

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra zoologie a rybářství**



**Fakulta agrobiologie,  
potravinových a přírodních zdrojů**

**Rekultivace skládek komunálního odpadu**

**Bakalářská práce**

**Jakub Polák**

**Veřejná správa v zemědělství a krajině**

**doc. Mgr. Vladimír Vrabec, Ph.D.**

**© 2022 ČZU v Praze**



## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Rekultivace skládek komunálního odpadu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 22. 4. 2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Mgr. Vladimíru Vrabčovi, Ph.D., vedoucímu bakalářské práce za odborné vedení, vřelý přístup, trpělivost a cenné rady.

# Rekultivace skládek komunálního odpadu

## Souhrn

Tématem bakalářské práce je podání přehledu o problematice skládkování komunálního odpadu a postupech rekultivace skládek. Toto téma úzce souvisí s produkcí komunálního odpadu a s celkovou problematikou odpadového hospodářství, počínaje předcházení vzniku odpadů, přes produkci odpadů až k odstranění odpadů. Nejčastějším způsobem odstraňování odpadů je z historického hlediska skládkování. Jedná se o klasický a dosud převládající způsob odstraňování odpadů. Odpady jsou ukládány na skládku, která představuje technické zařízení, sloužící k řízenému způsobu odstraňování odpadů. V momentě, kdy je skládka naplněná, nastává rekultivace. Ta může probíhat buď po kompletním naplnění prostoru skládky, anebo postupně uzavíráním jednotlivých sektorů. Hlavními komplikacemi skládkování v krajině jsou estetický vliv na obyvatelstvo, znehodnocení půdy, a rizika pro životní prostředí jako je tvorba výluhů a skládkových plynů.

V úvodní části práce je popsáno nakládání s odpady. Popsány jsou druhy a umístění skládek, dále způsob jejich zajištění z environmentálního hlediska podle jednotlivých témat: těsnění, drenážní systém skládek a skládkový plyn.

V další části jsem se věnoval komunálnímu odpadu. Popsána je jeho produkce, separovaný sběr i nakládání s bioodpadem. Dále jsem se zabýval monitoringem skládek odpadů, kde jsem zmínil rizika výluhu ze skládek.

Hlavní část práce se zabývá rekultivací. Zaměřil jsem se na všeobecný termín rekultivace a následně jsem popsal technickou rekultivaci, kde jsem zmínil všechny postupy, které ji doprovází. Poté jsem uvedl zemědělskou rekultivaci, jakožto konečný proces celé rekultivace skládek komunálního odpadu. Zmínil jsem možné využití rekultivovaného území prostřednictvím lesnické, sadovnické, zemědělské či ostatní rekultivace.

Na závěr jsem shrnul legislativu, která je tvořena zákony, vyhláškami a technickými normami, které regulují problematiku skládkování a úzce souvisí s tématem méj bakalářské práce.

**Klíčová slova:** Rekultivace; skládka; odpadové hospodářství; monitoring

# Reclamation of municipal waste landfills

## Summary

The topic of this bachelor's thesis is to present the survey of the issues concerning landfilling of municipal waste and procedures of landfills' reclamation. This topic is closely related to municipal waste production and waste management system on the whole, beginning with including preventing from waste formation, its production as well as its disposal. Historically, landfilling is considered to be the most frequent means of waste disposal. Waste is being placed at a landfill that represents technical mechanism serving to the controlled method of its disposal. The moment the landfill is full, reclamation begins. The main complications caused by landfilling are these: aesthetic impact on the inhabitants, destruction of the land, and some perils to the environment, such as infusions and landfill gases production.

In the introductory part, the emphasis is put on waste management, one can learn about the variety of landfills and their placement as well as their securing from the environmental point of view, including sealing, drainage system and landfill gas.

The other part is devoted to municipal waste where its production, separated collecting and managing bio-waste are described. In addition to that, landfill monitoring is explained, with mentions of perils caused by landfill infusions.

The main part of the thesis deals with reclamation. Firstly, I have focused on the general term of reclamation. Moreover, I have described technical reclamation where all the procedures included are presented. Finally, I have mentioned agricultural reclamation as the terminal process of municipal waste landfills' reclamation.

In the conclusion, there is a summary of legislation, including laws, regulations and technical standards that regulate the issues concerning landfilling and are closely connected with the topic of this bachelor's thesis.

**Keywords:** reclamation; landfill; waste management system; monitoring

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>9</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>10</b>
<b>3 Literární řešerše</b> .....	<b>11</b>
<b>3.1 Nakládání s odpady</b> .....	<b>11</b>
3.1.1 Skládkování odpadů .....	12
3.1.2 Skládka odpadů .....	14
3.1.2.1 Druhy skládek .....	16
3.1.2.2 Umístění skládek.....	17
3.1.2.3 Skládkový plyn .....	18
3.1.2.4 Drenážní systém skládek.....	19
3.1.2.5 Těsnění skládek .....	20
<b>3.2 Komunální odpad</b> .....	<b>20</b>
3.2.1 Produkce odpadů .....	22
3.2.2 Oddělený (separovaný) sběr komunálního odpadu .....	23
3.2.2.1 Oddělený sběr využitelných složek komunálního odpadu .....	23
3.2.2.2 Oddělený sběr nebezpečných složek komunálního odpadu .....	24
3.2.3 Nakládání s bioodpadem .....	24
3.2.3.1 Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) .....	25
<b>3.3 Monitoring</b> .....	<b>26</b>
3.3.1 Průsakové vody .....	26
<b>3.4 Rekultivace</b> .....	<b>27</b>
3.4.1 Cíl rekultivace.....	29
3.4.2 Plánování a projektování rekultivace.....	30
3.4.3 Postup při rekultivaci .....	30
3.4.4 Technická rekultivace (TR) .....	30
3.4.4.1 Uzavírání skládky .....	30
3.4.4.2 Úprava tělesa skládky .....	31
3.4.4.3 Vyrovnávací vrstva.....	31
3.4.4.4 Těsnící vrstva .....	32
3.4.4.5 Odvodnění .....	32
3.4.4.6 Odplynění .....	32
3.4.4.7 Ochranná rekultivační vrstva .....	33
3.4.5 Biologická rekultivace (BR).....	33

3.4.5.1	Zemědělská rekultivace .....	34
3.4.5.2	Lesnická rekultivace .....	35
3.4.5.3	Sadovnická rekultivace.....	35
3.4.5.4	Ostatní rekultivace .....	35
<b>3.5</b>	<b>Legislativa .....</b>	<b>37</b>
3.5.1	Zákony.....	37
3.5.2	Vyhlášky .....	37
3.5.3	Normy .....	38
<b>4</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>39</b>
<b>5</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>40</b>



# 1 Úvod

Skládkování je nejstarším způsobem nakládání s odpady. Až 46 % komunálních odpadů končí na skládkách. Skládka je zařízení s izolačními vrstvami, odplyněním, drenážním systémem a monitorovací sítí, kde technická a organizační opatření v maximální možné míře snižují riziko úniku kontaminujících látek ze skládky do jejího okolí. Provoz skládky je řízen provozním řádem, odpad je vážen a evidován (Balner et al. 2003).

Podle databáze Agentury pro ochranu životního prostředí USA je ročně skládkováno asi 140 milionů tun tuhého komunálního odpadu. Úplné pochopení rozkladu těchto odpadů na skládkách je složité kvůli široké škále materiálů přijatých během let provozu. Teplo, plyny a výluh jsou vedlejšími produkty biologických a chemických rozkladných reakcí probíhajících na skládkách (Moutushi et al. 2022).

Se zvyšujícím se nárůstem poptávky po různých produktech a se snižováním jejich životnosti narůstá množství vznikajících odpadů.

Je nutno veškeré ekonomické aktivity chápat a posuzovat z hlediska principů udržitelného rozvoje. Udržitelný rozvoj odpadového hospodářství znamená předcházet vzniku odpadů a jejich nebezpečnosti, využívat odpady jako zdroje surovin, energie a nevyužitelné zbytky bezpečně odstraňovat (Balner et al. 2003).

Podle nové odpadové legislativy, vycházející z plánu Evropské unie, která vstoupila v platnost v roce 2021 je cílem pro nakládání s komunálními odpady v rámci skládkování komunálního odpadu omezit množství odpadu, které se ukládá na skládku. Do roku 2035 chce Evropská unie na skládky ukládat maximálně 10 % odpadu (europarl.eu 2021).

Rekultivace skládek komunálního odpadu probíhá na základě územně plánovací dokumentace, tj. projektu a řídí se právními předpisy. Rekultivaci lze uskutečnit po naplnění povrchu skládky anebo postupně během provozu (Filip et al. 2003).

Rekultivace se skládá ze dvou hlavních složek. Jedná se o rekultivaci technickou a biologickou. Technická rekultivace spočívá v úpravě tělesa, to znamená ke stabilizaci skládky, kdy dochází k vyrovnání povrchu skládky a zajištění odvodňovacího a odplyňovacího systému (Kumari et al. 2022).

Biologická rekultivace směřuje k tvorbě nové svrchní vrstvy půdy a vytvoření podmínek pro následné zemědělské, lesnické, sadovnické či ostatní využití. Rekultivací se rozumí snaha začlenit dané území zpátky do životního prostředí okolí. Správným způsobem rekultivace lze daného cíle dosáhnout (Váňa & Slejška 1998).

## **2 Cíl práce**

Cílem práce je formou literárního přehledu zpracovat téma sanace a rekultivace skládek odpadu s popisem různých typů rekultivace. Práci se zaměřuje především na environmentální dopady skládkování a také na možnosti následného využití území, která byla rekultivována.

## 3 Literární rešerše

### 3.1 Nakládání s odpady

Odpad je každá movitá věc, které se osoba zbavuje nebo má úmysl nebo povinnost se jí zbavit a přísluší do některé ze skupin odpadů uvedených v příloze zákona od odpadech č. 541/2020 Sb. (Kizlink 2012). Za odpady lze považovat materiály a výrobky vzniklé při výrobě a pro spotřebu, které ztratily svou původní užitnou hodnotu. Dříve, než se pro nás stanou odpadem, mohou se stát druhotnou surovinou. Záleží na nás, zda pod výše uvedenými materiály a výrobky uvidíme nejdříve druhotné suroviny a teprve potom odpady, a podle toho se zachováme (Altman & Růžička 1996).

V obecném pojetí jde o jakoukoliv manipulaci s odpadem (po jeho vzniku), bez ohledu na způsob a čas (Altman & Růžička 1996). Nakládání s odpady je jejich shromažďování, soustředování, sběr, třídění, výkup, přeprava a doprava, skládkování, úprava, využívání a odstraňování (Filip at el. 2002).

V roce 2020 bylo v České republice vyprodukováno 38,5 mil. tun všech odpadů. Ostatní odpady z toho tvoří 36,7 mil. tun a nebezpečné odpady 1,8 mil. tun. Z celkového objemu 38,5 mil. tun odpadů jich bylo 90 % využito. Na skládky bylo uloženo 10 % ze všech odpadů (MŽP ČR 2021).

