<b>Papír, lepenka, kartón</b>	21,4	9,3
<b>Plasty</b>	19,3	12,7
<b>Sklo a keramika</b>	5,1	5,7
<b>Kamenivo a inertní materiál</b>	2,4	2,9
<b>Kovy – železné</b>	3,4	3,4
<b>Kovy neželezné</b>	0,5	0,4
<b>Textil</b>	3,45	7,6
<b>BRO</b>	15,6	9,5
<b>Dřevo</b>	4,3	2,8
<b>Nebezpečný odpad</b>	0,25	0,18
<b>Zbylá frakce &lt;10 mm</b>	24,3	45,52

Zdroj 17 - Vlastní měření

### 5.1.6.2 Analýza skladby odpadu uvnitř tělesa skládky

Analýza skladby odpadu uvnitř tělesa skládky je důležitým aspektem při výběru a nastavení následujících technologií. Optimální analýza skladby odpadu uvnitř tělesa skládky je dělána pro jednotlivé sekce. Proces průzkumu jednotlivých sekcí je v pořadí:

1. odkrytí rekultivační vrstvy, včetně krycích materiálů,
2. vytvoření vertikální šachty (plocha a hloubka je závislá na zvolené technice odběru vzorků), vytěžený materiál je odkládán na stranu,
3. vzhledem k provozní historii skládky lze odebírat vzorky v jednotlivých hloubkách (v případě, že jedna sekce překrývá druhou, nebo v případě dlouhodobějšího využívání jedné sekce),
4. jednotlivé vzorky o předem určené hmotnosti či objemu jsou uloženy do kontejneru, celkový vzorek je zvážen,
5. následující ruční třídění rozdělí odpad na jednotlivé složky.

Vzhledem k nemožnosti navrtání tělesa skládky – chybějící technika, složitost provedení a právní rámec, nebyla analýza prováděna. Skladba odpadu uvnitř tělesa skládky, potřebná pro návrh jednotlivých technologií, je převzata z ELMT.

Tabulka 6 - Zastoupení jednotlivých látek ve skládkovém tělese, v sekcích 1 až 16

<b>Odpad</b>	<b>Zastoupení jednotlivých látek ve skládkovém tělese [% hm.]</b>
<b>Papír, lepenka, kartón</b>	5,89
<b>Plasty</b>	16,58
<b>Sklo a keramika</b>	1,2
<b>Kamenivo a inertní materiál</b>	10,33
<b>Kovy – železné</b>	2,84
<b>Kovy – neželezné (elektronické zařízení)</b>	0,6
<b>Textil</b>	3,47
<b>BRO</b>	2,01
<b>Dřevo</b>	7,42
<b>Nebezpečný odpad</b>	0,15
<b>Zbylá frakce &lt;10 mm</b>	49,51

Zdroj 18 - ELMT

### **5.1.6.3 Porovnání skladby odpadů**

Z provedené ruční analýzy odpadu je patrné, že se odpad vzhledem k místu produkce liší. Odpad z příměstské zástavby je charakterizovaný menším množstvím separačních míst, menším počtem svozů nebo možností využití některých odpadů v domácnostech (kompostování, spalování).

Porovnáme-li skladbu odpadu z vlastní analýzy a uvažované zastoupení v tělese skládky dle ELMT, je patrné, že je skladba odlišná. Lze to přisuzovat především tomu, že měření bylo provedeno pouze po svozová auta – domovní odpad, zatímco na skládku je navážen i odpad od právnických osob, který má velmi specifické složení. Pro další návrh je uvažováno se složením odpadu dle ELMT, uvedeného v tabulce 6.

## **5.2 Postup návrhu celého procesu pro řešenou skládku**

Návrh procesu omezuje především výkonnost ručního třídění. Je pravděpodobné, že vytěžování odpadů rypadlem, překoná ve výkonnosti třídící linku. Při opačném výsledku lze použít více rypadel a dopravních prostředků. Je tedy nutné nejprve zjistit výkonnost třídění a podle této výkonnosti navrhnout způsob vytěžování a logistiku odpadu z tělesa skládky na třídění. Vzhledem k možnostem areálu řešené skládky bude uvažováno, že třídící linka na vytěžený odpad bude v tomto areálu. Umístěním třídící linky uvnitř areálu bude eliminována časová prodleva dovozů, a především vysoké náklady spojené s logistikou. K třídění lze využít i stávající třídící linku na plast a papír.

Kvůli informacím uvedeným v kapitole 4.1, je pro danou skládku zvolen scénář č. 3 a č. 4. Pro zjednodušení této práce bude proces třídění u obou scénářů stejný, tzn. na pokročilé úrovni. Celkový proces pro oba scénáře je patrný z obrázku 14, a liší se především v koncovém zpracování jednotlivých složek.

Složení odpadu uvnitř tělesa skládky je důležitým aspektem při výběru a návrhu technologie. Dle informací uvedených v kapitole 5.1.6.3, je složení odpadu uvažováno dle tabulky 6.

## **5.3 Analýza způsobu vytěžení odpadu**

Vytěžování odpadů je závislé na kapacitě následujících zařízení a lze je upravovat množstvím a druhem (výkonností) strojů. Kvůli chronologickému dodržení jednotlivých

procesů, je v této práci analýza způsobu vytěžení odpadu první, ale návrh se odvíjí od výpočtů uvedených v kapitole 5.4.

Jelikož z tělesa skládky budou vytěženy pouze tuhé komunální odpady (sekce 1 až 16), je celkový objem pro vytěžení  $3\,172\,000\text{ m}^3$ . Dle dlouhodobé statistiky vedené na řešené skládce je průměrná objemová hmotnost skládkovaného odpadu (viz kapitola 2.2.6.3)  $1,2\text{ t}\cdot\text{m}^{-3}$ . Dle rovnice /6/ je odhadovaná hmotnost odpadu k vytěžení  $3\,806\,400\text{ t}$ .

### 5.3.1 Volba a výpočet rypadla

Vytěžení odpadu bude provedeno pomocí rypadla. Volba rypadla vychází z výpočtu požadované výkonnosti, která je v závislosti na výkonnosti třídící linky. Ruční třídění (dle kapitoly 5.4.4.1) má maximální výkonnost  $40\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Dle úvahy o zajištění maximálního vytížení musí, stejnou výkonnost splňovat i zvolené rypadlo, tedy  $Q_{\text{teor.rypadlo}}=Q_{\text{teor.ruční třídění}}$ . Pro zjednodušení výpočtu je uvažováno, že rypadlo je cyklicky pracující stroj, který se nepohybuje – činnost provádí pouze pracovní zařízení a je navrhováno pro maximální možnou kapacitu tj.  $40\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Vzdálenost odvozového vozidla je konstantní. Funkční vlivy – úhly otáčení, rychlost otáčení, vodorovné dosahy apod., jsou zanedbány. Dosazením výkonnosti ručního třídění do rovnice č. /7/, je dle rovnice č. /8/ minimální objem lopaty rypadla  $0,33\text{ m}^3$ . Dle Maršála (2004) je doba pracovního cyklu zvolena na 30 s. Je-li známa minimální teoretická výkonnost rypadla, lze zvolit požadovaný stroj dle katalogu. (*Časopis Silnice – Železnice*)

Z rovnice č. /8/ je patrné, že pro zajištění požadované výkonnosti rypadla je nutný minimální objem lopaty  $0,33\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Dle objemu lopaty je pro vytěžování zvolen stroj od firmy Caterpillar – CAT 310. Jedná se o pásové rypadlo o hmotnosti  $10\,182\text{ kg}$  a výkonu  $55,4\text{ kW}$ . Maximální hloubka kopání je  $5,21\text{ m}$ . Objem lopaty ( $V_{\text{lopata.z}}$ ) je zvolen nejvyšší přípustný tj.  $0,54\text{ m}^3$ . (*Stroje Caterpillar – Rýpadla*)

Na základně rovnice č. /9/ je teoretická výkonnost zvoleného rypadla  $64,8\text{ m}^3\cdot\text{h}^{-1}$ . Základní údaje o zvoleném rypadle jsou shrnuty v tabulce 7.

**Tabulka 7 - Základní údaje o rypadle pro vytěžování odpadu**

<b>Typ stroje</b>	<b>Pásové rypadlo CAT 310</b>
<b>Teoretická výkonnost stroje [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]</b>	64,8
<b>Výkon [kW]</b>	55,4
<b>Maximální hloubka kopání [m]</b>	5,21
<b>Objem lopaty [m<sup>3</sup>]</b>	0,54

**Zdroj 19** – (<https://zeppelin.cz/online-katalog/stavebni-stroje-caterpillar/rypadla/pasova-rypadla/mini-rypadla-0-9-az-9-tun/cat-310>)

### **5.3.2 Vytěžování odpadu**

Vytěžování odpadu z tělesa skládky bude provedeno rypadlem s objemnou lopatou (viz kapitola 5.3.1) od nejvyššího místa tělesa skládky (sekce 13). Postupně bude docházet k odtěžování a nakládání materiálu v okolí rypadla a jeho posunu k dalšímu nevytěženému místu. Vytěžování skládky bude probíhat v celé ploše nejvyššího místa skládky kvůli neporušení stability tělesa, efektivního využití zvoleného rypadla k těžbě pod sebou a využití méně příjezdových cest k plnění. Důležitým aspektem vytěžování je sledování místa vytěžování, kvůli nenarušení drenážních vrstev (odvod plynů a průsakových vod) a především částí, kde se uchovává azbest (příloha 5). Vytěžení části sekcí s azbestem bude provedeno za přísných bezpečnostních opatření s asistencí odborné firmy pro likvidaci odpadu z azbestu.

### **5.3.3 Odvoz vytěženého odpadu**

Odvoz vytěženého odpadu z tělesa skládky na složiště (odkud bude přendáván čelním nakladačem do dávkovače) bude provedeno pomocí nákladního vozu. Využití Dumperů není pro účel této práce vzhledem k malým kapacitám nutné. Celková průměrná vzdálenost z tělesa k místu složiště je zvolena 1 km. Dle PŘ budou komunikace na tělese skládky udržovány i po ukončení skládkování. Maximální rychlost jízdy v areálu je dle PŘ 30 km.h<sup>-1</sup>. Z praktických informací je kalkulováno s rychlostí jízdy 10 km.h<sup>-1</sup>, tzn., že doba jedné jízdy (z tělesa skládky ke složišti) trvá 360 s. Kvůli nerovnosti cesty, či jiným zdržením je doba jedné jízdy ( $T_{jizdy}$ ) zaokrouhlena na 400 s. Doba vyprazdňování ( $T_{vypr.}$ ) je stanovena na 120 s. Celkový čas přepravy je dle rovnice č. /10/ 15,3 minut.

Jako stroj pro odvážení materiálu z tělesa skládky je určen třístranný sklápěč Tatra (T815-231S25/340) o objemu korby 9 m<sup>3</sup>. Doba pracovního cyklu (T) je stanovena na 30 s. Doba plnění korby je dle rovnice č. /11/ 8,3 minut. Základní údaje o zvoleném vozidlu pro odvoz odpadu z tělesa skládky jsou uvedeny v tabulce 8.

**Tabulka 8 - Základní údaje o nákladním vozidlu**

<b>Typ stroje</b>	<b>Třístranný sklápěč Tatra T815-231S25/340</b>
<b>Objem korby [m<sup>3</sup>]</b>	9
<b>Výkon [kW]</b>	325

Zdroj 20 - (<https://www.tatra.cz/nakladni-automobily/tatra-phoenix/dalsi-vozy/6x6-tristranny-sklapec/>)

### 5.3.3.1 Skladování odvezeného odpadu

Skladování odvezeného odpadu bude před vstupem do třídícího procesu uskladněno uvnitř haly pro třídění, kvůli zamezení šíření zápachu, prašnosti a výskytu hlodavců. Dle rovnice č. /12/ je cyklus návozu odpadu z tělesa skládky 23,6 minut. Z vypočítaného cyklu návozu je pomocí rovnice č. /13/ vypočítaný počet návozů za hodinu roven 2,54.

Z množství návozů za hodinu lze určit celkové množství navezeného odpadu na složiště (rovnice č. /14/), které by nemělo přesahovat 40 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>, aby nedocházelo ke zbytečnému hromadění odpadu, vzhledem k maximální výkonnosti ručního třídění. Celkové objemové množství navezeného odpadu na složiště je 22,86 m<sup>3</sup>.

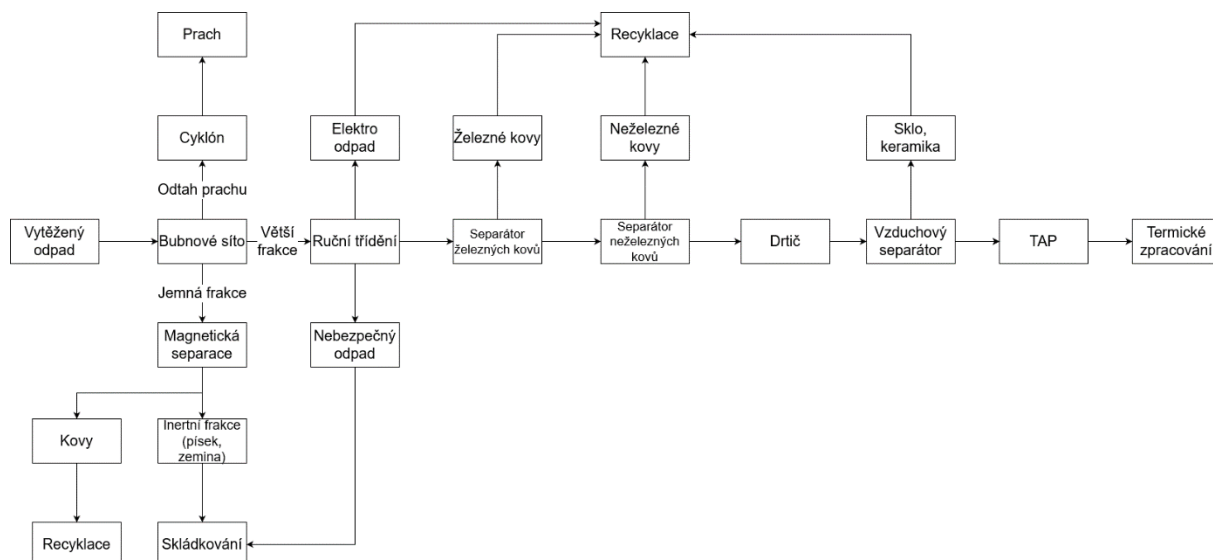
Celkové množství, které jsou zvolené stroje schopny k třídění dopravit (rovnice č. /14/) je menší než maximální možná výkonnost ručního třídění (40 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>). Není tedy nutné upravovat zvolené stroje z důvodu přetížení ručního třídění. Pro navýšení množství navezeného odpadu je možné zvýšit výkonnost rypadla, objem korby nákladního auta či zdvojnásobení počtu odvozových aut.