Vývoj strategií nakládání s komunálním odpadem je obvykle založen na hierarchii správného nakládání s odpady, která se snaží maximalizovat počet prospěšných produktů z dostupného odpadu pomocí předcházení vzniku odpadů, recyklace, biologické a tepelné úpravy a skládkování. Prvním přístupem v hierarchii nakládání s odpady je předcházení vzniku odpadů, které může vytvářet obrovské sociálně-environmentální přínosy (Madadian et al. 2020). Následuje příprava k opětovnému použití, recyklace, jiné využití (například energetické) a v poslední řadě odstranění odpadů, nejčastější v podobě skládkování. Tato hierarchie klade maximální důraz na předcházení vzniku odpadů, a to jak ve výrobní, tak ve spotřební sféře. Z pohledu občana to může znamenat nakupovat například jen takové množství potravin, které může spotřebovat. Tím lze snadno předejít tomu, aby se z nespotřebovaných potravin nestal odpad. Také tato hierarchie klade důraz na to, aby vzniklý odpad mohl projít nejprve všemi stupni využití (materiálového a energetického) a teprve potom zbývající odpad byl odstraněn. Hierarchie z pohledu průmyslu odráží moderní strategii odpadového hospodářství. Ta spočívá v přechodu od konceptu koncových technologií k orientaci na vlastní průmyslový proces a provozované technologické zařízení. Od počáteční fáze vývoje produktu, přes výrobu, až po konečné odstranění odpadu. Zahrnuje kroky, jakými jsou prevence, omezení množství toxicity, opětné využití materiálu, recyklaci, zpracování odpadu a konečné odstranění odpadů (Kuraš 2014).

Cíle pro nakládání s odpady jsou stanoveny plánem odpadového hospodářství ČR. Plnění cílů POH na národní a krajské úrovni je pravidelně povinně hodnoceno, a tak je zajištěna zpětná vazba pro trvalé zpřesňování cílů a sledování základních trendů v odpadovém hospodářství ČR (MŽP ČR 2005).

Nakládání s komunálním odpadem, jakožto nezbytná součást moderního města, si klade za cíl nejen zlepšit životní prostředí městských obyvatel, ale hraje také důležitou roli v zamezení plýtvání prostředků a ochraně celého ekologického prostředí. S rychlým růstem spotřeby zdrojů

a stále závažnějšími problémy v oblasti životního prostředí existuje naléhavá potřeba třídít odpad a provádět vhodné úpravy (např. kompostování, spalování, skládkování, recyklace atd.) pro různé druhy odpadu. Třídění odpadu by mělo být provedeno v co nejranější fázi, aby se maximalizovalo množství recyklovaných položek a snížila se možnost kontaminace jinými položkami odpadu (Wang et al. 2021).

Neustálé zatěžování životního prostředí a s tím spojená surovinová a energetická krize vede ke snaze řešit tento problém následující opatřeními:

- racionálnější využití přírodních surovin, materiálů a energie,
- snižování ztrát ve výrobě,
- snižování produkce odpadů,
- využívání odpadů jako druhotných surovin nebo jejich recyklace,
- prodloužení užitečných vlastností výrobků a prodloužení životnosti výrobků,
- využívání spotřebitelského odpadu,
- komplexní zpracování surovin,
- zavádění bezodpadových a máloodpadových technologií (Kudelová et al. 1999).

Nakládání s komunálním odpadem prošlo mnoha vývojovými stádii, z nichž nejstarší a nejrozšířenější je skládkování. Dle využití surovinového a energetického potenciálu těchto odpadů pak materiálové využití (recyklace) a energetické využití (spalování) (Kuraš 2014).

### 3.1.1 Skládkování odpadů

Klasickým a dosud převládajícím způsobem nakládání s odpady je jejich skládkování. Za situace, kdy nejsou do zhodnocení ekonomiky výroby pro společenskou spotřebu zahrnovány všechny záporné vlivy na životní prostředí, je takovýto způsob zneškodňování odpadů zdánlivě nejjednodušší a nejlevnější (Juchelková 2005).

Z historického hlediska bylo skládkování hlavním způsobem nakládání s odpady a v mnoha zemích jim nadále zůstává. Skládkování se vyvinulo z původního ukládání odpadů do otevřených jam po moderní vysoce technicky vybavená technologická zařízení s vyspělými opatřeními pro řízení celého procesu (Kuraš 2014).

Skládkování je způsob odstraňování odpadů, při kterém jsou odpady zaváženy na skládku. Poté jsou hutněny a pravidelně překrývány inertním materiálem. Uvnitř tělesa skládky probíhají biologické, chemické a fyzikální procesy, které vedou k rozkladu odpadů za vzniku výluhů (znečištěná voda odcházející ze spodní části skládky) a plynů (Kuraš 2014).

Vlastní technologie řízeného skládkování spočívá v postupném ukládání odpadu a pravidelném zahrnování zhutněného odpadu inertním materiálem nebo zeminou. Navážení, rozhrnování a zhutňování se opakuje postupně v dalších vrstvách až do výše 2 až 2,5 m. Sklon čela a boků skládky nemá být větší než 30°. Ve většině případů se doporučuje po dosažení výšky asi 2,5 m zavést a zhutnit odpad 20 až 30 cm vrstvou zeminy. U velkých skládek se připouští další zavážení odpadu bez krycí vrstvy až do výše 10 m, pokud nehrozí znečišťování okolí. Hmotnost 1 m<sup>3</sup> dokonale zhutněného komunálního odpadu na skládce by měla být kolem 900 kg (Hlavatá 2004).

Skládkování se považuje za jednoduchou a nenákladnou technologii pro nakládání s odpady. Hierarchie odpadového hospodářství ale považuje skládkování za konečný stupeň v hierarchii odstraňování odpadů. Mezi nevýhody skládkování patří ztráta zdrojů (půdy a

materiálů), emise výluhů (vedoucí ke kontaminaci podzemních vod) a plynné emise jako skleníkové plyny (CO<sub>2</sub> a CH<sub>4</sub>), těkavé organické látky a zápach s potenciálním rizikem požárů a explozí (Kuraš 2014).

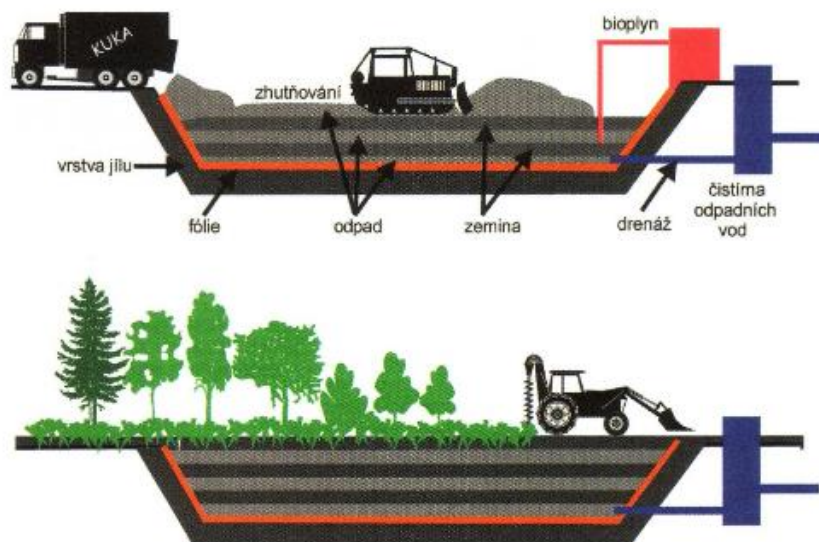
Moderní skládkování je způsob řízeného ukládání odpadů do půdy s cílem zamezit ohrožení zdraví a prostředí, a to současně bez ohrožení zdrojů podzemní a povrchové vody. Skládka komunálních odpadů není úložiště pro odstraňování odpadů, které by nebylo neškodné. Naopak, je to biochemicky aktivní zařízení, ze kterého jsou vyluhovány škodlivé látky obsažené v odpadu nebo vytvořené z netoxických prekurzorů během skládkování. Biologické, fyzikální a chemické procesy ve skládce mají za důsledek degradaci odpadů a vedou k tvorbě výluhu a skládkového plynu. Výluh ze skládky lze považovat za potenciální zdroj kontaminace povrchových a podzemních vod a tím se stává největším nebezpečím právě pro podzemní vody. Skládkový výluh je tvořen z vody a z vodorozpustných látek v odpadech, které se akumulovaly ve vodě při jejím průchodu skládkovým tělesem. Prvotním zdrojem výluhu jsou dešťové nebo sněhové srážky (Kuraš 2014).

Na moderních skládkách je odpad oddělen od prostředí systémem těsnění. Hlavní podstatou tohoto systému je izolovat skládkové těleso od prostředí a tím uchránit půdu a podzemní vodu od potenciální kontaminace procházející ze skládky (Kuraš 2014).

Na skládkách se běžně likviduje většina odpadů, protože je to v současnosti nejekonomičtější a nejjednodušší způsob likvidace. Skládkování je stále více odrazováno, protože environmentální předpisy jsou stále přísnější a s rychle rostoucím počtem obyvatel se vhodná půda stává velmi vzácnou. Existuje tedy naléhavá potřeba najít několik alternativních způsobů likvidace odpadu. Používá se mnoho metod zpracování odpadu, jako je spalování, kompostování, aerobní vyhnívání, anaerobní vyhnívání, fermentace, pyrolýza, zplyňování a zkapalňování. Tyto metody nejen likvidují odpady, ale také produkují energii a mnoho produktů s přidanou hodnotou. Metody jsou obvykle vybírány na základě povahy odpadů, dostupnosti zdrojů, poptávky po možných produktech a ekonomiky metod (Parthasarathy et al. 2022).

I přes to, že se předpokládá značné snížení množství skládkových odpadů, určité druhy odpadů se na skládky budou ukládat dále. Je tedy nutno prosazovat pouze přísné řízené skládkování a věnovat této problematice maximální pozornost, od vyhledávání vhodné lokality, přes projektové zpracování, až po skládkování a rekultivaci (Kudelová et al. 1999).

Dodnes se setkáváme s řadou „černých skládek“, které vypovídají o nezodpovědnosti mnohých z nás k životnímu prostředí a tím k budoucím generacím, protože tyto nelegální skládky mohou způsobit nečekané kontaminace okolního prostředí (Kudelová et al. 1999).



Obrázek 1: Skládkování odpadů a rekultivace (Kvasničková 2004).

### 3.1.2 Skládka odpadů

Jedná se o technické zařízení určené k odstraňování směsných komunálních odpadů jejich trvalým uložením na zemi nebo do země, a to řízeným, kontrolovaným a dlouhodobě monitorovaným způsobem (Voštová et. al. 2009). Skládky představují uprostřed systému nakládání s odpady poslední článek v řetězci likvidace odpadů. Z hlediska stavebního jsou skládky technickými stavbami, na které jsou ve vztahu na dlouholetou životnost kladeny velké nároky (Altman & Růžička 1996).