## 5.4 Třídění odpadu po jeho vytěžení

Třídění odpadu po jeho vytěžení z tělesa skládky je nejnáročnějším procesem z ohledu optimalizace výkonností a nastavení technologie v závislosti na složení odpadu. Vstupní výkonnost, kterou bude třídící linka schopna zpracovat, je vstupním údajem potřebným pro

návrh vytěžení skládky. Třídění odpadu zajistí rozdělení směsi odpadu do více, později využitelných složek. Schéma navrženého třídícího procesu je na obrázku 16.

**Obrázek 16 - Návrh třídícího procesu**



#### 5.4.1 Vstup materiálu do třídícího procesu

Vstup odpadu do třídícího procesu je zajištěn pomocí čelního nakladače a dávkovače materiálu. Čelní nakladač slouží k nakládání materiálu ze složiště do dávkovače. Využití dávkovače je kvůli zajištění kontinuálního přívodu materiálu pro ruční třídění a stále stejné vrstvy odpadu na dopravníkovém pásu. Vzhledem ke složení odpadu, pravděpodobné četnosti kovů a větších rozměrů, nelze použít standardní dávkovače biomasy, užívané např. v bioplynových stanicích. Alternativou je například dávkovač – od firmy Eggersmann BRT Hartner, který se používá v provozech pro zpracování komunálního odpadu a je možné ho využít i k rozdrůžování pytlů. Nastavení dávkovače bude provedeno podle praktické výkonnosti následujícího ručního třídění.

V současnosti je na řešené skládce používán čelní nakladač Komatsu WA470-8 s výkonem 204 kW a objemem lopaty 4,35 m<sup>3</sup>. Objem jedné dávky (objem lopaty) nesmí být větší než objem násypky (20,5 m<sup>3</sup>). Základní údaje o čelním nakladači jsou uvedeny v tabulce 10.

Dávkovač slouží především k dávkování požadovaného množství materiálu, který je schopna třídící linka zpracovat, a k dostatečnému rozložení materiálu na pás. V provozech



pro zpracování KO je používán i po částečných modifikacích jako otevírač pytlů. Základní informace o dávkovači jsou uvedeny v tabulce 9.

**Tabulka 9 - Základní údaje o dávkovači odpadu**

<b>Typ stroje</b>	<b>Dávkovač Eggersman BRT - MSW 2-13-22</b>
<b>Maximální výkonnost [m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>]</b>	40
<b>Rozměry (délka x šířka x výška) [m]</b>	12,6 x 1,9 x 2,8
<b>Objem násypky [m<sup>3</sup>]</b>	20,5

Zdroj 21 - (Vosting, s.r.o.)

**Tabulka 10 - Základní údaje o čelním nakladači**

<b>Typ stroje</b>	<b>Čelní nakladač Komatsu WA470-8</b>
<b>Výkon [kW]</b>	204
<b>Objem lopaty [m<sup>3</sup>]</b>	4,35

Zdroj 22 - (<https://www.komatsu.eu/en/wheel-loaders/wheel-loaders/wa470-8>)

Vzhledem k množství navezeného odpadu za hodinu (22,86 m<sup>3</sup>, vypočítaného dle rovnice č. /14/) a objemu lopaty nakladače (4,35 m<sup>3</sup>) je dle rovnice č. /15/, do násypky nutné naplnit odpad minimálně 5,25krát. Jelikož je objem násypky (tabulka 9) 20,5 m<sup>3</sup> a objem lopaty (tabulka 10) 4,35 m<sup>3</sup> nedojde v provozu k přeplnění násypky, při plném naplnění bude možný přesah (2,86 m<sup>3</sup>) eliminován kontinuálním odběrem materiálu.

Obrázek 17 – Dávkovač Eggersman BRT – MSW 2-13-22



Zdroj 23 – (Vosting, s.r.o.)

#### 5.4.2 Bubnové síto

Bubnové síto je prvním prvkem v třídícím procesu. Síto rozdělí odpad dle velikosti částic na menší (podsítnou) a větší (nadsítnou) frakci. Částečně také rozdruží materiál a odstraní tak inertní frakci, která by mohla snižovat účinnost třídění. Materiál je uvnitř bubnového síta posouvám vlivem otáčení rotujícího bubnu. Menší frakce (zeminy, písek, inertní materiál) propadne perforací bubnu o velikosti 10 mm vlivem odstředivé síly a putuje následujícím dopravníkem ke skladování inertní frakce. V průběhu přesunu podsítné frakce je nad dopravníkem umístěn magnetický separátor pro separování kovů. Zbylý materiál je odvalován skrz rotační buben k výstupu, odkud je přenášen na dopravník k ručnímu třídění. Úkolem bubnového síta je oddělení inertní, nerecyklovatelné frakce z toku odpadů a usnadnění práce dalším separacím.

Pro navrhovanou linku, vzhledem k umístění bubnového síta na stále stejném místě, bude zvoleno stacionární bubnové síto na elektrickou energii, aby nemuselo být řešeno

vypouštění spalin mimo halu. Minimální požadovaná výkonnost vychází z rovnice č. /14/. Pro účely této práce je zvoleno bubnové síto Doppstadt SST 518, které slouží k třídění odpadu. Největší výhodou tohoto bubnového síta je předpřipravené výfukové zařízení a tak jednoduché napojení na cyklón pro odtah prachu. Výkonnost bubnového síta SST 518 je až  $120 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Nastavení velikosti perforace je (dle tabulky 6) 10 mm. Přívod materiálu do bubnového síta je pomocí pásového dopravníku, napojeného na výsyp z dávkovače. Výstup podsítné frakce je v dolní části bubnového síta, kam bude umístěn dopravník pro odvod materiálu a magnetickou separaci. Výstup nadsítné frakce je v koncovém směru bubnu.

Základní údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 11 - Základní údaje o bubnovém sítu**

Typ stroje	Bubnové síto Doppstadt SST 518
Maximální výkonnost [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	120
Typ motoru	Tří fázový elektrický
Výkon motoru [kW]	11
Plocha síta [ $\text{m}^2$ ]	22,5
Rozměry (délka x šířka x výška) [m]	6,83 x 2,42 x 3,18

Zdroj 24 - (<https://doppstadt.de/en/products/smart-screening/trommel-line/product-details/product/sst-518/>)

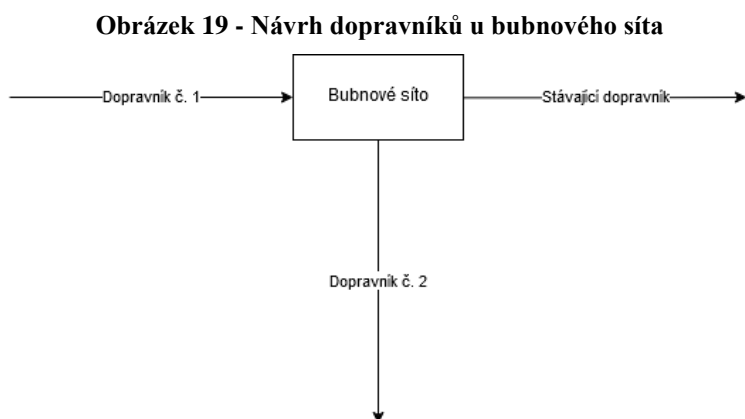
**Obrázek 18 - Bubnové síto (ilustrační provedení)**



Zdroj 25 - ([https://www.profstroje.cz/rotacni-tridic-doppstadt-sst-518\\_3831.html](https://www.profstroje.cz/rotacni-tridic-doppstadt-sst-518_3831.html))

### 5.4.2.1 Dopravní zařízení

K bubnovému sítu je nutné doplnit dva dopravníky, jeden pro přívod materiálu do síta a druhý pro odvod podsítné frakce. Dopravník musí splňovat požadovanou výkonnost ( $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ), od které se odvíjí výpočet šířky dopravního pásu a jeho zvolené vlastnosti. První dopravník zajišťuje přívod materiálu z dávkovače do bubnového síta. V bubnovém sítu, oddělením podsítné frakce dojde ke změně vlastností materiálu, pro zjednodušení návrhu budou zvolené údaje považovány za konstantní. Navrhovaný systém je uveden na obrázku 19.



Jednoduchým převedením známé objemové hmotnosti a výkonnosti ručního třídění lze pomocí rovnice č. /16/ zjistit, že požadovaná výkonnost dopravníku je  $13,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ .

Rychlost dopravníku ( $v_p$ ) je zvolena na základě aktuálního ručního třídění plastového a papírového odpadu na řešené lince ( $0,2 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

Polák (2005) uvádí, že objemová hmotnost je větší než sypná hmotnost. Pro výpočty teoretického průřezu materiálu je dle Poláka (2005) zvolena sypná hmotnost  $\rho_s 1140 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a dynamický sypný úhel  $\psi_d 20^\circ$ . Teoretický průřez materiálu je tedy dle rovnice č. /17/  $0,058479 \text{ m}^2$ . Pomocí rovnice č. /18/ je teoretická šířka pásu  $0,981 \text{ m}$ . Dle rovnice č. /18/ je zvolen pryžový otěruvzdorný pás od výrobce Gumex – EP/400/3 Y.

Obrázek 20 - Pás Gumex - EP/400/3 Y



Zdroj 26 – (<https://www.gumex.cz/ep-4003-y-pryzovy-dopravnikovy-pas-00867101>)

Základní údaje o zvoleném dopravníku a pásu jsou uvedeny v tabulce 12.

Tabulka 12 - Základní údaje o dopravníku a pásu

Zvolený pás	Gumex EP/400/3 Y
Výška dopravníku [m]	1
Rychlost dopravníku [ $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	0,2
Požadovaná výkonnost [ $\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}$ ]	13,3
Šířka pásu [m]	1
Délka dopravníku [m]	5
Tloušťka pásu [m]	0,009
Minimální průměr hnacího válce [m]	0,315

Zdroj 27 - (<https://www.gumex.cz/h/ep-4003-y-pryzovy-dopravnikovy-pas-00867?Filter=True>)

Pro zjednodušení bude pro přívod materiálu z dávkovače a odvod podsítné frakce z bubnového síta použit stejný typ dopravníku. Výstup nadsítné frakce z bubnového síta je na stávající dopravník.

### 5.4.3 Cyklón pro odtah prachu

Cyklón pro odtah prachu slouží k odsávání prachových částic z bubnového síta. Prach bude vzhledem k pohybu odpadu emitován z inertních materiálů. Z bubnového síta je prach odsáván potrubím napojeným na cyklón. Směs vzduchu a prachu vstupuje do horní části cyklónu, excentrickým náběhem, který směs vzduchu a prachu uvede do rotace kolem osy cyklónu. Prachové částice jsou odstředivou silou unášeny směrem dolů k výsypu.

Na hrdlo výsypu je umístěna nádoba, uzavřená od okolního prostředí. Vzduch uniká vrchní částí cyklónu.

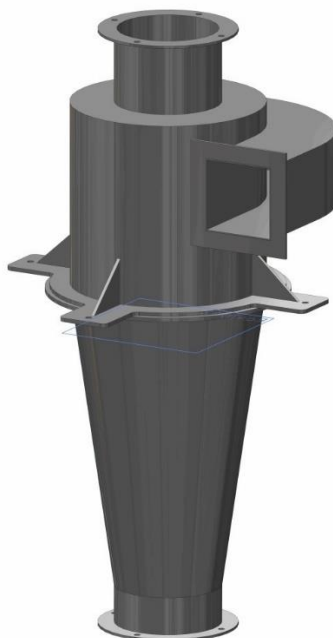
Cyklón zvolený pro účely této práce je CY\_001 od firmy Gildy s odsávacím výkonem  $600 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Základní údaje jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 13 - Základní údaje o cyklónu**

Typ zařízení	Cyklón CY_001
Odsávací výkon [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	600
Průměr zapojovacího potrubí [m]	100

Zdroj 28 - (<https://www.gidly.cz/produktove-skupiny/cyklonove-odlucovace-prachu/>)

**Obrázek 21 - Cyklón CY\_001**



Zdroj 29 - ([https://www.gidly.cz/product/CY\\_001/](https://www.gidly.cz/product/CY_001/))

#### 5.4.4 Ruční třídění

K ručnímu třídění bude použita stávající třídící linka, která slouží k třídění plastu a papíru. Vstup do třídící linky je vynášecím řetězovým dopravníkem s gumovým pásem a ocelovými hrabičkami. Sklon dopravníku je  $30^\circ$ . Vynášecí dopravník vynese odpad do třídící místnosti. Místnost je opatřena shozy, do kterých se vhazují určené druhy materiálu.

Ruční třídění slouží k vyjmutí především elektronických zařízení a nebezpečných odpadů (nádoby s oleji, baterie, aj.). V závislosti na aktuálním složení odpadu (dle

vytěžované sekce) je v třídící místnosti několik pracovníků, kteří odebírají určený materiál a shazují ho do jednotlivých shozů. Vzhledem k jiné povaze současně tříděných materiálů na třídící lince (plast a papír), a výšky třídící místnosti nad zemí (2,82m) je nutné shozy opatřit skluzy, které zamezí rozbití materiálu (především elektro odpadů) při dopadu na dno kóje. Z jednotlivých kójí je odpad vynášecím dopravníkem vynášen na druhý dopravník, který aktuálně slouží k odvodu materiálu do lisovacího zařízení. V řešeném projektu bude lisovací zařízení odstraněno a místo něho bude vytvořena plocha pro nakládání čelním nakladačem, k následnému skladování materiálu před odvozem k recyklaci. Zbylý odpad, projde třídící linkou k drcení.