Skládky můžeme rozdělit z několika hledisek. Zaprvé podle způsobu uložení odpadu, zadruhé podle druhu uloženého odpadu, zatřetí podle tvaru skládky a začtvrté podle rozdělení na skupiny skládek. Z hlediska uložení odpadu rozlišujeme skládky černé a skládky řízené. Černé skládky tvoří prostor, kde jsou odpady ukládány nahodile, v rozporu s právními předpisy, bez jakéhokoliv povolení. Jedná se o skládky, které jsou prokazatelným zdrojem nebezpečného ohrožení přírody a životního prostředí celkově. Řízené skládky respektují zásady ochrany životního prostředí, v souladu se schválenou projektovou dokumentací a provozním řádem skládky. Jedná se o skládky, kde je v souladu s postupy a zásadami řízeného skládkování zneškodňován odpad. Životnost skládky charakterizují tři fáze – výstavba, provozní činnost a rekultivace. Z hlediska druhu uloženého odpadu rozdělujeme skládky na inertní, skládky zbytkového odpadu, reakční skládky, podzemní skládky a časově omezené skládky. Podle tvaru skládky rozlišujeme skládky na podúrovňové, nadúrovňové a skládky kombinované. Z hlediska skupin skládek rozlišujeme skupiny pro nebezpečné odpady, zvláštní odpady, tuhý komunální odpady a ostatní odpady (Altman & Růžička 1996).

Bezpečná likvidace odpadu je jeden z hlavních environmentálních problémů, kterým dnes společnost čelí, a skládky zdá se stále ještě poskytují nejekonomičtější a nejjednodušší prostředky k likvidaci odpadů na celém světě (Lamb et al. 2012).

Skládka je tedy stavební objekt vybavený tak, aby odpady v něm trvale uložené nemohly negativně ovlivňovat podzemní ani povrchovou vodu a horninové prostředí. Také aby byly minimalizovány nepříznivé vlivy na ovzduší jak po dobu její životnosti, tak po jejím uzavření.

Těleso skládky je nekontrolovatelný biochemický reaktor, ve kterém vzájemně reagují kapalné, tuhé i plynné materiály za vzniku kapalných (výluhy) a plyných (skládkový plyn) emisí. Také vzniká tuhá fáze (skládkový zbytek), která může být budoucím zdrojem zbytkových emisí. Plynné a kapalné emise obsahují látky, které mohou kontaminovat životní prostředí. Přírodní a technologická opatření označována jako bariéry, slouží k zabránění či omezení nekontrolovatelných úniků emisí s jejich škodlivým vlivem na zdraví. Opatření, kterými jsou bariéry zpracovávány, ukazují na technický vývoj skládkování a odrážejí rostoucí společenské a politické uvědomění dopadů skládek na životní prostředí (Kuraš 2014).

Skládky jsou navíc prostředím s velmi specifickými a rozmanitými podmínkami, které vytvářejí unikátní biotopy jak z hlediska půdních vlastností, tak i narušení a fragmentace biotopů. Relativně malá plocha s těmito diverzifikovanými podmínkami prostředí poskytuje dobré podmínky pro specifické typy vegetace, které se mohou šířit do přilehlých oblastí, např. zemědělských ploch. Tato zařízení podstatně ovlivňují okolní ekosystémy tím, že poskytují úkryt a slouží jako koncentrační oblasti pro řadu druhů ptáků, savců, hmyzu, parazitů a bakterií (Vaverková 2020).

Stejně jako u jiných velkých zařízení pro odstraňování odpadů, tak i výstavbě skládky předchází zdánlivě komplikovaný schvalovací proces, vymezený zákony č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí, č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečišťování, a č. 183/2006 Sb., o územním plánování a stavebním řádu, v platném znění (Kuraš 2014).

K základním technickým prvkům skládek směsných komunálních odpadů patří oplocení, osvětlení a kontrola pohybu v areálu skládky, technické bariéry k zabezpečení podloží (kombinace minerálního a fóliového těsnění), zařízení pro nakládání s odpady a materiály. Dále tam také patří přídavné technologie jako je například kompostování, systém monitoringu, sběru, systém řízeného jímání, filtrace a využívání skládkových plynů. V poslední řadě zde zařazujeme i průběžnou rekultivaci uzavřených částí skládky a poté celé skládky po skončení provozu (Benešová et al. 2011).

Skládka jako každá jiná stavba podléhá územně plánovacímu a stavebnímu řízení. K oddělení uložených odpadů od okolí slouží těsnící materiály. Ty se volí podle druhu odpadů a místních přírodních podmínek. Obvykle se jedná o minerálové a fóliové těsnění (Benešová et al. 2011).

Provoz skládky se řídí schváleným provozním řádem, jehož součástí je i seznam odpadů, které je možno na určitou skládku ukládat. Součástí provozního řádu je i organizace, technologie provozu skládky, havarijní opatření a způsob vedení evidence. Dalším důležitým dokumentem je provozní deník. Přivezený odpad na skládku se vizuálně posoudí, zváží a prozkoumá, zda bude moci být uložen na skládku. Data o odpadech uložených na určitou skládku se uchovávají po dobu pěti let (Benešová et al. 2011).

Součástí skládky je také monitorovací systém, který slouží k zvýšení bezpečnosti provozu skládky. Monitorovací systém se zaměřuje na sledování kvality podzemních vod, potenciálně ohrožených skládkou, kvality a množství výluhových vod ze skládky, kvality a množství skládkového plynu a sledování stability skládkového tělesa. To se týká i sledování podloží skládkového tělesa a neporušenosti fóliového těsnění. Monitorování skládky je majiteli uloženo zákonem po dobu minimálně 30 roků po jejím uzavření (Kuraš 2014).

Po dosažení aktivní sekce skládky objemu podle projektové dokumentace, následuje rekultivace povrchu skládky. Dochází k uzavření sekce skládky, k technické rekultivaci (odvodnění, odplynění, vybudování komunikací, instalace monitorovacích zařízení) a biologické rekultivaci (meliorační, osevní postupy, výsadba dřevin, průběžná údržba zelených ploch). Majitel skládky má povinnost ze zákona zajistit následnou péči a zamezit negativnímu vlivu skládky na životní prostředí po dobu nejméně 30 let od ukončení provozu (Benešová et al. 2011).

Obecně nesmějí být na skládku ukládány:

- kapalné odpady a odpady, které sedimentací uvolňují ve značné míře kapalnou fázi,
- nebezpečné odpady, které mají charakteristické vlastnosti jako je výbušnost, hořlavost a toxicita,
- akutně toxické, obsahující prokázané karcinogeny, mutageny, teratogeny, infekční odpady, odpady prudce reagující s vodou nebo organickými látkami,
- odpady silně zapáchající,
- nádoby a zařízení s obsahem plynu pod tlakem,
- odpady obsahující organokovové sloučeniny,
- veškeré odpady ze zpracování dehtů,
- biocidy (pesticidy),
- veškerá léčiva (Kudelová et al. 1999).

### 3.1.2.1 Druhy skládek

Ve vztahu k úrovni terénu rozlišujeme podúrovňové skládky, což jsou skládky v otevřených terénních prohlubních do úrovně terénu, dále nadúrovňové skládky, které jsou zakládány nad úrovní terénu anebo skládky kombinované, kde se jedná o kombinaci podúrovňové a nadúrovňové skládky, to znamená, že základ je tvořen pod úrovní terénu s postupným převýšením nad jeho úroveň. Určitě je potřeba zmínit skládky podzemní, které využívají přirozené nebo uměle vytvořené dutiny pod povrchem země, přístupné pro ukládání kašovitých, tuhých nebo řídkých kapalných odpadů. Skládky vyskytující se na nad povrchem terénu mohou být otevřené či zastřešené (Voštová 2009).

Tvar tělesa skládky předurčuje dobu a účinnost dosažení anaerobního procesu zakrytých vrstev odpadu, výšku hladiny rovnovážného vnitřního přetlaku plynu a hlavní směry šíření plynu. Dále také celkové množství vody ze srážek, přijaté povrchem odpadů, množství vody, které odtече mimo odpad při přívalových deštích a celkové množství vody odpařené z povrchu odpadů (Juchelková 2005).

Z hlediska časového průběhu skládkové činnosti dělíme skládky na připravované, provozované a skládky s přerušenou nebo ukončenou činností. Mezi nezvyklé případy patří skládky odtěžované, ze kterých je skládkový substrát odebírán k dalšímu zpracování. Zráním skládky se rozumí soubor fyzikálních, chemických a biologických procesů probíhajících v tělese skládky za tvorby fermentačních plynů a tepla, vedoucích k jejich mineralizaci.

Od skládkové činnosti je potřeba rozlišovat činnost skladovací, vyznačující se tím, že u všech ukládaných odpadů je možná specifická kontrola a tyto odpady mohou být i jednotlivě přemísťovány. V takovém případě se jedná o úložiště (Voštová et al. 2009).



Dle míry zabezpečení dělíme skládky do tří skupin. První skupinou je skládky pro ostatní odpad označované jako „S-OO“. Tyto skládky jsou určeny pro odpad, který není nebezpečný. Patří sem také odpady komunální nebo jim podobné. Jedná se o skládku, která je zabezpečena proti únikům znečišťujících látek do okolí. Druhou skupinou jsou skládky pro nebezpečný odpad, které se označují jako „S-NO“. Patří sem většina nebezpečných odpadů pocházející z průmyslu. Dále sem směřující také nebezpečné odpady sebrané v obcích. Skládky mají vysoký stupeň zabezpečení proti únikům do okolí a pro ukládání odpadů platí velmi přísná pravidla. Některé odpady se zalévají do betonu nebo skla, aby z nich nic neuniklo do okolí. Třetí a zároveň poslední skupinou jsou skládky inertního odpadu označované jako „S-IO“. Tyto skládky jsou určeny pro ukládání odpadu, který má inertní charakter. Jedná se tedy o odpad, který nemá nebezpečné vlastnosti a neohrožuje žádným způsobem životní prostředí ani lidské zdraví. Tento druh odpadu nepodléhá žádným biologickým fyzikálním ani chemickým změnám. Největší zastoupení zde tvoří druhy stavebních odpadů (Šťastná 2013).

Podle tvaru rozlišujeme svahové a násypové skládky. U tvaru těchto skládek se využívá přírodní úbočí. Minerální a fóliové těsnění je prováděno jak u dna, tak i na svazích skládky. Pokud je spád svahu strmější než 1:2 může být v místě svahu provedeno jednoduché fóliové těsnění. U násypových skládek je dno skládky obklopeno přirozenými nebo uměle vybudovanými hrázemi ze stabilního materiálu a šířka koruny hráze je minimálně 2 m. Podkladové těsnění skládky se provádí na vnitřní straně až ke koruně hráze (Voštová et al. 2009).

### 3.1.2.2 Umístění skládek

Vyhovující postup při zakládání skládky začíná správným výběrem lokality pro umístění skládky. Jakmile bude umístění skládky vybráno, je potřeba provést, v případě jejího budoucího využití pro skládku, zhodnocení možných ekologických dopadů na okolí skládky. Zhodnocení se musí zabývat různými faktory. Z prvních faktorů je to problematika bezpečnosti, zda vybraná lokalita je dostatečně daleko od obytných staveb, kvůli hluku či znečištění okolního prostředí. Zhodnocení se dále týká lokálních a geologických podmínek včetně blízkosti vodních toků, kde by potenciálně mohla hrozit kontaminace vod, dále typu půdy, možnosti sesuvů půdy, hydrologickými a hydrogeologickými podmínkami vybraného místa, tj. blízkosti záplavových území, vodních toků, hladinou spodní vody a vodonosnými vrstvami. Mezi další faktory patří estetické vlivy nebo problematika dopravy, zda je skládka dopravně dosažitelná po dobře přístupných cestách, aniž by došlo k poškození okolních cest kvůli těžkým nákladním automobilům (Lenner 2000).

Zakládání skládek je posuzováno zejména přírodními podmínkami, ochrany životního prostředí, místních a společenských zájmů v území. Skládka by neměla být lokalizována poblíž frekventovaných obydlených míst, v centru měst. Rozhodnutí o výstavbě skládky se budou řídit speciálními podmínkami vybraného místa a obecnými pravidly pro výstavbu těchto zařízení. Podmínky nebudou nikdy identické v případě výstavby další skládky a v žádném případě nelze počítat s tím, že vybraná lokalita bude splňovat všechny požadavky. Projekt a vlastní výstavba musí být natolik flexibilní, aby bylo možné se s těmito nedostatky vyrovnat (Lenner 2000).

Nová skládka by měla být budována tak, aby splňovala všechny technické požadavky. Mezi základní požadavky patří, aby podloží bylo co nejméně propustné a nebyl negativně

ovlivněn žádný vodní tok. Dále je nezbytné instalovat drenážní systém pro odvod průsakových vod (Lenner 2000).

Za vhodné lokality lze považovat pusté krajinné plochy, půdy o nízkých výnosech, zrušené těžebny písků, šterků a hlín s nekontaktovanou hladinou spodní vody, pozemky na mírných svazích a vrcholcích kopců, zbytkové plochy u inženýrských děl, zejména dopravních, a dále i řešení, jejichž účelem je zlepšování krajinného a životního prostředí. Mezi podmíněně vhodné oblasti patří přírodní i umělá terénní snížení s malým množstvím stojatých vod, umístování do širších chráněných oblastí a lesních ploch s větší produkcí, skládky v exponovaných zemědělských oblastech, v údolích, kamenolomech. Mezi nevhodné lokality patří veškerá území vymezená ochrannými pásmy vodohospodářskými, chráněné oblasti přirozené akumulace vod, přírodních a kulturních rezervací, hydrogeologicky nedoporučená území, zejména s možnostmi rychlých pohybů čel nasycení k podzemním jímaným vodám, zbytkové vodní plochy po povrchové těžbě a území, kde lze i ve vzdáleném výhledu počítat se zástavbou (Víšek 1993).

Stavba skládky se často setkává s odporem veřejnosti a místní samospráva se proto bude muset snažit přesvědčit veřejnost pádnými argumenty podporující rozhodnutí o výběru dané lokality. Podúrovňové a nadúrovňové skládky jsou také velmi diskutovaným tématem, jelikož nadúrovňové skládky vypadají esteticky hůře, kazí dojem krajiny a působí více negativním dojmem na veřejnost než skládky podúrovňové. Nicméně je potřeba zmínit, že skládky, které se vyskytují nad úrovní terénu umožňují lepší kontrolu plynných a tekutých emisí, a to je z ekologického hlediska výhoda tohoto typu skládek, protože umožňují skládkování i na místech, kde není z geologických důvodů možné odpady ukládat pod úroveň terénu (Lener 2000).

### 3.1.2.3 Skládkový plyn

Skládkový plyn (LFG) je konečným produktem rozkladu biologicky rozložitelných odpadů na skládce, je také uvažován jako alternativní zdroj energie (Kiris & Saltabas 2011). Jedná se v podstatě o bioplyn, který vzniká anaerobním rozkladem organických odpadů v tělese skládky (Kuraš 2014).

Hlavními složkami skládkového plynu jsou  $\text{CH}_4$  (metan) a  $\text{CO}_2$  (oxid uhličitý) s případnými stopovými prvky, jako jsou například: kyslík, amoniak, vodík, sulfan nebo dále vyšší uhlovodíky a aromatické sloučeniny (Arkharov 2016).

Skládkový plyn je důležitým přispivatelem k obsahu  $\text{CH}_4$  v atmosféře, lze odhadnout, že asi 25 % metanu pocházejícího z antropogenních zdrojů je původem ze skládkových plynů. Ve srovnání s mnoha jinými zdroji emisí metanu, jako jsou rašeliniště, rýžová pole, termity a ovce, lze skládky považovat za bodové zdroje, tj. jsou stacionární a mají omezený rozsah. Z tohoto důvodu je využití skládkového plynu (LFG) jedním z nákladově nejefektivnějších způsobů boje proti skleníkovému efektu (Arkharov 2016). Skládkový plyn má hořlavé a výbušné vlastnosti, kromě metanu, který se vyskytuje hlavně ve skládkovém plynu, zvyšuje také skleníkový efekt, který je 23krát silnější než samotný oxid uhličitý jako skleníkový plyn (Kiris & Saltabas 2011).

Množství skládkového plynu závisí na kvalitě odpadů, technologii jejich ukládání, přítomnosti toxických látek pro mikroorganismy a neutralizační kapacitě prostředí. Pro jeho

vznik musí být bezpodmínečně splněny podmínky anaerobního prostředí a dostatečné vlhkosti. Jeho tvorbu ovlivňuje přítomnost vody, teplota, přítomnost regulujících substrátů a pH. Optimální podmínky pro jeho tvorbu jsou: teplota 25 až 40 °C, pH 6,5 až 8, vlhkost vyšší než 20 až 30% (Voštová et al. 2009).

Rychlost tvorby plynu závisí na složení organických odpadů a biochemickém prostředí ve skládce (nepřítomnost inhibitorů, dostatek vody). Ve skládkách, kam jsou odpady ukládány několik let (25 a více) se mohou vyskytovat segmenty, ve kterých rychlost tvorby plynu klesá, zatímco v odlišných segmentech může vývoj plynu teprve začínat. Plyn vznikající uvnitř skládky se pohybuje tělesem skládky v důsledku tlakového gradientu cestou nejmenšího odporu. Plyn, který se řítí nekontrolovatelně, se může shromažďovat v kanalizačních trubkách či odvodňovacích jímkách a může být tedy příčinou tragických důsledků v případě exploze. Aby se tak nestalo, je potřeba aby skládkový plyn byl ze skládky odčerpán řízeným způsobem (Kuraš 2014).

Jak už bylo řečeno, za přítomnosti organických látek a mikroorganismů v tělese skládky dochází k rozkladnému procesu. Jednotlivé fáze na sebe časově navazují. První fází je aerobní fáze, kde dochází k rozkladu méně stabilních organických látek za přítomnosti kyslíku a za vzniku CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>O. Druhá fáze se nazývá acidogenní. Acidogenní mikroorganismy enzymaticky transformují oxidační produkty předešlé fáze na masné kyseliny a CO<sub>2</sub>. Třetí fází je metanogenní fáze. Metanogenní mikroorganismy štěpí masné kyseliny na metan. Závěrečnou fází celého procesu představuje dozrávací fáze, kde dochází k postupnému ubývání metanogenních mikroorganismů a postupné humifikaci zbytků organické hmoty (Benešová et al. 2011).

Skládkový plyn lze pro energetické účely využít přímo jako palivo, pro výrobu elektřiny nebo přeměnit na chemické látky či palivo. Nejlevnější a nejsnazší využití je přímé spalování, umožňující nahradit fosilní paliva. Pro příklad zmiňme vytápění objektů, použití v cementářských pecích, k sušení kalů a výluhů. Potenciálně lze skládkový plyn využít i jako motorové palivo. Nicméně pouze za podmínek, že bude vyčištěn na kvalitu zemního plynu. Motory pro spalování skládkového plynu musí být upraveny a čerpací stanice plynu musí být široce dostupné. Každopádně skládkový plyn se od zemního plynu liší svým složením i energetickou hodnotou. Má menší výhřevnost, spaluje se při nižší teplotě a obsahuje daleko více nežádoucích plynných složek, jako jsou například halogenované uhlovodíky. Odstranění těchto složek, pro získání čistého methanu je velice náročné (Benešová 2011).

Cílem veškerých opatření týkající se skládkového plynu na moderním skládkách je omezit environmentální dopady skládkového plynu (nebezpečí zahoření či výbuchu, poškození vegetace, zápach) a co nejvíce využít plyn pro energetické účely, především u větších skládek (Kuraš 2014).

#### 3.1.2.4 Drenážní systém skládek

Každé skládkové těleso je vystaveno působení srážek. Těsnicí pásy na dně skládky a bočních stěnách vytvářejí vodotěsnou vanu. Na skládce se soustředí čistá dešťová voda a voda znečištěná průsakem uloženým odpadem. Tyto vody je potřeba ze skládky odvést a snížit jejich působení na plášt'ové těsnění. Vzhledem k tomuto účelu musí být vybudován na dně tělesa

skládky odvodňovací systém. Tento systém tvoří plošný drén, odvodňovací studně, svodný drén, šachty sběrného drénu, sběrný drén, jímka průsakové vody a jímka dešťové vody. Dno skládky se upravuje do tvarů, které svádí vodu do drenážního potrubí (Altman & Růžička 1996).

Připomeňme si, že těleso skládky je ovlivněno jak vodou přicházející z vnějšího prostředí, tak vodou nacházející se uvnitř skládky. U zabezpečených skládek jsou tyto vody odděleny na rozdíl od skládek nezabezpečených. Vnější vody jsou ovlivněny celkovými hydrogeologickými a klimatickými poměry lokality. Tyto poměry rozhodují o úrovni hladiny podzemní vody pod zemským povrchem, o svahových vývěrech a výši ročních úhrnů srážek. Vnější vody mají významný vliv na stabilitu svahů zemního tělesa skládky i pro stabilitu nejbližšího okolí (nebezpečí sesuvů). Vnitřní vody, jinak řečeno průsakové vody, tvoří voda srážková, voda vytlačená z pórů odpadů a voda z biodegradčních procesů, které probíhají v organické hmotě. Množství těchto vod tedy ovlivňuje podíl organických látek a vlhkost odpadů a je to směs výluhů, kalové vody a vytlačené pórové vody (Filip et al. 2006).

### 3.1.2.5 Těsnění skládek

Těsnící systém skládek pro utěsnění dna a boků skládek se navrhuje s ohledem na celkové uspořádání skládky, druhy odpadů, které budou na skládku ukládány, třídu jejich vyluhovatelnosti a na přírodní podmínky lokality. Těsnění skládky pro uzavření skládky se navrhuje s ohledem na druh uložených odpadů a jejich vlastnosti a na způsob rekultivace jejího povrchu. Systém pro těsnění skládek musí být z materiálů, aby jeho celistvost a funkce nemohly narušit sedání skládky a jejího podloží, účinky vnitřních a povrchových vod a povětrnostní vlivy, případně důsledky činnosti člověka. Jednotlivé vrstvy těsnícího systému, jeho podloží, krycí vrstvy i systém jako celek musí být stabilní (Hlavatá 2004).

Mezi typy těsnění a těsnící materiály patří minerální těsnění, které je z přírodních materiálů nebo upravených zemin. Hlavním požadavkem na použité materiály do těsnění skládek je jejich dostatečně nízká propustnost. Dalším typem je fóliové těsnění, které se používá obvykle z polyetylénu vysoké hustoty s tloušťkou fólie 2,5 mm. Životnost takového těsnění je vyšší než aktivita skládky samotné (Hlavatá 2004).

Pro těsnění lze použít i jiné stavební materiály jako rohože s bentonitovou výplní, asfaltové nebo asfaltobetonové těsnění, betonové těsnění a stabilizát. Pro svislá těsnění se používají hloubené nebo vrtané podzemní stěny s výplní (jílovou nebo jílocementovou, betonovou, z jiné samotuhnoucí směsí) a stěny vytvořené injektáží (Hlavatá 2004).