#### **5.4.4.1 Výkonnost ručního třídění**

Výkonnost ručního třídění je závislá na množství pracovníků, kvalifikaci obsluhy a především na složení odpadu. Výkonnost je možné efektivně zvětšit, či zmenšit, množstvím pracovníků na třídění nebo rychlostí pásu nesoucího odpad. Předpokládá se, že vzhledem k měnícímu se druhu odpadu, bude vedoucí směny upravovat množství pracovníků. Měnicí se výkonnost ručního třídění však nesmí markantně ovlivnit předchozí operace. Pro účely této práce bude určena teoretická výkonnost ručního třídění  $40 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ . Výkonnost lze upravit pomocí výše zmíněného navyšování a snižování obsluhy.

#### **5.4.4.2 Dopravní zařízení**

Třídící linka je složena ze zapuštěného příjmového a vynášecího dopravníku, třídícího dopravníku a dopravníku pro odvod materiálu z kabiny ručního třídění. Je nutné zkontrolovat zda dopravníky zvládnou vypočítanou výkonnost dle rovnice č. /16/ ( $13,3 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ).

První – příjmový dopravník, je zapuštěn v podlaze (0,8 m), kvůli nahrnování materiálu nakladačem na pás o šířce 1,4 m. Dopravník pokračuje ve sklonu  $30^\circ$  a délce 5,64 m do třídící místnosti. Dá se očekávat, že zapuštění dopravníku v zemi nebude problémové. Příjmový dopravník je řetězový s gumovým pásem a ocelovými hrabičkami, které zabraňují převalování materiálu. Řetěz slouží k přenosu tahových sil a gumový pás slouží jako nosič materiálu. Celková délka dopravníku je 9,64 m. Šířka dopravníku je 1,4 m. Dle rovnice č. /19/ je výkonnost příjmového dopravníku  $26,904 \text{ kg} \cdot \text{s}^{-1}$ . Vynášecí část dopravníku má sklon  $30^\circ$  a po stranách má kolmé pažení (stejná hloubka jako žlabu

v příjmové části), které zamezuje odpadu vypadnutí z dopravníku. Vzhledem k obsahu této práce je zanedbána nutnost kontroly dynamických vlastností materiálu na šikmém dopravníku. Výkonnost příjmového dopravníku je větší než požadovaná výkonnost  $13,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$  a je tedy možné využít stávající dopravník.

Druhý – třídící dopravník je horizontální pásový dopravník, který slouží k ručnímu třídění. Tento dopravník udává rychlost – výkonnost, všech ostatních dopravníků, jelikož rychlost třídícího pásu může být zvětšována, či zmenšována podle výkonnosti ručního třídění. Z provozního hlediska je nutné dodržovat rychlost dopravního pásu takovou, aby při ručním tříděním bylo možné z pásu vytřídit požadované množství materiálu. Dále je kvůli fyziologickým předpokladům zaměstnanců (výška a délka paží), nutné omezit šířku pásu dostatečně, aby nedošlo k nemožnosti třídění z prostředku pásu. V současné třídící lince je pásový dopravník o šířce 1,5 m. Dle uvedených předpokladů musí být výkonnost příjmového dopravníku stejná nebo větší než dopravníků předešlých. Třídící dopravník je širší, kvůli optimalizaci ručního třídění a zamezení pádu odpadu mimo třídící pás při transportu z příjmového dopravníku. Ze známe šířky pásu je nutné vypočítat průřez materiálu na pásu. Dynamický sypný úhel  $\psi_d$  je považován i přes odstranění podsítné složky za konstantní ( $20^\circ$ ). Dle rovnice č. /20/ je průřez materiálu na třídícím pásu  $0,136 \text{ m}^2$ . Z vypočítaného teoretického průřezu materiálu na třídícím pásu ( $S_{\text{třídící pás}}$ ), který je závislý na šířce pásu ( $B_{\text{třídící pás}}$ ) je dle rovnice č. /21/ výkonnost třídícího dopravníku  $32,76 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ . Výkonnost třídícího dopravníku je větší než požadovaná výkonnost (Rovnice č. /16/)  $13,3 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$ .

Třetí – dopravník aktuálně slouží k odvodu materiálu po třídění k lisovacímu zařízení. Tento dopravník bude odstraněn, vzhledem k napojení na drtící zařízení.

**Tabulka 14 - Výkonnosti aktuálních dopravníků**

<b>Dopravník</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Příjmový dopravník s lomenou částí [<math>\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}</math>]</b>	26,904
<b>Třídící dopravník [<math>\text{kg}\cdot\text{s}^{-1}</math>]</b>	32,76

#### **5.4.4.3 Kóje pro vytříděný odpad**

Jednotlivé kóje pro vytříděný odpad se nacházejí pod kabinou ručního třídění. Pro úpravu stávající linky na linku na třídění vytěženého odpadu ze skládky, je nutné shozy opatřit skluzy. Skluzy budou sloužit k omezení destrukce materiálu (NO a elektronických



zařízení). Shozy jsou vybaveny klapkami pro zamezení přístupu vzduchu do kabiny. Kóje jsou vybaveny vynášecími dopravníky, jejich výkonnost je vzhledem k možnostem vyprazdňování podle množství materiálu, zanedbána.

#### 5.4.5 Drtící zařízení

Proces drcení má za úkol rozmělnit materiál před další separací a docílit tak jednodušší separaci materiálu. Drtič je umístěn po ručním třídění a může tak využít výšky třídící kabiny (2,82 m) a omezit množství dopravníků. Vstupními předpoklady pro volbu drticího zařízení je maximální výška násypu (výška třídící kabiny – 2,82 m) a požadovaná výkonnost (dle kapitoly 5.4.4.1) – 40 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Zvoleno je drticí zařízení HL I 1222 od firmy Husmann GmbH. Jedná se o stacionární elektricky poháněný drtič s jedním drticím válcem. Výhodou je nízká výška, která je zajištěna především kvůli odvodu materiálu z drtiče přední částí, nastavitelným dopravníkovým ramenem. Dopravník bude napojen na kolmý dopravník (viz kapitola 5.4.6.1). Vstup materiálu do drtiče je gravitační, spádem z třídící kabiny. Násyp je rozšířen bočnicemi, kvůli zamezení pádu materiálu mimo drtič. Požadavky na drticí zařízení je ve velikosti částic - 20 až 200 mm. Optimální velikost částic bude zvolena podle požadavků na TAP (kapitola 5.5.3). Základní údaje o drtiči jsou v tabulce 15.

Tabulka 15 - Základní údaje o drtiči

Typ zařízení	Drticí zařízení HL I 1222
Výkonnost [kg.h <sup>-1</sup> ]	50 000
Výstupní frakce [mm]	Do 250
Typ motoru	Elektromotor
Výkon motoru [kW]	200
Rozměry (délka x šířka x výška) [m]	10,6 x 2,34 x 2,63
Plnicí výška [m]	2,6

Zdroj 30 - (<https://www.mouder.cz/drtec-zazen-hl-i-1222>)

Obrázek 22 - Drtící zařízení HL I 1222



Zdroj 31 - (<https://www.mouder.cz/drtc-zazen-hl-i-1222>)

#### 5.4.6 Magnetické separátory

Magnetické separátory slouží k odstraňování feromagnetických (železných) kovů (železo, kobalt, nikl a jejich slitiny) z toku materiálu. Jedná se o důležitý prvek třídícího procesu k odejmutí ekonomicky cenné frakce. Separátory fungují na principu magnetického pole, ke kterému jsou přitahovány železné kovy. Vysoká škála separátorů zaručuje použití v každém druhu provozu. Pro účel této práce se nejlépe jeví závěsné magnetické separátory nad pásový dopravník. Umístění separátoru je kolmo na pásový dopravník. Výhodou těchto separátorů je odvod materiálu kolmo na pásový dopravník, či možnost umístění samočisticího zařízení.

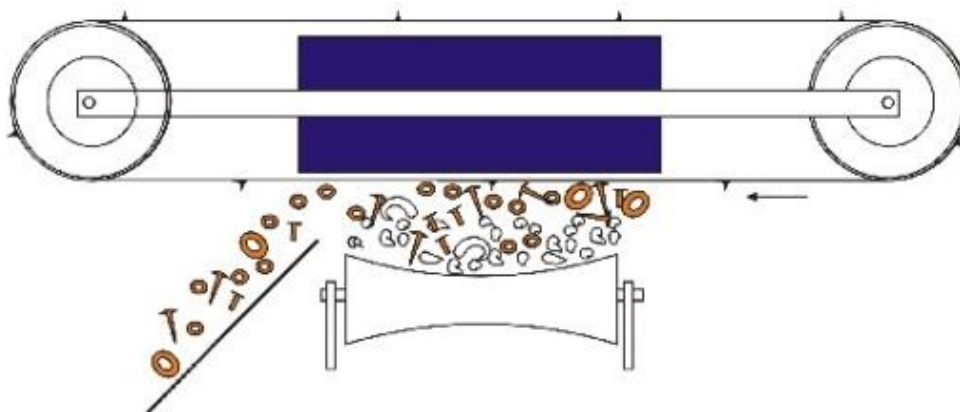
V třídícím procesu jsou umístěny dva magnetické separátory. První – pro třídění z podsítné frakce (kovy s rozměry pod 10 mm – šířka perforace bubnového síta, jako například matice, šrouby, vruty, aj.), a pro třídění rozdrčeného odpadu, vycházejícího z drtiče. Navrhované separátory jsou uvažovány jako identické.

Princip magnetického separátoru je na obrázku 23. Navrhované separátory jsou zvoleny jako kolmé, magnetické separátory nad pásový dopravník. Zachycený materiál je pásem odváděn do záchytné nádoby. Magnetické separátory jsou dodány jako zakázková výroba, zohledňující rychlost pásu, množství materiálu, výšku materiálu a frakce. Důležitým parametrem je délka separátoru, kvůli překonání šířky dopravníků (1 m), která je definovaná na minimálně 1,5 m (šířka dopravníku + šířka nádoby na kovovou frakci). Účinnost

separátoru je až 90 % v závislosti na složení vrstvy odpadu na pásu. Při druhé separaci je separátor umístěn nad kolmým dopravním pásem, který dopravuje materiál z výstupu drcení do požadované výšky, kvůli separaci neželezných kovů.

Základní údaje o separátorech jsou uvedeny v tabulce 16.

**Obrázek 23 - Princip kolmého magnetického separátoru nad pásový dopravník**



Zdroj 32 - (<https://www.magsy.cz/24791-magnet-nad-dopravnik-magneticka-deska>)

**Tabulka 16 - Základní údaje o magnetických separátorech**

Typ zařízení	Samočistící magnetický separátor (MS F)
Výkonnost	Dle výrobce
Požadovaná délka [m]	Min. 1,5
Ložiska	SKF
Doplňkové informace	Použití v prašné prostředí Automatické čištění

Zdroj 33 - (<https://www.magsy.cz>)

#### 5.4.6.1 Dopravní zařízení

První dopravní zařízení – pásový dopravník, při první separaci je popsán v kapitole 5.4.2.1. Druhé dopravní zařízení – pásový dopravník, je složen ze dvou částí. První částí je horizontální dopravník, pro odvod materiálu po drcení mimo drtič, který je součástí drtiče. Druhou částí je šikmý pásový dopravník s ocelovými hrabičkami, který má za úkol vynést

materiál do požadované výšky k separaci neželezných kovů. Separace kovů je kvůli výstupu materiálu stanovena jako 2 m (dle tabulky 17). Sklon dopravníku je zvolen obdobně jako vynášecí dopravník (kapitola 5.4.4.2) 30°. Délka dopravníku je tedy dle rovnice č. /22/ rovna 4 metrům. Vzhledem ke stále stejným hodnotám (požadovaná výkonnost, rychlost, sytná hmotnost, aj.), je dopravník zvolen se stejnými parametry jako v kapitole 5.4.2.1.

#### **5.4.7 Separátory neželezných kovů**

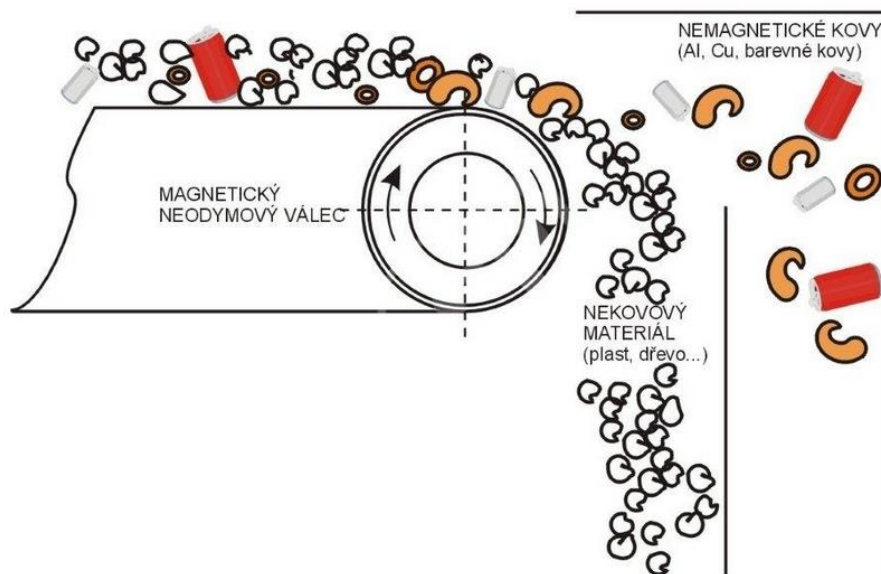
Separátory neželezných kovů (hliník, měď, olovo, cín, aj.) fungují na základě působení vířivých proudů na materiály s různou elektrickou vodivostí. Tok materiálu je pásovým dopravníkem přiváděn k rychle rotujícímu, indukčnímu, magnetickému válci, který vytváří rychle se měnící magnetické pole. Magnetické pole vytváří vířivé proudy v kovových předmětech. Kvůli vířivým proudům vzniká odpuzivé silové pole mezi kovy a magnetickým polem indukčního rotoru, kvůli kterému je kovový materiál odmrštěn od válce. Zbylý odpad propadá v blízkosti válce. Důležitým faktorem ovlivňujícím práci separátoru je stále stejná vrstva materiálu na páse. Kvůli zajištění stejnoměrné vrstvy materiálu je před separátor umístěn vibrační dopravník, který svými vibracemi, rozprostírá rovnoměrně materiál na pás. Princip separátoru je uveden na obrázku 24.