## 3.2 Komunální odpad

Za komunální odpad je považován veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob a který je uveden jako komunální odpad v prováděcím právním předpisu s výjimkou odpadů vznikajících u právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání (Kizlink 2012). Komunální odpad je pro nás nejvíce vnímaným odpadem. Jedná se o nehomogenní směs mnoha látek a věcí, které pro nás ztratily svoji původní hodnotu (Hlavatá 2004).

Pod pojem komunální odpad zahrnujeme následující hlavní skupiny:

- tuhé odpady z domácností,

- uliční odpady, odpady z parků a zahrad,
- odpady ze služeb, malých výroben (tzv. malý průmyslový odpad),
- odpady ze škol, úřadů, obchodů a institucí,
- kaly z čistíren odpadních vod (Filip & Oral 2003).

Zde výše zmíněný výčet zdrojů poukazuje na velmi výraznou různorodost těchto materiálů, je tak obvykle velmi obtížné dosáhnout reprezentativního vzorku komunálních odpadů, které jsou velmi heterogenním a proměnlivým materiálem (Filip & Oral 2003).

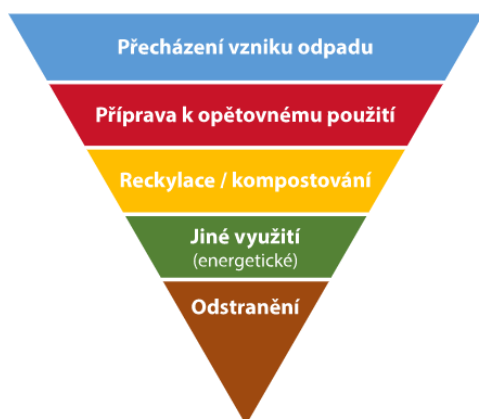
Původcem komunálních odpadů, které vznikají na území obce je obec. Jedná se tedy o odpady, které mají původ v nepodnikatelské činnosti. Původcem se stává obec v ten okamžik, kdy fyzická osoba odpady uloží na místě k tomu určeném. Rovněž se obec stává vlastníkem těchto odpadů (Kuraš 2014).

V praxi to znamená, že o tom, co je komunální odpad, rozhodují obyvatelé. Množství komunálního odpadu produkovaného obyvateli ukazuje úroveň jejich ekologického povědomí a chování, které volí. Diferenciace množství vyprodukovaného odpadu na obyvatele v zemích EU je velmi vysoká, což má přímý dopad na odpadové hospodářství, je tudíž velmi důležité sledovat, jak se situace v určitých zemích vyvíjí. Konceptí je shromažďovat, přepravovat, využívat a likvidovat odpady a dohlížet na tyto činnosti a místa nakládání s odpady (Ulfik 2017).

Pojem komunální odpad zahrnuje také výraz domovní odpad, což je odpad z domácností tvořený zbytky z kuchyně (kuchyňský odpad). Místo pojmu kuchyňský odpad se spíše používá pojem bioodpad, což jsou jak kuchyňské zbytky, tak i další organické zbytky, jako například rostliny. Kromě bioodpadu se objevuje i pojem biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), který zahrnuje veškeré organické odpady nacházející se v domovním odpadu, tedy včetně organického obalového odpadu. Objemný odpad je komunální odpad větších rozměrů, který nelze shromažďovat v nádobách na odpad do velikosti 1,1 m<sup>3</sup> jako jsou například pračky, starý nábytek, televizory (Filip et al. 2006).

Jako základní charakteristika se uvádí množství odpadu, a to celkové množství udávané v hmotnostních nebo objemových jednotkách za časové období (t/rok, m<sup>3</sup>/rok) a měrné množství udávající hmotnostní nebo objemové množství odpadu ve vztahu k jednomu obyvatele (kg/obyv./týden). Fyzikálně chemické charakteristiky jsou objemová hmotnost, vlhkost odpadu, obsah spalitelných látek, spalné teplo odpadu, výhřevnost odpadu, obsahu uhlíku, dusíku, fosforu a vodíku a obsah vybraných prvků se zaměřením na toxické prvky. Množství a skladba komunálního odpadu se zjišťuje buď z evidenčních hlášení státních orgánů nebo z přímého zjišťování (Filip et al. 2006).

Vznik komunálního odpadu je nevyhnutelný proces a množství odpadu neustále narůstá. Odpady jsou zdrojem mnoha škodlivých faktorů: fyzikálních, chemických a biologických, jejichž dopad se může projevit na lidském zdraví. Škodlivé faktory odpadů se dají pozorovat v každé fázi hospodaření s nimi, tj. od jeho vzniku a sběru až po jeho konečné odstranění. Škodlivé látky, které jsou uvolňovány do životního prostředí během procesu nakládání s odpady představují nebezpečí pro povrchové i podzemní vody a pro atmosférický vzduch (Walošík et al. 2021).



Obrázek 2: Hierarchie odpadového hospodářství (upraveno podle: klima.praha.eu 2021).

### 3.2.1 Produkce odpadů

Nárůst životní úrovně a spotřeby zboží v rozvojových zemích vedl k nárůstu produkovaného odpadu (Mu'min et al. 2017). Zásadní změna v nakládání s komunálním odpadem nastala po druhé světové válce. S růstem blahobytu, který vyústil do plýtvavé konzumní společnosti, vzrostl objem komunálního odpadu (Filip et al. 2006).

Například ve vyspělých zemích se změnila roční produkce na 1 obyvatele ze 135 až 200 kg v roce 1950 na 600 kg v roce 2000, v rozvojových zemích ze 75 až 95 kg/rok na 200 až 400 kg/rok (Filip et al. 2006).

Stát	kg/osoba (2000)	kg/osoba (2018)
Belgie	484	411
Dánsko	665	766
Španělsko	520	475
Francie	531	527
Irsko	626	567
Itálie	502	499
Lucembursko	648	610
Nizozemsko	615	511
Rakousko	556	579
Portugalsko	444	508
Finsko	483	551
Švédsko	429	434
<b>Česko</b>	<b>415</b>	<b>351</b>
EU celkem	533	489

Tabulka 1: Produkce komunálního odpadu v kilogramech (kg) na osobu pro rok 2000 a 2018 (upraveno podle: europarl.eu 2018; Filip & Oral 2003).

V roce 2020 bylo v České republice vyprodukováno 38,5 mil. tun všech odpadů. Ostatní odpady z toho tvoří 36,7 mil. tun a nebezpečné odpady 1,8 mil. tun. Z celkového objemu 38,5 mil. tun odpadů jich bylo 90 % využito. Na skládky bylo uloženo 10 % ze všech odpadů (MŽP ČR 2021).

Produkce tuhého komunálního odpadu je výsostně spojena s různými prvky, jako je průmyslový a ekonomický rozvoj, který specifikuje industrializované oblasti s vyšším ekonomickým standardem a bude produkovat velké množství tuhého komunálního odpadu. V případě rozvojových zemí přispívají k produkci tuhého komunálního odpadu další prvky, jako je růst populace, rozvoj technologií, expanze měst (Vyas et al. 2022).

Produkce odpadů je nevyhnutelným důsledkem lidské činnosti a nakládání s nimi má negativní vliv na zdraví lidí i životního prostředí. Odpad po spotřebiteli ovlivňuje vzduch, vodu, lidské zdraví a přispívá ke změně klimatu. Nesprávné nakládání s odpady může mít tedy různé dopady na životní prostředí (Khan et al. 2022).

### **3.2.2 Oddělený (separovaný) sběr komunálního odpadu**

Sběr odpadu je nedílnou součástí systémů nakládání s pevným odpadem, který přispívá jak k nákladům, tak k environmentálním emisím spojeným s nakládáním s pevným odpadem. Ačkoli se náklady na sběr liší v závislosti na populaci, hustotě obyvatelstva, lokalitě, mzdových nákladech a mnoha dalších faktorech, uvádí se, že sběr odpadu přispívá více než 40 % celkových nákladů na nakládání s pevným komunálním odpadem (Chalkias & Lasaridi, 2009).

Systémy sběru odpadu jsou celosvětově zaváděny z důvodů ochrany veřejného zdraví, a to za prvé, a nakonec za účelem znovuzískání materiálů, které mají být znovu použity, recyklovány nebo regenerovány (Rodrigues 2016).

Separovaný sběr odpadu lze definovat jako činnost, při které dochází k oddělení vybraných složek odpadů za účelem jejich využití nebo odstranění (MŽP ČR 2005). Součástí jakéhokoli systému nakládání s komunálními odpady v obci bude realizace některého ze způsobů separovaného sběru (Voštová et al. 2009).

#### **3.2.2.1 Oddělený sběr využitelných složek komunálního odpadu**

Jedná se o druhy odpadů, které jsou získané odděleným sběrem a které lze po úpravě přímo využít jako druhotnou surovinu: plasty, papír, sklo, textil, biologický odpad (Kuraš 2014).

Největší odpad z celkového množství domovního odpadu tvoří papír. Podíl papíru se neustále zvyšuje, protože dochází k rozvoji obalové techniky. Oddělený sběr papíru má v podmínkách naší republiky dlouhou tradici. Před recyklací papíru je potřeba papír shromáždit a následně vytrídít. Existuje celá řada efektivních systémů sběru. V České republice má oddělený sběr papíru dlouholetou tradici. Podobně jako sklo byl papír od 70. do 90. let minulého století organizovaně vykupován od obyvatelstva, ale na začátku 90. let došlo k privatizaci tohoto sektoru (Vrbová 2003).

Veškerý papír je nutné roztřídit na jednotlivé skupiny. Vytříděný papír se dále dodává v lisovaných balících o hmotnosti až 800 kg. Zpracovatelé jsou smluvně vázáni na síť svých

dodavatelů, kteří nakupují papír od svozových firem případně přímo nakupují od velkých svozových firem (Vrbová 2003).

Komunální papír je méně kvalitní směs papíru, lepenky a kartonů. Kvalita suroviny je většinou malá, což je často způsobeno i příměsí se zbytky potravin. Množství příměsí se v systémech komunálního sběru pohybuje kolem 10–30 %. Nápojové kartony jsou kombinované obaly, které obsahují nejméně 70 % papíru a zbytek je tvořen plastovou a kovovou fólií (Vrbová 2003).

Komunální plastový odpad tvoří v ČR cca 9-18 % z celkové hmotnosti domovního odpadu. Asi 80 % všech plastových odpadů tvoří spotřebitelské obaly (Vrbová 2003).

### 3.2.2.2 Oddělený sběr nebezpečných složek komunálního odpadu

Jedná se o druhy odpadů, které jsou získané odděleným sběrem a jsou označené v Katalogu odpadů jako nebezpečný odpad (Kuraš 2014).

Odpady, které představují riziko pro lidské zdraví a životní prostředí, jsou známy jako nebezpečné odpady a zahrnují jakýkoli nežádoucí materiál, který je nebezpečný nebo má potenciál být nebezpečný. Nebezpečný odpad v důsledku své nebezpečnosti při nesprávné manipulaci představuje extrémně vážnou hrozbu pro lidské zdraví a životní prostředí. Tyto odpady mohou být extrémně škodlivé, pokud nejsou správně zpracovány nebo spravovány. Nesprávné skladování, přeprava, ošetření nebo likvidace mohou způsobit poškození (Xu & Yang 2022).