V celém procesu třídění je navržen jeden separátor neželezných kovů a je tedy uvažováno, že rozměry neželezných kovů jsou větší než 10 mm (šířka perforace bubnového síta) a projdou tak celým procesem až k separaci. Využití vícestupňové separace není uvažováno.

Vstup materiálu k separaci neželezných kovů je dopravním pásem, po separaci železných kovů. Pro účely této práce je zvolen separátor neželezných kovů ECS s 12 póly a frekvencí až 300 Hz od Goudsmit Magnetics. Výhodou je osazení vibračním podavačem na začátku separátoru a větší pracovní šířka než šířka dopravníků, které přivádí materiál (1 m) a nenutnost opatření bočnicemi, omezující pád materiálu mimo dopravník. Výkonnost zvoleného separátoru je až 30 000 kg neželezných kovů za hodinu.

Výstup ze separátoru je patrný dle obrázku 24 a je pro neželezné kovy do připraveného kontejneru, pro ostatní materiál na dopravní pás, vedoucí k další separaci (kapitola 5.4.8.1). Výška navazujícího dopravníku je uvažována jako 1 m. Základní údaje jsou uvedeny v tabulce 17.

Obrázek 24 - Princip separátoru neželezných kovů



Zdroj 34 - (<https://www.magsy.cz/24795-magneticke-separatory-nemagnetickych-kovu-eddy-current-separator>)

Tabulka 17 - Základní údaje o separátoru neželezných kovů

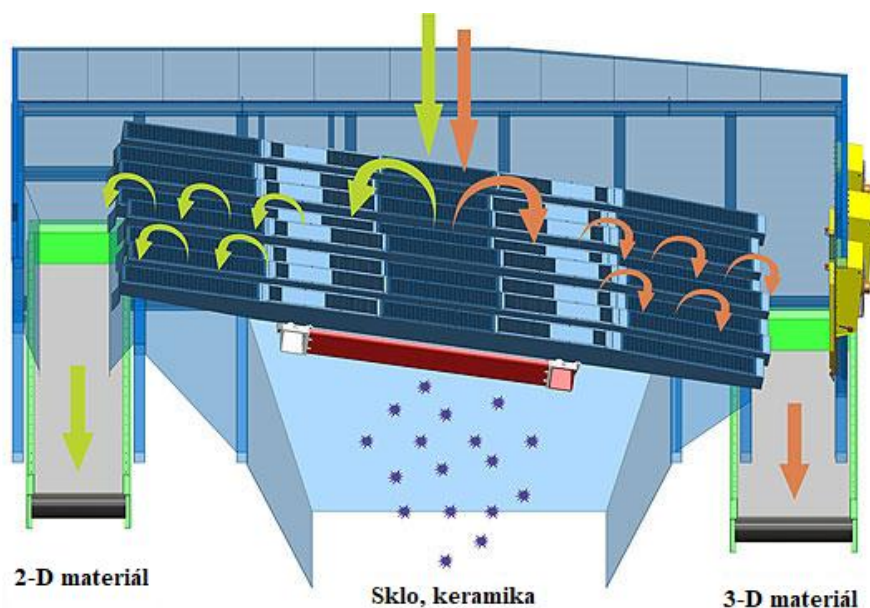
Typ zařízení	Separátor neželezných kovů 22P VI
Velikost částic zachycených [mm]	20 – 200
Maximální výkonnost [kg.h <sup>-1</sup> ]	30 000
Rozměry (délka x šířka x výška) [m]	5,28 x 2,64 x 1,35

Zdroj 35 - (<https://www.goudsmitmagnets.com/prumyslove-magneticke-systemy/recyklace-trideni/separatory-nezelezných-kovu-ecs/eddyxpert-eddy-current-separator-nezelezných-kovu>)

#### 5.4.8 Balistický separátor

Balistický separátor slouží k separaci skla a keramiky na konci celého procesu. Separátor třídí odpad na tři frakce – ploché (2-D), valivé (3-D) a jemné. Separátor je opatřen sítí, které kmitají ve vodorovném i svislém směru. Kmitáním se ploché 2-D materiály posouvají směrem nahoru. Těžší 3-D materiály se odvalují směrem dolů. Princip balistického separátoru je na obrázku 25. 2D a 3D materiál z balistického separátoru bude využíván jako TAP.

Obrázek 25 - Princip balistického separátoru



Zdroj 36 - ([http://acientech.com/bbs/content.php?co\\_id=xproduct05\\_2](http://acientech.com/bbs/content.php?co_id=xproduct05_2))

Pro navrhovanou linku je zvolen stacionární balistický separátor 4300 od společnosti Komptech. Základní údaje jsou uvedeny v tabulce 18.

Tabulka 18 - Základní údaje o balistickém separátoru

Typ zařízení	Balistický separátor Komptech 4300
Maximální výkonnost [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]	60
Výkon motoru [kW]	5,5
Rozměry (délka x šířka x výška) [m]	7,47 x 2,4 x 1,93
Plocha sít [ $\text{m}^2$ ]	9,6

Zdroj 37 - ([https://www.komptech.com/fileadmin/komptech/brochures/Ballistor\\_cz\\_072012.pdf](https://www.komptech.com/fileadmin/komptech/brochures/Ballistor_cz_072012.pdf))

#### 5.4.8.1 Dopravní zařízení

Přívod materiálu do separátoru je z vrchní části, šikmým pásovým dopravníkem s ocelovými hrabičkami navazujícím na separaci neželezných kovů. Požadovaná výška dopravníku je závislá na výšce separátoru (tabulka 18). Sklon dopravníku je  $30^\circ$ . Délka dopravníku je dle rovnice č. /22/ 4 m. Separátor je umístěn kolmo na tento dopravník. Jemná frakce propadá sítí do spodní části.

Jemná frakce (sklo a keramika), která propadává sítím ve středu separátoru, je odváděna mimo prostor šikmým pásovým dopravníkem s ocelovými hrabičkami, který odpad přenáší do sběrného boxu. Lze očekávat, že spolu se sklem a keramikou, propadne síty i část inertního materiálu. Pro účely této práce je uvažováno se 100 % vytríděním inertní, jemné frakce v bubnovém sítu. Rozměry boxu jsou stanoveny dle objemu vytríděného materiálu za hodinu (viz tabulka 19) a šířky lopaty čelního nakladače (2,995 m) na 3,5 x 2 x 2 m. Délka dopravníku je dle rovnice č. /22/ 4 m.

2-D a 3-D frakce jsou obdobně jako sklo a keramika odváděny pásovým dopravníkem s ocelovými hrabičkami do boxů umístěných na každé straně.

Jednotlivé dopravní zařízení jsou stejného typu jako dopravníky vypočítané v kapitole 5.4.2.1.

#### **5.4.9 Skladování materiálů**

Skladování jednotlivých materiálů je v hale, kde probíhá třídící proces. Skladování vytěženého odpadu je popsáno v kapitole 5.3.3.1.

Výstup z bubnového síta (podsítná frakce) je odváděn pásovým dopravníkem ke složišti. Ze složiště bude materiál převážěn pomocí čelního nakladače do boxu, umístěného před třídící halou.

Výstupy z ručního třídění (NO a elektronické zařízení) budou skladovány v kójích pod třídící kabinou. Vysypání materiálu z kóji bude pomocí vynášecího pásového dopravníku do lopaty čelního nakladače, který materiál odveze do velkokapacitního kontejneru, umístěného před třídící halou. Elektroodpad bude skladován do naplnění kapacity kontejneru a odvezen oprávněné firmě k recyklaci. Nebezpečné odpady budou neprodleně po naplnění kapacity kontejneru odvezeny ke skládkování v sekcích 17 až 25, případně do jiného zařízení k odstranění.

Prach z cyklónu je skladován v uzavřené nádobě ve spodní části cyklónu, po naplnění je prach odstraněn jako NO.

Železné kovy, zachycené separátory železných kovů jsou odváděny pásem a shazovány do kontejnerů. Neželezné kovy jsou při separaci odmrštěny do připraveného kontejneru. Kapacita kontejneru je stanovena na 1 m<sup>3</sup>. Využity budou kontejnery pro jednoduché zvedání pomocí vysokozdvizného vozíku, který se aktuálně na třídící lince používá k odvozu slisovaných balíků.

Sklo a keramika, které jsou vyseparované balistickým separátorem, jsou odváděny přímo, pásovým dopravníkem s ocelovými hrabičkami do boxu. Z boxu je čelním nakladačem materiál odvážen do velkoobjemového kontejneru umístěného před třídící halou.

Zbylé 2-D a 3-D frakce jsou po separaci odváděny do boxů odkud jsou čelním nakladačem převáženy do velkoobjemových kontejnerů, umístěných před třídící halou.

Časové prodlevy, vzniklé odvozem a nepřítomností kontejnerů na místě, jsou pro zjednodušení zanedbány.

Kapacity jednotlivých skladovacích prostředků a míst jsou patrné z tabulky 19. Vytříděné množství je podle tabulky 6.

Skladování nejobjemnější inertní frakce, vzhledem k nemožnostem využití, je zanedbáno, ale lze uvažovat o jeho postupném odvozu k odstranění.

**Tabulka 19 - Skladování materiálů a vytříděné kapacity**

<b>Frakce</b>	<b>Vytříděno za hodinu [t]</b>	<b>Vytříděno za hodinu [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Kapacita skladovacího prostoru v hale [m<sup>3</sup>]</b>	<b>Počet odvozů z třídící haly za hodinu [-]</b>
<b>Inertní frakce</b>	23,76	19,8	Neuvažováno	Dle možností nakladače
<b>Železné kovy</b>	1,36	1,14	3	0,38
<b>Neželezné kovy</b>	0,29	0,24	14	0,018
<b>NO</b>	0,07	0,06	14	0,004
<b>Sklo, keramika</b>	0,58	0,48	14	0,034
<b>TAP</b>	16,01	13,34	28	0,51

Z tabulky 19 je očividné, že skladovací prostory pro sklo a TAP (papír + plast + dřevo + textil) jsou dostatečné a nebudou přetěžovat čelní nakladač. Trojí separace kovů (dvakrát železných a jednou neželezných) má na každém stanovišti jeden kontejner o objemu 1 m<sup>3</sup>, celková kapacita pro skladování kovů je tedy 3 m<sup>3</sup>. Kapacity pro NO a kovy jsou dostatečné



a k odvozu bude docházet operativně dle možností nakladače. Skladování vytěženého odpadu je popsáno v kapitole 5.3.3.1.

## **5.5 Využití jednotlivých vytríděných složek**

Využití jednotlivých složek je rozdílné v každém scénáři vytěžování (kapitola 4.2). Pro využití jednotlivých složek je uvažováno s externími firmami, zabývající se likvidací a recyklací specifických druhů odpadů.

### **5.5.1 Recyklace**

Vytríděné recyklovatelné složky – železné a neželezné kovy, elektro odpad, sklo a keramika jsou v obou scénářích (č. 3 a č. 4) využívány stejně – prodány oprávněné osobě k recyklaci. Recyklací budou jednotlivé složky přepracovány na materiály a výrobky, pro původní nebo jiné účely.

### **5.5.2 Využití inertní frakce**

Inertní frakce, která je oddělena od odpadu v bubnovém sítu tvoří největší část vytríděného odpadu. Inertní frakce nemá kvůli své různorodosti energetické či materiálové využití. Možné další třídění, by mohlo rozšířit možnosti využití této složky, avšak je uvažováno, že tato inertní frakce bude znovu skládkována nebo použita jako technologické zabezpečení skládky.

### **5.5.3 Scénář č. 3 – TAP / ZEVO**

Scénář č. 3 uvažuje s využitím zbylého – nevytríděného odpadu jako tuhého alternativního paliva pro spalování v zařízeních energetického využití odpadů (ZEVO) nebo spolu spalování v cementárnách. Požadavky na TAP jsou uvedeny v tabulce 20.

**Tabulka 20 - Požadavky na TAP**

<b>Parametr</b>	<b>Hodnota</b>
<b>Výhřevnost [GJ.t<sup>-1</sup>]</b>	Minimálně 17
<b>Vlhkost [% hm.]</b>	Maximálně 15
<b>Popeloviny [% hm.]</b>	Maximálně 15
<b>Obsah chloru [% hm.]</b>	<1
<b>Obsah rtuti [ppm.]</b>	Maximálně 2
<b>Rozměry [mm]</b>	60 x 60

Zdroj 38 - [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty\\_po8\\_opzp\\_2007\\_2013/\\$FILE/OODP-4\\_6\\_MZP\\_FIN-20160810.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/projekty_po8_opzp_2007_2013/$FILE/OODP-4_6_MZP_FIN-20160810.pdf))

Dle požadavků na TAP je patrné, že drtící zařízení bude nastaveno na rozměry 60 x 60 mm. Proměnlivé složení komunálního odpadu umístěného ve skládce, by z praktického hlediska mohlo narušovat proces spalování v ZEVO. Především ale kvůli omezené kapacitě ZEVO v ČR, je veškeré TAP vyrobené v ČR spolu spalováno v cementárnách. Z tohoto důvodu bude pro uplatnění koncového využití TAP, využíváno pouze cementáren, kde navíc dochází k větším teplotám spalování (až 1200 °C) a tedy menším možnostem tvorby škodlivých emisí. Při odtěžování jednotlivých sekcí, by mělo dojít k certifikaci TAP, kvůli zjištění nutných požadavků. Dle Českého Hydrometeorologického ústavu, se v ČR nachází celkem pět cementáren spolu spalující TAP pro výrobu cementu. Vyhovující cementárny jsou uvedeny spolu s kapacitami v tabulce 21.

**Tabulka 21 - Cementárny v optimální vzdálenosti od řešené skládky**

<b>Cementárna</b>	<b>Dojezdová vzdálenost [km]</b>	<b>Kapacita spalovaného odpadu za rok 2018 [t]</b>	<b>Množství spalovaného odpadu za rok 2018 [t]</b>
<b>Cementárna 1</b>	60	88 000	17 079
<b>Cementárna 2</b>	80	100 000	90 000
<b>Cementárna 3</b>	85	85 000	82 294

Zdroj 39 - (<http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/index.html>)

Tabulka 21 ukazuje, že množství spalovaného odpadu v cementárnách v roce 2018, nedosáhlo maximálního množství a dá se tedy předpokládat možnost odbytu TAP do tohoto sektoru. Volné množství v optimální vzdálenosti od řešené skládky je 83 627 tun za rok. Možné změny v odpadovém hospodářství by měli přinést nové kapacity pro spalování TAP.

#### 5.5.4 Scénář č. 4 – zplyňování

Zplyňování odpadů je nejpokročilejší termické zpracování odpadů. Současně se jedná o finančně náročný způsob zpracování odpadů s menšími kapacitami, než je běžné termické zpracování (oxidace). Je tedy patrné, že pro proces vytěžování odpadů v technologicky nejvyspělejších scénáři č. 4, bude zplyňovací jednotka finančně nejnáročnější částí projektu.

Zplyňování je soubor procesů (sušení, pyrolýza, redukce a oxidace). Obecně je zplyňování thermochemická přeměna materiálu ve výhřevný, energeticky využitelný plyn, který obsahuje výhřevné složky  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CH_4$ , pomocí tepla a zplyňovacího média. Vstupním materiálem do zplyňovacích jednotek je před upravený KO nebo TAP. Materiál je před vstupem do zplyňovací komory zpravidla homogenizován. Procesy zplyňování lze rozdělit na endotermní – spotřebovávající teplo (sušení, pyrolýza a redukce) a exotermní – vytvářející teplo (oxidace). Teplo pro endotermní procesy lze získat z oxidace vzniklého plynu (autotermní zplyňování) nebo exotermním přívodem (alotermní zplyňování).

Aktuální zplyňovací jednotky jsou charakterizovány malými výkony. Jednotky lze využít v modulárním řešení a kapacitu tak mnohonásobně zvýšit. Modulární řešení však markantně zvýší cenu celé koncovky pro nevytříděný odpad a je tedy nutné hledat specifické řešení, na míru pro požadované množství odpadu. Pro modulární řešení lze využít „ $\pi$ “ technologii od firmy Wastereg. Při této technologii dochází ke zplyňování při 330 °C a následné oxidaci při 900 °C. Kapacita zplyňovací jednotky je 24 tun za den. Při uvážení dvanácti hodinové směny, bude dle tabulky 19 nutné za den zpracovat 192 tun TAP, tzn. využít až 8 modulů pro zplyňování. (*wastereg.com*)

Obdobou zplyňování je plasmové zplyňování. Tento typ zplyňování využívá plazmový hořák, složený z grafitových elektrod. Mezi elektrodami vzniká elektrický oblouk, na který je přiváděn plazmový plyn (argon, dusík nebo vzduch). Plazmový plyn je transformován na plazmu, s teplotou od 2 000 do 10 000 °C. V plazmovém oblouku dochází k přeměně organické a částečně anorganické složky odpadu na plyny a kapalné sloučeniny. Kromě zplyňovacích procesů dochází v reaktoru i k vitifikaci (zeskelnění) strusky (tuhý

anorganický zbytek). Vzniklý syntézní plyn je tvořen především vodíkem a oxidem uhelnatým a je využíván v kogenerační výrobě elektrické energie a tepla. Vzniklá sklovitá tavenina – vitrifikát, nemá nebezpečné vlastnosti kvůli vázání nebezpečných látek uvnitř krystalické mřížky. Plasmové zplyňování se tedy jeví jako nejlepší způsob zplyňování nevytříděného zbylého odpadu. Pro účely tohoto projektu lze využít plazmový reaktor od firmy Westinghouse Plasma Corporation, světového lídra v oboru plazmového zplyňování odpadů. Kapacita těchto reaktorů je až 750 tun odpadu za den. Výhodou využití plazmového reaktoru je možnost vybudování zařízení v areálu skládky a tedy snížení nákladů za dopravu TAP do cementáren (scénář č. 3). (pgpt.cz)

**Tabulka 22 - Základní údaje o plazmovém reaktoru**

<b>Typ zařízení</b>	<b>Plazmový reaktor (Westinghouse Plasma Corporation)</b>
<b>Výkonnost zařízení [t.den<sup>-1</sup>]</b>	až 750

Zdroj 40 - (<http://www.pgpt.cz/cz/plazmova-technologie/plazmovy-reaktor-wpc.html>)

## **5.6 Ekonomické, environmentální a sociální zhodnocení vytěžování**

ELMT porovnává 9 dílčích scénářů, které se shodují s řešeným scénářem č. 4 (kapitola 4.2). Vzhledem k tomu, že v ELMT je jako koncové využití TAP zplyňování, je z ekonomického a environmentálního zhodnocení vyřazen návrh využívání TAP v cementárnách (scénář č. 3). Navržený scénář č. 4 bude porovnán s dílčími scénáři ELMT. Dílčí scénáře se liší především v uspořádání jednotlivých částí procesů (tj. předsažením separace kovů před drtičem), způsobem separace skla (větrný nebo balistický separátor) a množstvím separátorů železných a neželezných kovů. Porovnání jednotlivých scénářů je uvedeno v příloze 6, kde je patrné, že navržený proces vytěžování je identický s dílčím scénářem 7.

### **5.6.1 Ekonomické zhodnocení**

Ekonomické hledisko je nejdůležitějším faktorem pro rozhodování o vytěžování skládky a je prvotním předkládaným dokumentem investorovi. Ekonomické zhodnocení je složeno z nákladů a zisků. Je patrné, že pro zahájení projektů vytěžování odpadů musí zisky převyšovat náklady. Následující tabulka 23 ukazuje přehled nákladů a zisků z vytěžování skládky odpadů.

**Tabulka 23 - Přehled nákladů a zisků**

<b>Náklady</b>	<b>Detail</b>
<b>Investice</b>	Investice do mechanizace a infrastruktury CAPEX – 778 327 536 [Kč]
<b>Provoz</b>	Provozní náklady na energie a zaměstnance OPEX – 2 253 440 399 [Kč]
<b>Náhrady</b>	Náhrady strojů a zařízení po konci jejich životnosti
<b>Náklady na odstranění</b>	Náklady na odstranění materiálů, které nelze prodat
<b>Kapitálové náklady</b>	Pokud je investice hrazena z úvěru – úrokové náklady
<b>Zisk</b>	<b>Detail</b>
<b>Recyklovatelné složky</b>	Zisk z prodeje vytríděných recyklovatelných složek 536 948 352 [Kč]
<b>TAP</b>	Prodej elektřiny z TAP 2 154 053 064 [Kč]
<b>Zbytková cena</b>	V případě ukončení provozu před koncem životnosti strojů

**Zdroj 41 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)**

Hlavními předpoklady pro ekonomicky udržitelné vytěžování skládky je prodej jednotlivých vytríděných složek (kovy, elektro odpad, sklo, TAP). Proto je důležitým faktorem složení odpadu uvnitř tělesa skládky (tabulka 6). Ceny jednotlivých vytríděných složek jsou v nástroji dle Londýnské burzy drahých kovů (London Metal Exchange), stanoveny jako průměrné hodnoty v roce 2019. Vstupní údaje do ELMT (Enhanced Landfill Mining Toolkit) jsou shrnuty v tabulce 24.

**Tabulka 24 - Vstupní údaje do ELMT**

<b>Vstupní údaj</b>	<b>Zdroj</b>
<b>Celkové množství odpadu ve skládce</b>	Rovnice /6/
<b>Celková plocha skládky</b>	Kapitola 4.1
<b>Složení odpadu v tělese skládky</b>	Tabulka 6
<b>Množství obyvatel v okolí jednoho kilometru od skládky</b>	Provozní řád
<b>Vzdálenost z tělesa skládky k třídění</b>	Kapitola 5.3.3
<b>Vzdálenost z areálu skládky do zařízení pro využívání TAP (cementárna)</b>	Tabulka 21
<b>Vzdálenost z areálu skládky do zařízení pro využívání TAP (zplyňování)</b>	Realizace v areálu skládky
<b>Cena vytríděných složek</b>	London Metal Exchange

ELMT zahrnuje veškeré operace navržené v této práci (vytěžování, třídění na bubnovém sítu, ruční třídění, drcení, separace kovů a skla, využití TAP). ELMT rozděluje ekonomické zhodnocení na dvě části – nejlepší a nejhorší případ. V nejlepším případě má provozovatel vytěžování skládky již k dispozici veškeré zařízení a mechanizaci. V nejhorším případě je nutná investice do všech částí procesu. Ceny jednotlivých zařízení a provozních údajů jsou dle ELMT (2017). Výsledky ekonomického zhodnocení jsou uvedeny v kapitole 5.6.3.

### **5.6.2 Environmentální a sociální zhodnocení**

Environmentální a sociální zhodnocení slouží k porovnání vlivů, dílčích scénářů v ELMT, na životní prostředí, resp. na sociální prostředí v okolí skládky. ELMT přidává každé operaci jednotlivé faktory, které ovlivňují životní a sociální prostředí v okolí skládky. Čím více jednotlivý proces ovlivňuje životní nebo sociální prostředí v okolí skládky, tím větší faktor daný proces obsahuje, v opačném případě je procesu přidán záporný faktor. Součet jednotlivých faktorů pro všechny procesy v daném dílčím scénáři je výsledkem environmentálního, resp. sociálního zhodnocení. Následné porovnání dílčích scénářů (příloha 6) ukazuje environmentálně a sociálně nejlepší dílčí scénář (nejmenší součet

faktorů) a nejhorší scénář (nejvyšší součet faktorů). Jednotlivé porovnávané faktory jsou uvedeny v tabulce 25.

**Tabulka 25 - Environmentální faktory**

<b>Environmentální faktory</b>	
<b>Název dle ELMT</b>	Český ekvivalent
<b>Greenhouse gases</b>	Skleníkové plyny
<b>Particulate matter</b>	Částice
<b>Odour</b>	Zápach
<b>Volatile organic compounds</b>	Těkavé organické sloučeniny
<b>NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub></b>	Oxidy dusíku a síry
<b>Water contamination</b>	Kontaminace vody
<b>Soil contamination</b>	Kontaminace půdy
<b>Biota</b>	Nebezpečí kontaminace potravy těžkými kovy
<b>Noise</b>	Hluk
<b>Waste production</b>	Produkce odpadů
<b>Metal recovery</b>	Znovuzískání kovů
<b>Plastics, paper, textile recovery</b>	Znovuzískání plastů, papíru a textilu
<b>Sociální faktory</b>	
<b>Název dle ELMT</b>	Český ekvivalent
<b>Human health risk</b>	Riziko pro lidské zdraví
<b>Nuisance on neighbourhood</b>	Obtěžování okolí
<b>Community involvement</b>	Zapojení společnosti
<b>Ethical considerations</b>	Etické úvahy
<b>Uncertainty, evidence of sustainability</b>	Nejistota, důkaz udržitelnosti

**Zdroj 45 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)**

Výsledky environmentální a ekonomického zhodnocení jsou uvedeny v kapitole 5.6.3.

### **5.6.3 Výsledky ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení**

Jednotlivé výsledky z ELMT porovnávají rozdílné dílčí scénáře (příloha 6). Nejdůležitější jsou výsledky dílčího scénáře č. 7, který je stejný jako navržený proces pro konkrétní řešenou skládku.

Jako parametr pro ekonomické zhodnocení je zvolen čistý příjem, složený z rozdílu příjmů a nákladů. Nejlepší případ nezapočítává nutné investice do jednotlivých zařízení a zanedbává transport materiálu. Je tedy tvořen pouze z OPEX nákladů. Výsledky jednotlivých dílčích scénářů pro jednotlivé parametry jsou v tabulce 26.

**Tabulka 26 - Výsledky dílčích scénářů při zanedbání nutných investic**

Dílčí scénář	Čistý příjem [Kč]		Environmentální skóre	Sociální skóre
	Nejlepší případ	Nejhorší případ		
<b>1</b>	-490 548 518	- 20 429 036 941	2	1
<b>2</b>	-147 631 020	-23 130 297 543	28	-3,55
<b>3</b>	-196 937 765	-21 923 421 425	26,75	-4,975
<b>4</b>	420 619 591	-22 369 077 444	25	-4,125
<b>5</b>	602 269 544	-22 218 183 543	23,75	-5,55
<b>6</b>	444 132 488	-1 333 193 239	26	-4,55
<b>7</b>	<b>437 637 692</b>	<b>-1 363 855 854</b>	<b>24,75</b>	<b>-5,975</b>
<b>8</b>	1 267 508 444	-1 615 323 152	23	-5,125
<b>9</b>	1 260 936 989	-1 635 306 749	21,75	-6,55

**Zdroj 45 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)**

Čistý příjem je vypočítán dle rovnice č. /23/. Pro dílčí scénář č. 7 je v rovnici č. /25/ počítáno dle ELMT s 84 235,9 tunami železa a 5442,8 tunami nečistého železa. Prodejní ceny železa jsou dle letsrecycle.com 3408 resp. 45 923 Kč.t<sup>-1</sup>. Celkový zisk z prodeje recyklovatelného materiálu (WtM) je dle rovnice č. /25/ 537 025 652 Kč.

V rovnici č. /26/ uvažováno s cenou el. energie 3 240 Kč.MWh<sup>-1</sup> (*ec.europa.eu*)

Celková produkce el. energie je dle rovnice č. /27/ rovna 664 831 MWh. Dle Danthurebandara (2015) je účinnost zplyňování 27 % a výhřevnost TAP 20 MJ.t<sup>-1</sup>. Zisk z prodeje elektrické energie (WtE) je tedy podle rovnice č. /27/ 2 154 052 440 Kč. Celkový zisk vytěžování je v nejlepší případě dle rovnice č. /24/ 2 691 078 092 Kč. Náklady spojené s vytěžováním skládky jsou v ELMT počítány dle rovnice č. /28/. V nejlepší případě jsou zanedbány hodnoty investic (CAPEX), v nejhorším jsou započítány. Pro navržený dílčí scénář č. 7 jsou OPEX náklady na těžbu a třídění dle Forda (2013) a náklady na zplyňovací proces dle Danthurebandara (2015) rovny 2 253 440 400 Kč (pro nejlepší i nejhorší scénář). Celkový čistý příjem dle rovnice č. /23/ je 437 637 692 Kč. V nejhorším případě ELMT



kalkuluje v rovnici č. /26/ s menší cenou el. energie (1920 Kč.MWh<sup>-1</sup>) a menšími cenami prodeje kovů (3120 Kč.t<sup>-1</sup> pro železné a 43 848 Kč.t<sup>-1</sup> pro neželezné kovy). Celkový zisk v nejhorším případě je tedy dle rovnice č. /24/ roven 1 778 052 960 Kč. CAPEX náklady pro nejhorší případ jsou dle Forda (2013), Danthurebandara (2015) a Wolfsbergera (2015) rovny 778 327 542 Kč. V nejhorším případě jsou započítány i OPEX náklady na transport dle Danthurebandara (2015), které jsou rovny 110 140 872 Kč. Celkový příjem v nejhorším případě je dle rovnice č. /23/ -1 363 855 854 Kč.