### 3.2.3 Nakládání s bioodpadem

Bioodpad představuje významnou část tuhého komunálního odpadu (TKO). Jeho oddělený sběr je považován za užitečné opatření ke zlepšení systémů nakládání s odpady v rozvinutých i rozvojových zemích. Obecně lze biologický odpad považovat za směs podobného podílu kuchyňského a zahradního odpadu z domácností. Podle definice v rámcové směrnici EU o odpadech se biologickým odpadem rozumí – biologicky rozložitelný odpad ze zahrad a parků, potravinový a kuchyňský odpad z domácností, restaurací, stravovacích zařízení, maloobchodních prostorů a ze zařízení na zpracování potravin. Díky svým vlastnostem je považován za obnovitelný a udržitelný zdroj pro výrobu energie, a proto by měl být jeho potenciál důkladně prozkoumán (Pavlas et al. 2020).

V 19. století patřily české země k předním zemím v kompostování. Právě zde bylo poprvé na světě zahájeno řízené kompostování biologického odpadu. Kromě toho byly organické odpady obvykle shromažďovány jako samostatný druh odpadu používaného jako krmivo pro domácí zvířata. Oba typy opětovného použití biologického odpadu byly vážně postiženy příchodem moderní chemie a umělých hnojiv (Horsák & Hřebíček 2014).

Směrnice Rady EU požaduje, aby členské státy omezovaly množství biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládky. Řešením tohoto problému může být kompostování biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Nakládání s komunálním bioodpadem by mělo být zaměřeno na podporu domácího a místního (komunitního) kompostování, dále na zavedení systémů odděleného sběru zpracování bioodpadu anaerobním či aerobním způsobem (Stejskal et al. 2010).



Existují dva hlavní způsoby sběru bioodpadu, které také určují systémy zpracování bioodpadu. První způsob se vyznačuje tím, že je časově náročnější na zavedení, jedná se o oddělený sběr (SEP – BIO). Výsledkem je materiál s výrazně sníženým rizikem kontaminace škodlivými látkami. Obecně platí, že sběrný systém je různorodý a zahrnuje řadu možností, jako je tradiční systém door-to-door nebo sofistikovanější pneumatický podzemní systém či například sběr pomocí velkoobjemových kontejnerů v ulicích měst. Tento proud odpadů končí v kompostárnách nebo je zde možnost zpracování anaerobní digescí, což je kontrolovaná mikrobiální přeměna organických látek bez přístupu vzduchu (Pavlas et al. 2020).

Kompostování lze rozdělit na domácí a komunitní kompostování. Alternativní metodou pro domácí kompostování je vermikompostování, jde o proces přeměny biologicky rozložitelné hmoty žížalami na vermikompost – přírodní hnojivo. Dále se kompostování vyskytuje v malých zařízeních či v centrálních kompostárnách (Gajalakshmi 2004). Druhý způsob označujeme jako biologický odpad přítomný ve zbytkovém komunálním odpadu (RES – BIO). Ke zpracování dochází pomocí technologie mechanicko-biologické úpravy. Cílem je zredukovat objem komunálního odpadu a zajistit, aby po uložení na skládku nedocházelo k extraktu škodlivých látek. Skládkování je standardní metodou likvidace RES v rozvojových zemích. Naproti tomu spalování s rekuperací tepla (zpětné získávání tepla) je upřednostňováno v zemích s rozvinutými systémy nakládání s odpady (Pavlas et al. 2020).

### 3.2.3.1 Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO)

Významnou část komunálních odpadů tvoří odpady biologického původu – biologicky rozložitelné komunální odpady. Způsob nakládání s nimi může pozitivně i negativně ovlivnit základní složky životního prostředí. Při skládkování těchto odpadů se uvolňují plyny, jejichž hlavní složkou je metan, který napomáhá antropogennímu skleníkovému efektu, jehož důsledkem je globální oteplování a nástup nevratných klimatických změn. Významné množství těchto odpadů je předurčeno k materiálovému nebo energetickému využití. Obsahují rostlinné živiny a organickou hmotu, kterou je možno stabilizovat a výhodně uvádět do přírodního koloběhu jako organické hnojivo – kompost. Separovaný bioodpad je možno zpracovat technologií anaerobní digesce, jejímiž produkty jsou bioplyn a rovněž organické hnojivo (Hlavatá 2004).

BRKO je tvořen odpady, které jsou schopny anaerobního nebo aerobního rozkladu. Převážně se jedná o odpady ze zeleně, ale dále také o vytríděné biologicky rozložitelné odpady z kuchyní, stravovacích zařízení a domácností. Rovněž sem patří odpady papíru, dřeva a přírodních textilií (Kuraš 2014). Přibližně polovina biologicky rozložitelných odpadů je obsažena ve zbytkovém komunálním odpadu, to znamená po vytrídění základních složek (Hlavatá 2004).

Výhodné je zřízení kompostárny na skládce. Mezi důvody patří, že na skládce jsou obvykle k dispozici vhodné plochy pro kompostování, které jsou vodohospodářsky zabezpečené. Dále také, že některá strojní zařízení potřebná pro kompostování bývají na skládce k dispozici a zároveň některé stroje pro kompostování mohou zároveň sloužit pro mechanicko-biologickou úpravu zbytkového odpadu. Rovněž část méně kvalitního kompostu je možné využít na rekultivaci skládky (Hlavatá 2004).

### 3.3 Monitoring

Monitorování skládky je soubor činností, kterým sledujeme vliv skládky na okolní prostředí a chování jednotlivých částí skládky. Každá skládka musí být vybavena monitorovacím systémem, jehož rozsah je stanoven podle stupně rizika ovlivnění okolního prostředí (Hlavatá 2004). Účelem monitorovacího systému je dozor nad funkčností technických i přírodních bariér (Altman & Růžička 1996).

Nesprávné řízení skládek může poškodit životní prostředí, infrastrukturu a způsobit škody na majetku nebo dokonce něčí smrt. Katastrofální sesuv odpadu na skládce Shenzhen (Čína) v roce 2015 zničil 33 budov a způsobil 69 úmrtí. Velké množství nehod je způsobeno sesuvy odpadu. Proto je důležité analyzovat výsledky sesuvů odpadů na skládkách (Nikulishyn et al. 2020).

Monitorovací systém se většinou opírá o technické práce, systém vrtů a tomu i odpovídá jeho cena, která tvoří nemalou část v celkovém rozpočtu. Monitorovací systém musí být uveden do provozu před zahájením skládkování, aby byl dokumentován přirozený výchozí stav lokality (Altman & Růžička 1996).

U všech skládek je předmětem monitorování řada faktorů. Prvním faktorem je úroveň hladiny a jakost podzemních vod v okolí skládky, zejména z hlediska možné kontaminace látkami obsaženými ve výluzích z uloženého odpadu. Dalším faktorem je jakost povrchových vod, do kterých jsou vyústěny vnější drenáže skládky a odvodnění skládkového areálu. Mezi další faktory patří jakost průsakových vod vytékajících ze skládky, vytékajících z vnitřního drenážního systému skládky. Mezi faktory monitorování také patří vývin, složení a množství skládkového plynu, jakost ovzduší z hlediska prašnosti při provozu skládky, polohové změny a přetváření tělesa skládky. Posledním faktorem jsou ostatní jevy, které vyplývají z místních podmínek a které vyplynou v průběhu skládkování či rekultivace (Hlavatá 2004).

Monitorování podzemních a povrchových vod pokračuje i po uzavření skládky (Altman & Růžička 1996). Doporučená doba monitorování jakosti podzemních vod po ukončení skládkování pro komunální odpady je 30 let (Hlavatá 2004).

#### 3.3.1 Průsakové vody

Jedná se o vody vytékající z tělesa skládky. Tyto vody jsou směsí výluhů, kalové vody a vytlačené pórové vody (Liu et al. 2022).

Výluh ze skládek komunálního odpadu, tj. vysoce kontaminovaná odpadní voda, je důležitým rezervoárem antibiotik a genů rezistence vůči antibiotikům (ARG) kvůli prošlým lékům, nelegálnímu klinickému odpadu, výkalům, použitým dětským plenkám a toaletnímu papíru z klinik a nemocnic uložených na skládce. Kombinace fyzikálních, chemických a mikrobiálních procesů na skládkách přenáší antibiotika a ARG z odpadu do výluhů a poté do okolních půd a vodních útvarů (Liu et al. 2022).

Výluh ze skládek obsahuje vysoce toxické a nebezpečné sloučeniny, které mají nepříznivé zdravotní účinky na ekosystém a lidskou populaci. Tyto výluhy musí být před vypuštěním do životního prostředí podrobeny vhodné úpravě. Avšak vyšší provozní náklady a přítomnost vzdorujících látek ve výluhu činí konvenční fyzikálně-chemické procesy nezpůsobitelné pro zpracování (Saxena et al. 2022).

### 3.4 Rekultivace

Rekultivací rozumíme uvedení místa, zpravidla dotčeného lidskou činností, do souladu s okolím a obnovení funkčnosti povrchu terénu ve vztahu k jeho původnímu užívání nebo nově zamýšlenému užívání (Voštová 2009). Jedná se o činnost směřující k vytvoření takových podmínek, za kterých je území skládky možno využít v souladu s územně technickou dokumentací a projektem. Rekultivaci lze také chápat jako činnost, která se zabývá opětovným začleněním půdy do krajiny a zkulturněním půdy (Kuraš 2014).

Nejčastěji jsou předmětem rekultivace oblasti postižené těžbou nerostných surovin (zbytkové jámy po povrchové těžbě uhlí, výsypky povrchových i hlubinných dolů, vytěžené pískovny, kamenolomy). Dalším předmětem může být rekultivace skládek odpadů a předmětem rekultivace můžou být i ostatní činnosti jako například rekultivace po ekologické havárii (Váňa & Slejška 1998). V našem případě se budeme zabývat rekultivací skládek odpadů.

Způsob rekultivace a využití povrchu skládky závisí na druhu uložených odpadů, na tvaru skládky, místních podmínkách a musí být v souladu s hygienickými předpisy (Kudelová et al. 1999).

Rekultivace skládek odpadů je vázána na způsob využití plochy skládky po jejím uzavření podle územně plánovací dokumentace, a to na základě projektu. Návrh plánu na uzavření skládky a následnou péči o skládku byl podmínkou pro udělení souhlasu k provozování skládky (Filip et al. 2006).

Rekultivace skládky se obvykle uskutečňuje až po naplnění prostoru skládky, ale může probíhat postupně s uzavíráním jednotlivých sekcí. V každém případě je potřeba již při ukládání odpadů předepsaným způsobem tvarovat těleso skládky a myslet na získávání rekultivační zeminy (Filip et al. 2006).

Bezprostředně po ukončení skládkování musí následovat technická a biologická rekultivace skládky. Ta umožňuje vhodné začlenění do okolní krajiny a pokud je to možné, vrácení devastovaných ploch do půdního fondu (Kuraš 2014).

Revitalizačními opatřeními se pak obnovuje biologická funkce všech prvků životního prostředí na dané lokalitě s jasným cílem obnovit původní biotu a podmínky pro environmentálně bezpečnou hospodářskou činnost. V podstatě se tedy jedná o uvedení objektu do původního stavu (Kuraš 2014).

Na rekultivovaných plochách, kde není účelné nebo možné hospodářské využití, se většinou jako konečná úprava provádí ozelenění travním nebo lučním porostem a dřevinami.

Konečná úprava pro lesnické nebo zemědělské využití povrchu skládky vyžaduje vytvoření dostatečně mocné a úrodné vrstvy, přičemž se využívá biologických zúrodnovacích procesů s použitím melioračních kultur. Součástí konečné úpravy mohou být za předpokladu splnění hygienických i technických podmínek také plochy pro rekreační účely a sport (Kudelová et al. 1999).

Velmi zajímavým experimentem je rekultivace skládky odpadu pomocí směsí travin a luskovin. Tento experimentální přístup v boji proti degradaci půdy, který skupina vědců provedla ve střední Indii by mohl být příslibem do budoucna (Kumari et al. 2022).

Rekultivace má dvě hlavní složky: technickou a biologickou. Zpočátku skládka procházela technickou rekultivací, která zahrnovala stabilizaci skládky,

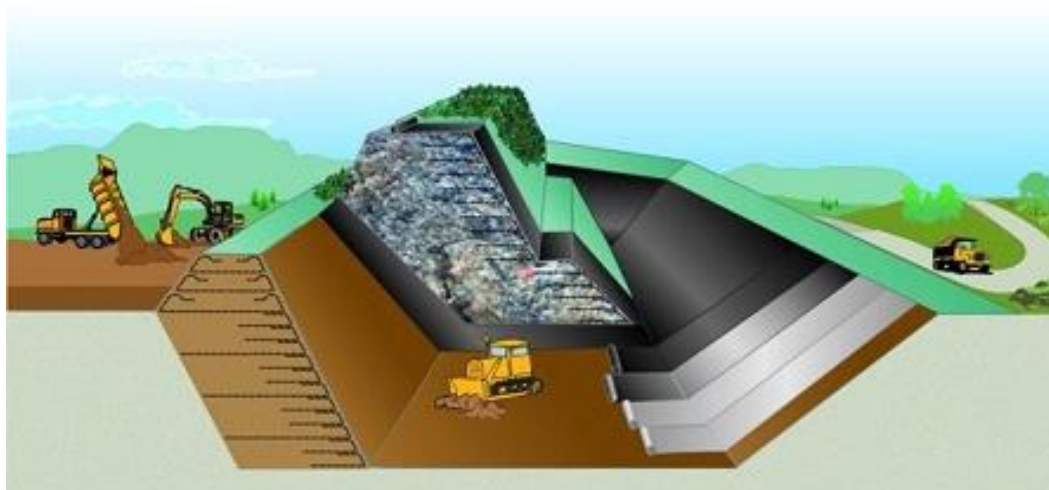
zajištění odvodňovacího systému a přemístění úrodné ornice. Technická rekultivace je možná nejdůležitějším krokem k úspěšné obnově půdy. Protože rekultivační techniky jsou specifické pro dané místo, mohou zahrnovat pokrytí exponovaných svahových ploch geotextilní rohoží a různé úpravy půdy. Každý zahrnutý krok je spojen s primárním přínosem, který pomáhá v procesu obnovy (Kumari et al. 2022).

Degradovaná půda vyžaduje velké množství dusíkatého hnojení pro udržení vegetace a emise  $N_2O$  se zvyšují lineárně s množstvím dusíkatých hnojiv. Rozvoj luštěnin spolu s dalšími rostlinami zvyšuje výnos biomasy, který je ekvivalentní minerálnímu hnojení N, a snižuje půdní emise  $N_2O$  o 30 % až 40 % (Kumari et al. 2022).

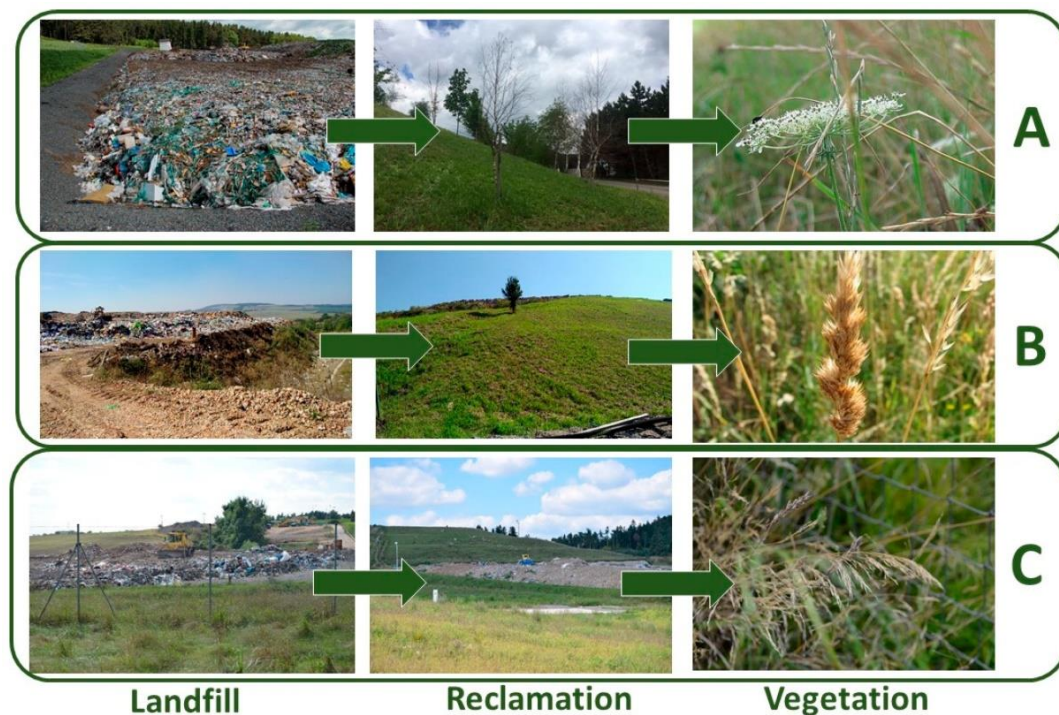
Luštěniny mohou svými schopnostmi fixace dusíku pokrýt až 90 % své vlastní potřeby N, proto mají malou potřebu exogenních hnojiv kromě počáteční dávky. Směsi trav a luštěnin urychlují výnos biomasy pro rychlou rekultivaci degradovaných pozemků. Degradované půdy jsou vysoce náchylné k invazi plevelů a silná mulčovací vrstva organických zbytků může potlačit invazi plevelů zachycením světla, aby se zabránilo klíčení, a snížením teploty půdy. Přímý výsev travních bobovitých druhů může podstatně snížit úspory z rekultivace půdy

K rozvoji rychlého vegetačního pokryvu, kontrole eroze a minimalizaci znečištění se setí směsí trav a luskovin nyní stalo široce používanou biologickou rekultivační technikou k obnově degradované půdy. Například v mnoha částech světa úměrné setí trávy a luštěnin ukázalo zlepšení fyzikálně-chemických vlastností půdy, koncentrací živin a výnosu biomasy na degradovaných místech (Kumari et al. 2022).

Citovaná studie došla k závěru, že přímý výsev směsí trav a luskovin potenciálně obnovuje úrodnost půdy a zvyšuje produkci biomasy, která napomáhá obnově ekosystému. Přímé setí směsí trav a luskovin může být slibným nástrojem ekologické obnovy v boji proti degradaci půdy. Pokud jde o životní prostředí, meziplodiny trav s luštěninami se ukázaly jako udržitelná možnost optimalizace a omezení posunů směrem k hnojení dusíkem (Kumari et al. 2022).



Obrázek 3: Proces rekultivace (maccaferri.com 2016).



- A: skládka Štěpánovice  
 B: skládka Petrůvky  
 C: skládka Kuchyňky

Obrázek 4: Travní porosty rekultivovaných částí skládky (Vaverková et al. 2019).

### 3.4.1 Cíl rekultivace

Cílem rekultivace je opětované začlenění postižené oblasti do okolní krajiny. Nejdůležitějším cílem je zamezit negativnímu působení dané oblasti na životní prostředí. S tím souvisí vytvoření takových podmínek, které zamezí znečišťování oblasti průsakovými vodami či skládkovým plynem a budou zabezpečovat území rekultivované skládky i oblast kolem zrekontrovaných skládky odpadů (Váňa & Slejška 1998).

Mezi další cíle patří vytvoření přírodně hodnotných porostů, nebo zemědělské či lesní půdy, které budou splňovat daný účel. Dalším cílem může být vytvoření pozemků, které budou sloužit k rekreačním či ostatním účelům (Váňa & Slejška 1998).

Zrekultivovaná půda by měla mít vlastnosti jako:

- dobrý obsah humusu,
- příznivou propustnost pro vodu,
- technologické vlastnosti vhodné k manipulaci s půdou,
- nízkou fytotoxicitu,
- neutrální pH,
- dobrou zásobu přístupných forem draslíku a fosforu (Váňa & Slejška 1998).

### 3.4.2 Plánování a projektování rekultivace

Na způsob rekultivace by se mělo myslet již při zakládání skládky. Vypracovaný projekt a plán skládkování ovšem převyšují následné záměry rekultivace skládky. Prostředky k dosažení cílů rekultivace je třeba plánovat po rozboru místních podmínek, jak širšího okolí skládky, tak vlastní skládky. Z širšího hlediska jde jednak o posouzení souladu cílů a prostředků rekultivace s okolní krajinou, jednak o posouzení možného vlivu klimatických faktorů, antropogenních faktorů (škodlivé emise z průmyslových závodů), různých škodlivých činitelů, geologických a hydrogeologických poměrů (riziko kontaminace podzemní vody průsakovou vodou), topografické polohy (riziko eroze půdy, kontaminace vody v tocích povrchovou vodou ze skládky) (Čížek & Lyerová 1921).

Pokud jde o vlastní skládku, je nutno vzít v úvahu její druh, zda je skládka podúrovňová či nadúrovňová, velikost skládky, tvar, expozice svahů půdy a stav přirozené vegetace.

Všechny činnosti, například způsob využití skládky po uzavření, které se provádí na území skládky, musí být prováděny na základně vypracované projektové dokumentace (Čížek & Lyerová 1921).

### 3.4.3 Postup při rekultivaci

Zpočátku je zapotřebí uzavřít skládku a následně provést konečnou úpravu povrchu tělesa skládky. Postupy souhrnu prací a opatření, které jsou prováděny na uzavřené skládce zahrnuje vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady § 16 – Technické zabezpečení skládky, uzavírání a rekultivace skládky (Filip et al. 2003).

Průběh rekultivace také popisuje plán rekultivace půdy podle vyhlášky č. 153/2016 Sb. o stanovení podrobností ochrany kvality zemědělské půdy a o změně vyhlášky č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu (Filip et al. 2003).

### 3.4.4 Technická rekultivace (TR)

TR je technologický postup provedení technických opatření (urovnání povrchu skládky, svahování, drenáže) zajišťující vhodné podmínky pro další způsoby rekultivace (Kudelová et al. 1999).