Jednotlivé hodnocení (včetně environmentálního a sociálního) dílčích scénářů je vypočítáno dle rovnice /29/ a znázorněno v tabulce 27. Vstupními daty pro výpočet faktorů dle rovnice /29/ jsou údaje z ELMT. V tabulce je tučně vyznačen navržený proces – dílčí scénář č. 7.

**Tabulka 27 - Hodnocení jednotlivých dílčích scénářů**

<b>Dílčí scénář</b>	<b>Ekonomické zhodnocení</b>	<b>Environmentální zhodnocení</b>	<b>Sociální zhodnocení</b>
1	0	100	0
2	20	0	60
3	17	5	79
4	52	12	68
5	62	16	87
6	53	8	74
<b>7</b>	<b>53</b>	<b>13</b>	<b>92</b>
8	99	19	81
9	100	24	100

**Zdroj 45 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)**

Výsledky ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení z tabulky 27, jsou graficky znázorněny v příloze 7.

## 6 Diskuse

Navržená technologie pro zpracování vytěženého odpadu je na základě statistických údajů o složení tělesa skládky dle ELMT. Pro realizaci projektu a jeho přesného zhodnocení je nutné provést důkladnou analýzu složení odpadu uvnitř tělesa skládky, která nebyla kvůli možnostem na řešené skládce provedena. Využití evidence přijímaných odpadů je na základě základního popisu odpadu, který je předkládán pouze při prvním návozu na skládku. Je zřejmé, že se skladba odpadu v průběhu návozů liší. Přímý rozbor odpadů částečným vytěžením nebo kontrolním vrtem je nezbytný pro určení přesného složení odpadu, a tedy ekonomického přínosu vytěžování. Z ekonomického zhodnocení vytěžování konkrétní skládky odpadů, dle statistického složení odpadu, je z navrženého procesu patrný zisk 437 561 034 Kč. V porovnání s ostatními dílčími scénáři v ELMT, které se liší především množstvím a uspořádáním jednotlivých prvků procesu, nedosahuje navržený scénář nejlepších výsledků ani v jedné hodnocené kategorii. Nejvyššího ekonomického zisku dosahuje dílčí scénář č. 9, který místo řešeného balistického separátoru využívá separátor vzduchový. Zjištěné výsledky z ELMT se nezabývají nutnými investicemi do jednotlivých částí linek. Při uvážení investice do jednotlivých částí procesu, především zplyňovací jednotky, je možné, že investice budou větší než zisk. V tomto případě je pro realizaci tohoto scénáře nutné hledat optimální řešení pro využití jednotlivých složek, nebo využívat vytěžování pouze ke snižování zátěže na životní prostředí.

Zhodnocení pomocí ELMT se nezabývá scénářem č. 3, který využívá nevytříděné složky jako tuhé alternativní palivo. Ekonomická nenáročnost výstavby zplyňovací jednotky by měla pozitivní vliv na celkový zisk z procesu. Environmentální a sociální dopad by byl, kvůli nutnému transportu do některé ze zmíněných cementáren, větší než u scénáře č. 4. Scénář č. 3 však neuvažuje s nutnou úpravou vytríděného tuhého paliva, tj. značná homogenizace nebo výroba pelet pro lepší spalování. Výroba certifikovaného paliva se vzhledem k měnícímu se složení dle jednotlivých sekcí jeví jako neproveditelná pro celou dobu vytěžování. Je ale možné uvažovat o certifikaci paliva pro jednotlivé sekce skládky.

Jako největší problém procesu třídění se projevuje výkonnost ručního třídění, kterou nelze předem, při navrhování celé technologie, jednoznačně určit. Je tedy nutné při návrhu dbát na možnosti zvětšování výkonnosti. Výkonnost lze zvětšovat množstvím pracovníků a je tedy nezbytné dostatečně dimenzovat třídící kabinu. Výkonnost může být zvýšena úpravou rychlosti třídícího dopravníku. Úprava rychlosti třídícího dopravníku může být

provedena pomocí frekvenčního měniče jednotlivých elektromotorů, které pohánějí dopravník.

Proces vytěžování je optimalizovaný s ohledem na výkonnost třídícího procesu. V případě potřeby zvýšení celkové výkonnosti, nebo využití návrhu na jiné skládce, je možné určit jiný druh rypadla (výkonnější), případně použít více rypadel, nebo zvýšit počet odvozů z tělesa skládky ke složišti před třídícím procesem. Je ale nutné brát ohled na velikost složiště odpadů a na velikost odvozových prostředků.

## 7 Závěr

Jednoduchost procesu skládkování, oproti jiným technologiím, které se zabývají odstraňováním odpadů, zapříčinila velké množství skládek nejen na území ČR. Možných skládek pro vytěžení je v EU nespočet. Tyto skládky, především ty starší, které vznikly v době kdy nebyl zaveden dostatečný separovaný sběr, představují velké sklady kovů a jiných, dnes využitelných materiálů.

Vytěžování skládek odpadů se jeví jako udržitelný a ekologický proces zbavování se skládek odpadů. Vytěžování lze použít jak pro staré ekologické zátěže, tak pro novější řízené skládky. Rozvoj společnosti a jejich materiálových nároků má za následek postupný nárůst ve spotřebě primárních surovin. Zásoby vzácných kovů a jiných surovin postupně docházejí a je tedy nutné hledat jiné alternativy jejich získávání. I proto lze očekávat velký rozvoj v recyklaci těchto materiálů. Jednou z možností recyklace již vytvořeného odpadu je jeho vytěžení ze skládky, kde je trvale uložen, bez další možnosti využití. Recyklační cíle Evropské unie již zapříčinili vznik pilotních programů vytěžování skládek odpadů. Tyto projekty, které jsou prováděny v Německu, Řecku a Belgii ukazují, že vytěžování skládky je ekonomicky udržitelné a eliminuje možné znečištění životního prostředí v okolí skládky.

Sociální přínos vytěžování skládky, tedy jejího odstranění, nesmí být opomenut. Sociální aktivity proti rozšiřování stávajících, či výstavbě nových skládek jsou markantní. Rozvoj společnosti v otázkách ekologie a ochrany životního prostředí je i s ohledem na změnu klimatu značný a provozovatelé skládek a jimi zabývající se orgány tento rozvoj nesmí opomíjet. I přes značné environmentální přínosy vytěžování je však nutné udržovat ekonomickou udržitelnost těchto projektů a nepodléhat tlaku ekologických aktivistů. Vzorem v těchto ekologických otázkách nám můžou být například skandinávské státy, které se o životní prostředí starají ve světovém měřítku nadstandardně. Tyto státy dokážou mezi ekonomickou udržitelností a environmentálně-sociálním přínosem zajistit dostatečnou sounáležitost, která zajišťuje přední místa ve světových žebříčcích kvality života.

Cílem této práce bylo analyzovat možnosti využití odpadů ze starých skládek. Cíl byl splněn návrhem celého procesu vytěžování. Dílčí cíle práce byly naplněny porovnáním skladby naváženého odpadu s teoretickým složením odpadu, výběrem sekcí skládky pro možné vytěžení, určením způsobu vytěžování, návrhem procesu třídění vytěženého odpadu, včetně jeho využití a ekonomickým, environmentálním a sociálním zhodnocením.

## Zdroje

Zákon č. 185/2001 Sb., Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů (zákon o odpadech)

Zákon č. 477/2001 Sb., Zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)  
93/2016 Sb. Vyhláška o Katalogu odpadů. Zákony pro lidi - Sběrka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění [online]. Copyright © [cit. 06.10.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-93>

Cirkulární ekonomika. Institut Cirkulární Ekonomiky [online]. Copyright © [cit. 06.10.2019]. Dostupné z: <https://incien.org/cirkularni-ekonomika/>

Historie recyklace odpadu: Kde a kdy to celé začalo? | SIEGL s.r.o. blog. Odvoz odpadu, suti a kontejnery na odpad | SIEGL Praha [online]. Dostupné z: <https://www.siegl.cz/blog/recyklace-odpadu/historie-recyklace-odpadu-kde-a-kdy-to-cele-zacalo>

MALAŤÁK, Jan and Petr VACULÍK. Technologická zařízení staveb odpadového hospodářství, zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Prague: Czech University of life sciences, 2008. ISBN 978-80-213-1747-5.

Biologické metody zpracování odpadů. [online]. Dostupné z: [http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze\\_anaerobni\\_digesce.html](http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Faze_anaerobni_digesce.html)

BRANDEJSOVÁ, Eliška a Zdeněk PŘIBYLA. Bioplynové stanice: (zásady zřizování a provozu plynového hospodářství). 2., aktualiz. vyd. Praha: GAS, 2010. ISBN 978-80-7328-228-8.

RYBÍN, Miroslav. Spalování paliv a hořlavých odpadů v ohništích průmyslových kotlů. 2., přeprac. vyd. Praha: SNTL, 1985.

PAŠEK, Josef a Markéta PURMOVÁ. K vývoji skládkování a odpadových technologií aneb něco historie neuškodí. *Envic* [online]. Plzeň [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <http://www.envic.cz/k-vyvoji-skladkovani-a-odpadovych-technologii-aneb-neco-historie-neuskodi.html>

Vyhláška č. 294/2005 Sb., vyhláška o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady.

Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU/1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů. Úřední věstník L 182, 16/07/1999 S. 0001 – 0019. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A31999L0031>

Směrnice Evropského parlamentu a Rady EU/2018/850 ze dne 30. května 2018 o skládkách odpadů, kterou se mění směrnice 1999/31/ES o skládkách odpadů. Úřední věstník L 150,100. Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/?uri=CELEX%3A32018L0850>

KURAŠ, Mečislav. Odpady a jejich zpracování. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.

KURAŠ, Mečislav. Odpady, jejich využití a zneškodňování. Praha: Český ekologický ústav, 1994. ISBN 80-85087-32-4.

Černé skládky – co skrývají a jak je řešit? - Samosebou.cz. Úvod - Samosebou.cz [online]. Copyright © 2019 Samosebou.cz [cit. 14.10.2019]. Dostupné z: <https://www.samosebou.cz/2019/02/28/cerne-skladky-co-skryvaji-a-jak-je-resit/>

ZmapujTo - nástroj pro nahlášení problémů ve Vašem okolí či podnětů na zlepšení. ZmapujTo - nástroj pro nahlášení problémů ve Vašem okolí či podnětů na zlepšení [online]. Copyright © 2014 www.ZmapujTo.cz [cit. 14.10.2019]. Dostupné z: <http://www.zmapujto.cz/map/list/time>

JURNIK, Alois. Ekologické skládky domovního a průmyslového odpadu: Výstavba, provoz, bezpečnost. Olomouc: Alda, 1994. ISBN 80-85600-32-3.

VÁŇA, Jaroslav, Aleš HANČ a Jan HABART. Pevné odpady 2009. Vydání třetí, přepracované. V Praze: Česká zemědělská univerzita, 2009. ISBN 978-80-213-1992-9.

MALÝ, Josef a Jan ŠÁLEK. Vodní hospodářství skládek domovního odpadu a čištění průsakových vod: vypracováno s podporou Grantové agentury ČR v rámci řešení grantového úkolu 103/00/0095. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-214-2296-3.

WILLIAMS, Paul T. Waste treatment and disposal. 2nd ed. Hoboken, NJ, USA: Wiley, c2005. ISBN 0-470-84912-6.

ATSDR - Landfill Gas Primer - Chapter 2: Landfill Gas Basics. Agency for Toxic Substances and Disease Registry [online]. Dostupné z: <https://www.atsdr.cdc.gov/HAC/landfill/html/ch2.html>

ČSN 83 8034: Skládání odpadů – Odplynění skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

ČSN 83 8030: Skládání odpadů – Základní podmínky pro navrhování, výstavbu a provoz skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

ČSN 83 8033: Skládání odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

ČSN 83 8032: Skládání odpadů – Těsnění skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

ČSN 83 8035: Skládání odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

ČSN 83 8036: Skládkování odpadů – Monitorování skládek. Praha: Státní normalizační institut, 2018

CÁB, Stanislav a Martina ŠEDĚNKOVÁ. Tzb-info [online]. Vědecko-výzkumný uhelný ústav Ostrava, 2018 [cit. 2020-01-15]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/18395-rizika-vzniku-a-kumulace-horlavych-plynu-pri-skladkovani-odpadu>

TOWNSEND, Timothy G., Jon POWELL, Pradeep JAIN, Qiyong XU, Thabet TOLAYMAT a Debra R. REINHART. Sustainable practices for landfill design and operation. New York: Springer, [2015]. Waste management principles and practice. ISBN 9781493926619.

Skládkový plyn. [online]. Copyright © 2009 BIOMASS TECHNOLOGY. All Rights Reserved. [cit. 19.10.2019]. Dostupné z: [http://biomasstechnology.cz/wp/?page\\_id=239](http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=239)

Kogenerace - TZB-info. Energetika - TZB-info [online]. Copyright © Copyright [cit. 19.10.2019]. Dostupné z: <https://energetika.tzb-info.cz/kogenerace>

FILIP, Jiří, Jana KOTOVICOVÁ a František BOŽEK. Komunální odpad a skládkování. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2003. ISBN 80-7157-712-X.

ALTMANN, Vlastimil a Miroslav RŮŽIČKA. Technologie a technika skládkového hospodářství. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1996. Phare. ISBN 80-7078-355-9.

Skládkování odpadů z hlediska zákona o odpadech a jeho prováděcích právních předpisů [online]. Dostupné z: [https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz\\_cast.pl?cast=1471](https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/zobraz_cast.pl?cast=1471)

Odpady a recyklace – co se skládkou dál? | Katedra hydromelioraci a krajinného inženýrství [online]. Copyright © [cit. 29.10.2019]. Dostupné z:



[http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/ODKO/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/05-Uzavirani\\_skladky%2Bplyn.pdf](http://storm.fsv.cvut.cz/data/files/p%C5%99edm%C4%9Bty/ODKO/P%C5%99edn%C3%A1%C5%A1ky/05-Uzavirani_skladky%2Bplyn.pdf)

Hierarchical Structures - Visual Organisational Charts For All Categories [online]. Dostupné z: <https://www.hierarchystructure.com/waste-management-hierarchy>

Stroje Caterpillar - Rýpadla | Zeppelin CZ s.r.o.. *302 Moved Temporarily* [online]. Copyright © [cit. 07.12.2019]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/cs/site/stroje-caterpillar/cat-detail-produktu.htm?idCategory=13045802>

MARŠÁL, Petr. Stavební stroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2774-4.

Návrh základních stavebních strojů pro zemní práce. Časopis SILNICE ŽELEZNICE - Rozvoj dopravní infrastruktury v České republice, na Slovensku i ve světě, moderní trendy, stavební postupy, používané materiály a technologie. [online]. Copyright © Copyright 2002 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/navrh-zakladnich-stavebnich-stroju-pro-zemni-prace/>

Cat 310 - Stroje Caterpillar - Rýpadla - Pásová rýpadla | Zeppelin CZ s.r.o.. *302 Moved Temporarily* [online]. Copyright © [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <https://zeppelin.cz/online-katalog/stavebni-stroje-caterpillar/rypadla/pasova-rypadla/mini-rypadla-0-9-az-9-tun/cat-310>

6x6 TŘÍSTRANNÝ SKLÁPĚČ :: Tatra.cz. TATRA VÁS DOSTANE DÁL [online]. Dostupné z: <https://www.tatra.cz/nakladni-automobily/tatra-phoenix/dalsi-vozy/6x6-tristranny-sklapec/>

Vosting. Vosting [online]. Copyright © 2016 [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: <http://vosting.cz/>

Komatsu Wheel Loader WA470-8 | Komatsu. [online]. Dostupné z: <https://www.komatsu.eu/en/wheel-loaders/wheel-loaders/wa470-8>

Doppstadt.com: Product Details. Doppstadt.com: Doppstadt.com [online]. Dostupné z: <https://doppstadt.de/en/products/smart-screening/trommel-line/product-details/product/sst-518/>

Cyklónový odlučovač pro separaci prachu - katalog GIDLY. GIDLY - Výroba průmyslových filtračních jednotek [online]. Copyright © [cit. 11.12.2019]. Dostupné z: <https://www.gidly.cz/produktove-skupiny/cyklonove-odlucovace-prachu/>

POLÁK, Jaromír a Aleš SLÍVA. *Dopravní a manipulační zařízení III*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0963-X.

Oddělení emisí a zdrojů - Seznam spaloven odpadů v ČR. Portál ČHMÚ : Home [online]. Dostupné z: <http://portal.chmi.cz/files/portal/docs/uoco/oez/emise/spalovny/index.html>

Home | Waste. Home | Waste [online]. Copyright © 2019 by WasteReg LG [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: <https://www.wastereg.com/>

Plazmový reaktor od firmy Westinghouse Plasma Corporation | Pgpt.cz. Technologie plazmového zplyňování | Pgpt.cz [online]. Dostupné z: <http://www.pgpt.cz/cz/plazmovy-reaktor-wpc.html>

SMART GROUND | Home [online]. Copyright © [cit. 31.12.2019]. Dostupné z: [http://www.smart-ground.eu/download/tk/EW\\_toolkit\\_English.pdf](http://www.smart-ground.eu/download/tk/EW_toolkit_English.pdf)

301 Moved Permanently. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <http://www.letsrecycle.com/prices/metals/ferrous-metal-prices/ferrous-scrap-metal-prices-2017/>

301 Moved Permanently. 301 Moved Permanently [online]. Dostupné z: <http://www.letsrecycle.com/prices/metals/non-ferrous-metal-prices/non-ferrous-metal-prices-2017/>

[online]. Dostupné z: [http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity\\_prices\\_for\\_household\\_consumers,\\_second\\_half\\_2015\\_\(%C2%B9\)\(EUR\\_per\\_kWh\)\\_YB16-fr.png](http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/File:Electricity_prices_for_household_consumers,_second_half_2015_(%C2%B9)(EUR_per_kWh)_YB16-fr.png)

DANTHUREBANDARA, Maheshi, Steven VAN PASSEL, Ive VANDERREYDT a Karel VAN ACKER. Assessment of environmental and economic feasibility of Enhanced Landfill Mining. 2015. Článek. Department of Materials Engineering, KU Leuven, Kasteelpark Arenberg 44, 3001 Leuven, Belgium.

WRAP - Circular Economy & Resource Efficiency Experts [online]. Copyright © [cit. 28.02.2020]. Dostupné z: [http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Feasibility%20and%20Viability%20of%20LFMR%20Scotland%20190413\\_0.pdf](http://www.wrap.org.uk/sites/files/wrap/Feasibility%20and%20Viability%20of%20LFMR%20Scotland%20190413_0.pdf)

Wolfsberger, T., Aldrian, A., Sarc, R., Hermann, R., Höllen, D., Budischowsky, A., et al. (2015b). Landfill mining:: Resource potential of Austrian landfills-Evaluation and quality assessment of recovered municipal solid waste by chemical analyses. Waste management & research : the journal of the International Solid Wastes and Public Cleansing Association

## Seznam obrázků

Obrázek 1 - Hierarchie nakládání s odpady .....	7
Obrázek 2 - Cirkulární ekonomika .....	8
Obrázek 3 - Typy skládek ve vztahu k terénu .....	14
Obrázek 4 - Podloží skládky .....	18
Obrázek 5 - Těsnicí systém skládky S – OO .....	19
Obrázek 6 - Ukončení PEHD fólie .....	21
Obrázek 7 - Perforace drenážních trubek .....	25
Obrázek 8 - Degradace organických odpadů ve skládce .....	30
Obrázek 9 - Fáze vzniku skládkového plynu.....	32
Obrázek 10 - Coward - Jonesův diagram.....	34
Obrázek 11 - Vliv přejezdů kompaktoru na objemovou hmotnost odpadu.....	41
Obrázek 12 - Uzavírací vrstvy skládky.....	43
Obrázek 13 - Rozdělení scénářů podle finančního a environmentálního zatížení.....	57
Obrázek 14 - Koncept vytěžování skládky odpadů .....	59
Obrázek 15 - Tvorba skládkového plynu v řešené skládce .....	62
Obrázek 16 - Návrh třídícího procesu.....	70
Obrázek 17 – Dávkočep Eggersman BRT – MSW 2-13-22.....	72
Obrázek 18 - Bubnové síto (ilustrační provedení).....	73
Obrázek 19 - Návrh dopravníků u bubnového síta .....	74
Obrázek 20 - Pás Gumex - EP/400/3 Y .....	75
Obrázek 21 - Cyklón CY_001 .....	76
Obrázek 22 - Drtící zařízení HL I 1222 .....	80
Obrázek 23 - Princip kolmého magnetického separátoru nad pásový dopravník.....	81
Obrázek 24 - Princip separátoru neželezných kovů.....	83
Obrázek 25 - Princip balistického separátoru .....	84

## Seznam tabulek

Tabulka 1 - Složení skládkového plynu.....	33
Tabulka 2 - Monitorované parametry .....	37
Tabulka 3 - Zastoupení jednotlivých látek v SKO .....	48
Tabulka 4 - Časové rozlišení jednotlivých sekcí .....	61
Tabulka 5 - Složení SKO naváženého na skládku .....	64
Tabulka 6 - Zastoupení jednotlivých látek ve skládkovém tělese, v sekcích 1 až 16.....	65
Tabulka 7 - Základní údaje o rypadle pro vytěžování odpadu .....	68
Tabulka 8 - Základní údaje o nákladním vozidlu .....	69
Tabulka 9 - Základní údaje o dávkovači odpadu .....	71
Tabulka 10 - Základní údaje o čelním nakladači .....	71
Tabulka 11 - Základní údaje o bubnovém sítu .....	73
Tabulka 12 - Základní údaje o dopravníku a pásu .....	75
Tabulka 13 - Základní údaje o cyklónu .....	76
Tabulka 14 - Výkonnosti aktuálních dopravníků .....	78
Tabulka 15 - Základní údaje o drtiči.....	79
Tabulka 16 - Základní údaje o magnetických separátorech .....	81
Tabulka 17 - Základní údaje o separátoru neželezných kovů.....	83
Tabulka 18 - Základní údaje o balistickém separátoru .....	84
Tabulka 19 - Skladování materiálů a vytríděné kapacity .....	86
Tabulka 20 - Požadavky na TAP .....	88
Tabulka 21 - Cementárny v optimální vzdálenosti od řešené skládky .....	88
Tabulka 22 - Základní údaje o plasmovém reaktoru .....	90
Tabulka 23 - Přehled nákladů a zisků .....	91
Tabulka 24 - Vstupní údaje do ELMT .....	92
Tabulka 25 - Environmentální faktory.....	93
Tabulka 26 - Výsledky dílčích scénářů při zanedbání nutných investic.....	94
Tabulka 27 - Hodnocení jednotlivých dílčích scénářů .....	95

## Seznam použitých zkratek

SKO – Směsný komunální odpad

OO – Ostatní odpad

NO – Nebezpečný odpad

BRO – Biologicky rozložitelný odpad

EU – Evropská unie

ČR – Česká republika

KO – Komunální odpad

ZEVO – Zařízení energetického využití odpadů

BSK – Biologická spotřeba kyslíku

CHSK – Chemická spotřeba kyslíku

KO – Komunální odpad

PEHD – polyethylen high density – vysokohustotní polyethylen

TOC – Total organic carbon – celkový organický uhlík

ELFMC – Enhanced landfill mining concept – vylepšený koncept vytěžování skládky

ELMT – Enhanced Landfill Mining Toolkit – vylepšený nástroj pro vytěžování skládky

ZPO – základní popis odpadu

PŘ – provozní řád

S-NO – skládka nebezpečného odpadu

S-OO skládka ostatního odpadu

S-IO skládka inertního odpadu

GmbH – Gesellschaft mit beschränkter Haftung – společnost s ručením omezeným

ppm – part per milion – počet dílů na jeden milion

TAP – tuhé alternativní palivo

TKO – tuhý komunální odpad

$V_p$  = množství průsakových vod [ $m^3$ ]

$V_s$  = objem srážek [ $m^3$ ]

$V_m$  = objem vody ve skládkovaném odpadu [ $m^3$ ]

Opovr = povrchový odtok [ $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ ]

Opodz = podzemní odtok [ $l \cdot s^{-1} \cdot m^{-2}$ ]

E = výpar do ovzduší [ $m^3$ ]

$V_{ms}$  = množství vody poutané ve skládkovém materiálu [ $m^3$ ]

$\xi E$  = úložná objemová hmotnost [ $dm^3$ ]

w = faktor ukládací techniky

c = hustota volného odpadu [ $t \cdot m^{-3}$ ]

G = hmotnost kompaktoru [t]

m – hmotnost [t]

$\rho$  – objemová hmotnost odpadu [ $t \cdot m^{-3}$ ]

$V_{s,celkem}$  – objem ve vytěžovaných sekcích [ $m^3$ ]

$Q_{teor.ruční\ třídění}$  – teoretická provozní výkonnost ručního třídění [ $m^3 \cdot h^{-1}$ ]

$Q_{\text{teor.rypadlo}}$  – teoretická provozní výkonnost rypadla [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]  
 $V_{\text{lopata.min}}$  – minimální nutný objem lopaty [ $\text{m}^3$ ]  
 $T$  – doba jednoho pracovního cyklu [s]  
 $V_{\text{minimální}}$  – minimální objem lopaty rypadla [ $\text{m}^3$ ]  
 $Q_{\text{teor.zvoleného stroje}}$  – Teoretická výkonnost rypadla [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]  
 $V_{\text{lopata.z}}$  – zvolený objem lopaty [ $\text{m}^3$ ]  
 $T_{\text{přepravy}}$  – celkový čas přepravy [s]  
 $T_{\text{jízdy}}$  – doba jedné jízdy z tělesa skládky k vyprázdnění [s]  
 $T_{\text{vypr}}$  – doba vyprazdňování [s]  
 $T_{\text{korba}}$  – doba plnění korby [s]  
 $V_{\text{korba}}$  – objem korby [ $\text{m}^3$ ]  
 $N_{\text{návozů}}$  – požadované množství návozů za hodinu [-]  
 $N_{\text{odpadu}}$  – celkové množství navezeného odpadu na složiště [ $\text{m}^3$ ]  
 $V_{\text{nakladač}}$  – objem lopaty nakladače [ $\text{m}^3$ ]  
 $Q_{\text{m}}$  – výkonnost dopravníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $S_{\text{T}}$  – teoretický průřez materiálu [ $\text{m}^2$ ]  
 $\rho_{\text{s}}$  – sypná hmotnost [ $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ]  
 $v_{\text{p}}$  – rychlost pásu [ $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $B$  – šířka pásu [m]  
 $\psi_{\text{d}}$  – dynamický sypný úhel [ $^{\circ}$ ]  
 $Q_{\text{p.d.}}$  – výkonnost příjmového dopravníku [ $\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ ]  
 $S_{\text{m.ž}}$  - průřez materiálu ve žlabu [ $\text{m}^2$ ]  
 $S_{\text{třídící pás}}$  – teoretický průřez materiálu na třídícím pásu [ $\text{m}^2$ ]  
 $B_{\text{třídící pás}}$  – šířka třídícího pásu [m]  
 $Q_{\text{t.d.}}$  - výkonnost třídícího dopravníku [ $\text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ]  
 $hm.$  – hmotnost  
 $WtM$  = waste to material (zisk z prodeje materiálů pro recyklaci) [Kč]  
 $WtE$  = waste to energy (zisk z prodeje elektrické energie ze zplyňování) [Kč]

## **Přílohy**

Příloha 1 - Seznam nebezpečných vlastností odpadů .....	II
Příloha 2 - Skládkování EU .....	III
Příloha 3 - Objemy jednotlivých sekcí .....	IV
Příloha 4 - Situace areálu řešené skládky .....	V
Příloha 5 - Ukládání azbestu v jednotlivých sekcích .....	V
Příloha 6 - Scénáře ELMT .....	VI
Příloha 7 - Grafické znázornění výsledků ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení .....	VII

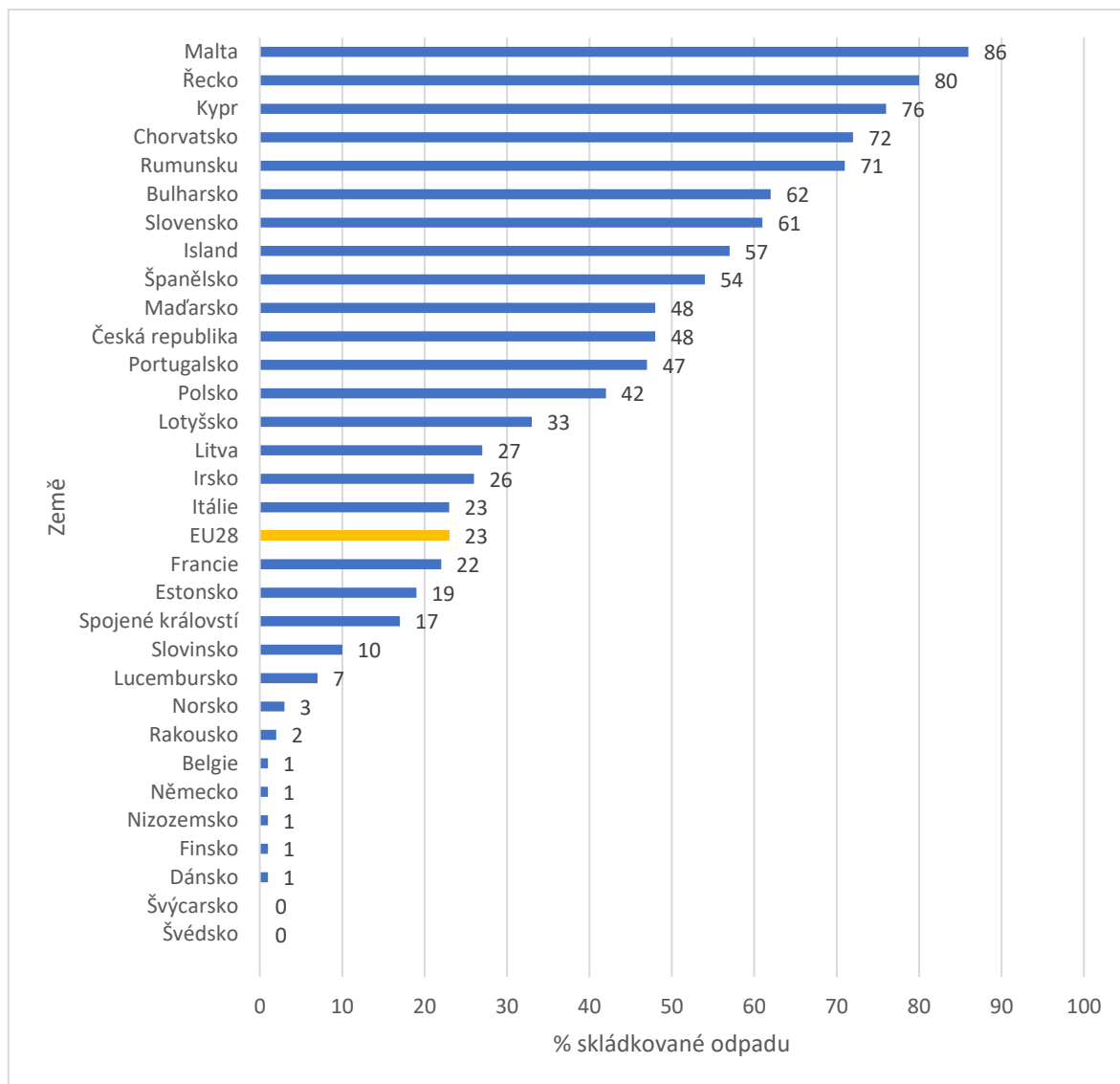


**Příloha 1 - Seznam nebezpečných vlastností odpadů**

Kód	Nebezpečná vlastnost
H1	Výbušnost
H2	Oxidační schopnost
H3-A	Vysoká hořlavost
H3-B	Hořlavost
H4	Dráždivost
H5	Škodlivost zdraví
H6	Toxicita
H7	Karcinogenita
H8	Žíravost
H9	Infekčnost
H10	Teratogenita
H11	Mutagenita
H12	Schopnost uvolňovat vysoce toxické nebo toxické plyny ve styku s vodou, vzduchem nebo kyselinami
H13	Senzibilita
H14	Ekotoxicita
H15	Schopnost uvolňovat nebezpečné látky do životního prostředí při nebo po odstraňování

Zdroj 42 – (Příloha č. 2 zákona č. 185/2001 Sb.)

## Příloha 2 - Skládování EU



Zdroj 43 – (<http://www.cewep.eu/municipal-waste-treatment-2017/>)

**Příloha 3 - Objemy jednotlivých sekcí**

Sekce	Objem [m <sup>3</sup> ]
1	16 000
2	85 000
3	148 000
4	175 000
5	234 000
6	177 000
7	227 000
8	237 000
9	247 000
10	553 000
11	198 000
12	210 000
13	170 000
14	170 000
15	165 000
16	160 000
17	168 000
18	173 000
19	168 000
20	166 000
21	136 000
22	139 000
23	157 000
24	130 000
25	40 000
Celkem	4 449 000

**Zdroj 44 - Provozní řád**

**Příloha 4 - Situace areálu řešené skládky**

Tato příloha je uvedena na zadní straně této práce.

**Příloha 5 - Ukládání azbestu v jednotlivých sekcích**

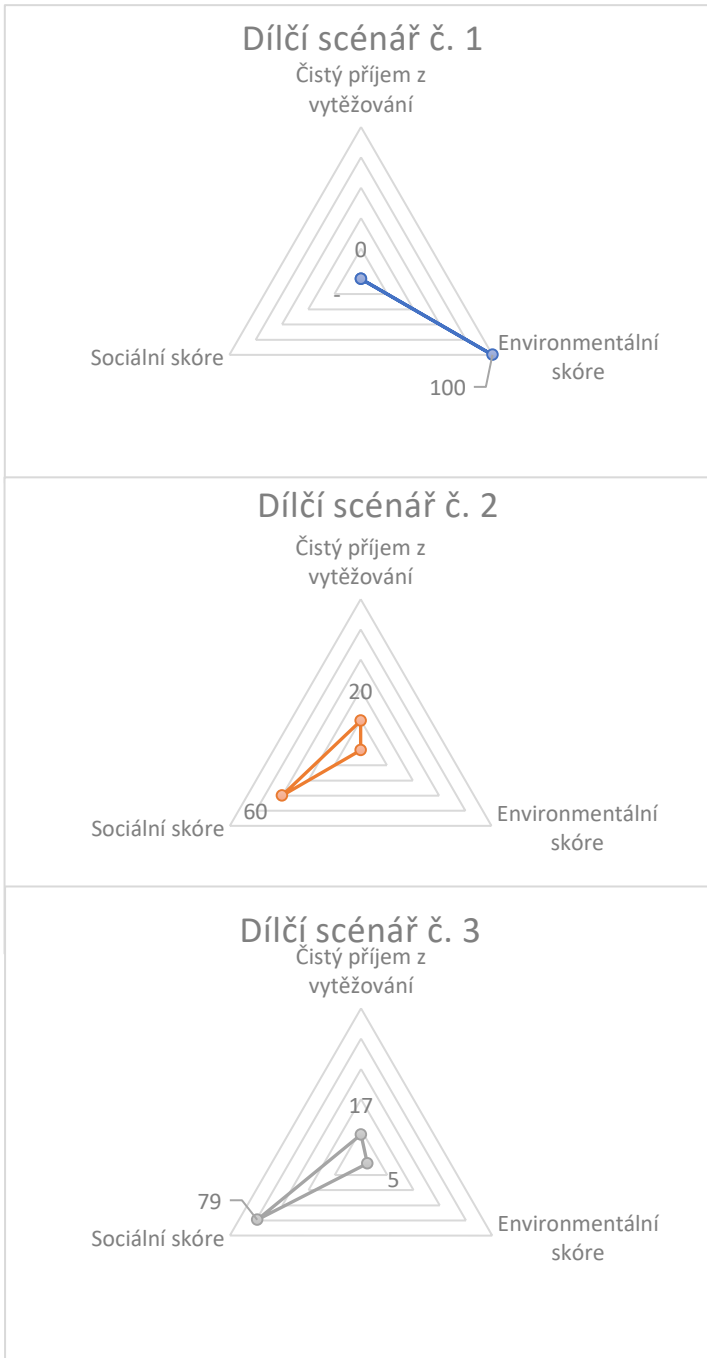
Tato příloha je uvedena na zadní straně této práce.

**Příloha 6 - Scénáře ELMT**

Scénář	Procesy									
	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Drcení	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování
1	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Drcení	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování
2	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Separace žel. Kovů	Drcení	Balistický separátor	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování
3	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Drcení	Vzduchový separátor	Separace žel. kovů	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	Autotermní zplyňování
4	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Separace žel. Kovů	Drcení	Vzduchový separátor	Vzduchový separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování
5	Proplachování	Vytřezení	Bubnové síto	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování
6	Vytřezení	Bubnové síto	Drcení	Drcení	Separace žel. kovů	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	
7	Vytřezení	Bubnové síto	Separace žel. Kovů	Drcení	Balistický separátor	Separace žel. kovů	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	
8	Vytřezení	Bubnové síto	Drcení	Vzduchový separátor	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	Autotermní zplyňování	
9	Vytřezení	Bubnové síto	Separace žel. Kovů	Drcení	Vzduchový separátor	Separace žel. kovů	Separace žel. kovů	Separace nežel. kovů	Autotermní zplyňování	

**Zdroj 45 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)**

**Příloha 7 - Grafické znázornění výsledků ekonomického, environmentálního a sociálního zhodnocení**



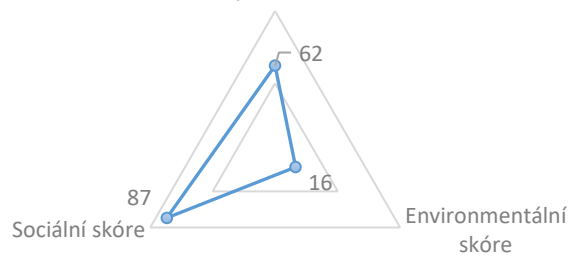
### Dílčí scénář č. 4

Čistý příjem z  
vytěžování



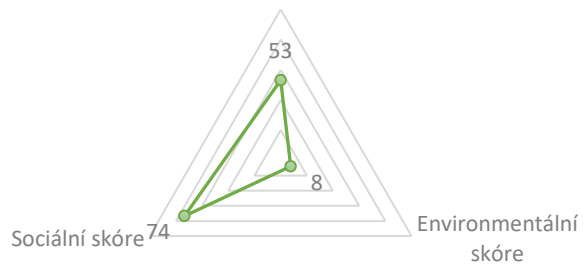
### Dílčí scénář č. 5

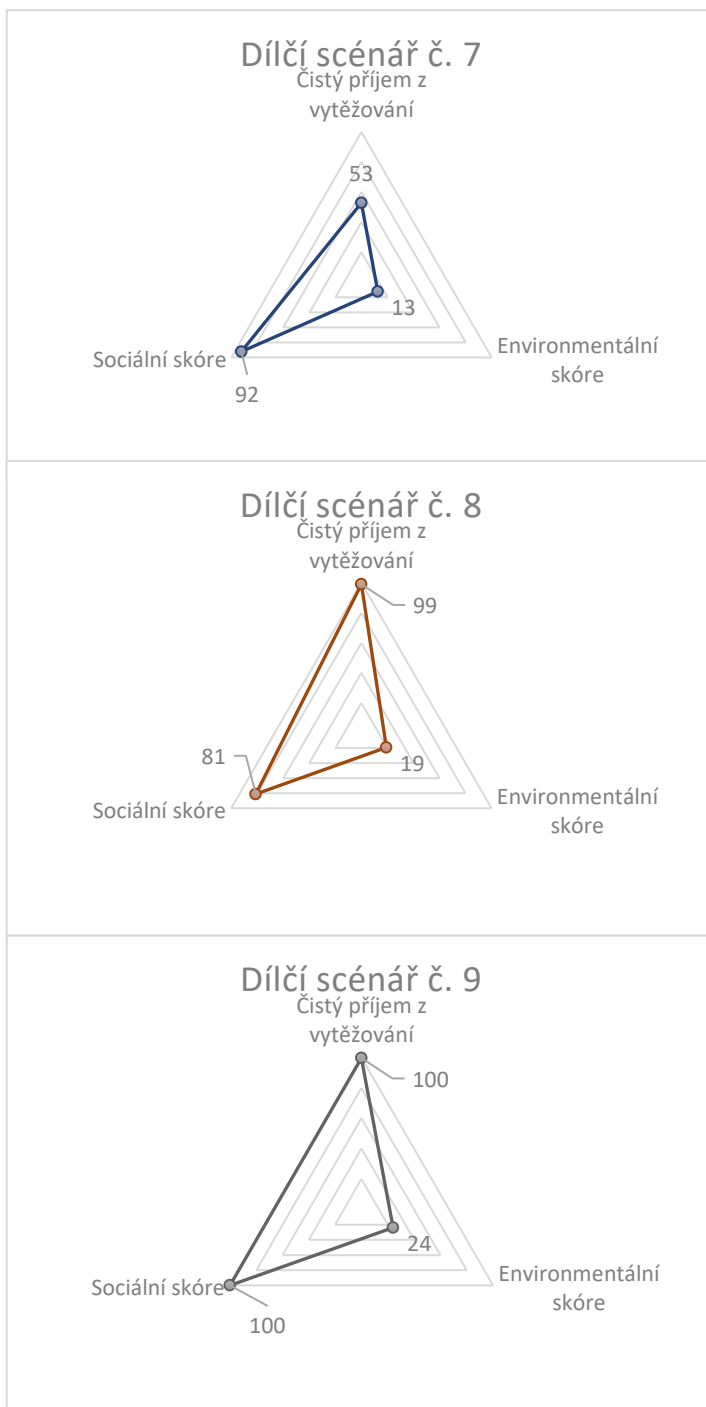
Čistý příjem z  
vytěžování



### Dílčí scénář č. 6

Čistý příjem z  
vytěžování





Zdroj 45 - (Enhanced Landfill Mining Toolkit)