Mezi jednotlivé fáze technické rekultivace, které nastávají po ukončení provozu skládky a uzavření skládky, patří:

- úprava tělesa skládky,
- vyrovnání povrchu,
- položení těsnicí vrstvy,
- odvodnění skládky,
- odplynění skládky,
- položení rekultivační vrstvy.

Technická rekultivace zahrnuje postupnou řadu technických opatření, které zajišťují podmínky pro biologickou rekultivaci (Váňa & Slejška 1998).

#### 3.4.4.1 Uzavírání skládky

Souhrn prací a opatření, které jsou prováděny na skládce po ukončení skládkování

odpadů se definuje jako uzavírání skládky. Vychází z určitých podmínek prostředí, technických a legislativních požadavků a klade ohledy na skupinu skládky. Proces uzavírání skládky se skládá z několika částí, které spolu souvisí a navazují na sebe (Filip et al. 2003). Jedná se o úpravu tvaru tělesa skládky, uzavření a rekultivace povrchu, pozorování uzavřené skládky a monitorování. Účelem uzavření skládky a jejího okolí je zamezit potenciálnímu poškození nebo ovlivnění složek životního prostředí v okolí skládky. Návrh uzavření a rekultivace musí být zpracován současně s projektem skládky. Uzavírací těsnění je navrhováno a prováděno podle ČSN 83 8032. Základní podmínky pro uzavírání a rekultivaci skládky stanoví ČSN 83 8035 (Kudelová et al. 1999).

Následná péče o uzavřené skládky obvykle zahrnuje monitorování emisí (např. průsakové vody a plyn) a přijímacích systémů (např. podzemních vod, povrchových vod, půdy a vzduchu) a údržbu krytů a systémů jímání průsakové vody a plynu. Nařízení obecně stanoví minimální dobu následné péče, na kterou musí být nahromaděny finanční prostředky. Například Evropská směrnice o skládkách odpadů specifikuje období alespoň 30 let následné péče jako základ pro vytváření finančních rezerv. To bylo převedeno mnoha evropskými členskými státy do národních předpisů, které vyžadují nejméně 30 let následnou péči (Laner et al. 2012).

#### 3.4.4.2 Úprava tělesa skládky

Těleso skládky se upravuje do konkrétního tvaru, který je závislý na nadcházejícím způsobu využití rekultivovaného území. Důležitou roli hraje sklon svahů tělesa skládky, který musí být minimálně 3 %, tak aby po konečném sednutí nevznikaly laguny, ale zároveň aby nedocházelo k erozi. Sedání skládky závisí na druhu ukládaného odpadu, způsobem ukládání, zhutnění, výškou tělesa a vlastnostmi podloží. Skládky odpadů se uzavírají třemi vrstvami. Jedná se o vrstvu vyrovnávací, těsnicí a ochrannou (Filip et al. 2006).

Hutnění skládky je nezbytnou součástí úpravy tělesa skládky. První důvod hutnění skládky je technický a technologický, kdy ve skládce dochází rychle k vytěsnění vzduchu, zastavením aerobních rozkladů se omezuje zápach, omezuje se snos lehkých podílů odpadu větrem a aktivita hlodavců a ptáků. Další důvod je ekonomický, čím je důkladnější hutnění, tím lze na skládku uložit více odpadů. Posledním důvodem je důvod bezpečnostní, pro zlepšení hygieny okolí a zvýšení protipožární bezpečnosti. Hutnění je nutno provádět celoplošně, po vrstvách, které nejsou příliš silné. Na malých skládkách se jako hutnicí mechanismus využívá ve většině případů buldozer. Jeho měrný tlak na podloží je ale velmi malý. Za zcela nevýhodné jsou považovány vibrační válce pro jejich malou účinnost vibrace na odpad. Za jediné vhodné řešení lze považovat použití kompaktoru (odpad hutní i drtí), který je vybavený rozhrnovací radlicí (Juchelková 2005).

#### 3.4.4.3 Vyrovnávací vrstva

Tuto vrstvu tvoří nejméně 0,25 m propustné zeminy nebo inertního jemnozrnného materiálu, uloženého na upraveném zhutnělém povrchu uloženého odpadu. Vyrovnávací vrstva zbavuje těleso nerovností, které vznikly nasypáním odpadu. Také omezuje nebezpečí porušení izolační vrstvy a umožňuje modelování tělesa. Ve chvíli, kdy v tělese skládky stále dochází ke vzniku skládkového plynu, pokládá se na vyrovnávací vrstvu ještě propustná vrstva o síle 0,25 m (Filip et al. 2006).

#### 3.4.4.4 Těsnící vrstva

Těsnící vrstva slouží k ochraně před účinkem srážkových a povrchových vod a zajišťuje neprodyšné uzavření skládky. Aplikace těsnící vrstvy je daná pro rekultivaci skládek skupiny S – OO a S – NO.

Skládky skupiny S – OO musí mít těsnící vrstvu která je tvořena fólií, bentonovitou matrací, případně jinou vrstvou s podobnými těsníci vlastnostmi. Zcela výjimečně se využívá zemní těsnění, protože to se na uložených odpadech špatně hutní. V tomto případě se tvoří zemní vrstva, která má tloušťku alespoň 0,6 m, a to po hutnění tří dílčích minerálních vrstev o tloušťce 0,2 m s koeficientem filtrace  $k_f \leq 1 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Povrch zemní vrstvy se musí chránit před vysycháním a rozpukáním. Fóliové nebo bentonitové těsnění musí mít zdůvodněnou tloušťku a zaručenou životnost 30 let. Fólie se chrání před porušením geotextilií, nebo třeba vhodnou zeminou.

Skládky skupiny S – NO musí mít dvě těsnící vrstvy. Buď zemní a fóliovou anebo jinou kombinaci. V tomto případě je pro zemní těsnící vrstvu, která je také minimálně o tloušťce 0,6 m vytvářené po 0,2 m zhutněných vrstvách, předepsán součinitel filtrace o řád nižší, tj.  $1 \cdot 10^{-9} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ . Pokud se použije těsnění dvěma fóliovými vrstvami, pak mezi nimi musí být minerální mezivrstva. Jiný způsob těsnění předpokládá obdobné těsnící vlastnosti. Pod těsnící vrstvu se umísťují zařízení na zkrácení doby péče o rekultivovanou skládku (Filip et al. 2006).

#### 3.4.4.5 Odvodnění

Nežádoucí vodu ze skládky je potřeba odvést pryč a k tomu nám slouží drenážní vrstva. Norma, která souvisí s průsakovými vodami ze skládek (ČSN 83 8033 Skládání odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek), definuje požadavky na zařízení drenážního systému, který lze rozdělit na horizontální drenáž a vertikální drenáž.

Horizontální drenáž je liniová, plošná nebo pásová. Je tvořena konstrukcí trativodu nebo systémem rýh a kanálku, které odvádějí vody. Jsou tvořeny z makadamu nebo hrubého šterku.

Vertikální drenáže jsou tvořeny ze svislých drénů, pískových pilotů nebo šterkových pilířů. Jíl je nepropustná vrstva, šterk slouží jako drenážní vrstva a písek jako filtrační nebo separační vrstva.

Další rozdělení podle použitého materiálů může být trubní (sběrně, svodné a kanálky) nebo plošné (kačírek, vrstva umělého nebo přírodního materiálu).

Drenážní systém je umístěn na geotextilii a ten je dosypán drenážní vrstvou. Voda odtéká sběrnými drény (kanálky, trubky) do svodných drénů vedené přes šachty a ty jsou vyústěny do bezodtokových nepropustných jámek (Filip et al. 2006).

#### 3.4.4.6 Odplynění

Skládky obsahující komunální a biologicky rozložitelné odpady musí obsahovat vhodný systém pro odvod a případné zpracování vznikajících plynů, které jsou výbušné, hořlavé, ekologicky nebezpečné. Odplyňovací systémy rozdělujeme na systémy, které jsou vybudovány současně se zakládáním skládky a na systémy vybudované až po dokončení skládkování



odpadů. Sběrná zařízení na odčerpávání skládkového plynu rozlišujeme podle způsobu jejich uspořádání na horizontální (vrty, drenáže), vertikální (sběrné studny, vrty) a kombinované. Způsoby zneškodnění odebíraného plynu mohou být pasivní – plyn uniká působením vlastního tlaku či aktivní – plyn je odsáván potrubím do sběrného a jímacího zařízení (Kudelová et al. 1999).

Pro komunální skládky musí být navržen odplyňovací systém, který obsahuje sběrné sítě a zařízení na využití skládkového plynu. Energetické využití skládkového plynu je možné v různých kombinacích podle velikosti produkce skládkového plynu a dále lokálních podmínek vývodu energie. Pokud skládkový plyn nesplňuje kvalitní parametry, je zapotřebí jeho přímé spalování bez využití (Benešová et al. 2011).

#### 3.4.4.7 Ochranná rekultivační vrstva

Jedná se o vrstvu, která zamezuje poškození rekultivované skládky meteorologickými a biologickými vlivy. Především omezuje množství vnikající vody. Nejvhodnějším materiálem jsou hlinité a písčitohlinité zeminy, který mají tloušťku alespoň 1 m. Součástí svrchní částí rekultivační vrstvy by měla být úrodná zemina, alespoň o tloušťce 0,3 m pro travnaté porosty. Pro stromy a keře by se potom mělo jednat o 0,5 m až 1,5 m.

Pro tvorbu vrstvy jde dále využít ukládaný odpad, ale jen za určitých podmínek, které vyplývají ze zákona o odpadech. Rekultivační vrstva se skládá z 30 % ornice či příměsí ornice s kompostem anebo 70 % zemina, která je chudá na živiny.

Zemina se pokládá na drenážní systém a až na zeminu je položena vrstva ornice (Filip et al. 2006).

#### 3.4.5 Biologická rekultivace (BR)

BR je technologický postup provedení biologických a agrotechnických opatření směřující k tvorbě nové svrchní vrstvy půdy a k vytvoření podmínek pro její zemědělské nebo lesnické využití (Voštová et al. 2009).

Jak už bylo řečeno rekultivace skládek je konečný proces jejich provozu a je rozdělena do dvou etap: technická rekultivace, tj. příprava podmínek pro biologickou rekultivaci a biologická rekultivace, tj. například zavedení specifických druhů rostlin do rekultivované oblasti. Koncepty biologického vývoje nadzemní skládky komunálního odpadu byly předmětem mnoha výzkumů. Studie zahrnovaly například technologii a velikost dávek zavlažování. Vzhledem k tomu, že svrchní vrstva skládky je vystavena vodní a větrné erozi, vyznačuje se nepříznivými fyzikálně – vodními vlastnostmi. Údržba travnaté vegetace, stromů a keřů, která v počáteční fázi rekultivace skládek není dostatečně vyvinutá, závisí na dodávce další vody zavlažováním. Pro udržení nejlepších vlhkostních podmínek horní vrstvy je nejvhodnější zavlažovací technologií poskytovat malé dávky vody s vysokou frekvencí. Aplikace zavlažování by měla být nepostradatelným postupem používaným pro účinnou a rychlou rekultivaci skládek (Stachowski et al. 2019).

Biologická rekultivace zahrnuje biologická a agrotechnická opatření směřující k tvorbě nové svrchní vrstvy půdy a k vytvoření podmínek pro její biologické, zemědělské nebo lesnické využití. V průběhu biologické rekultivace dochází v půdotvorných substrátech ke změnám

fyzikálních vlastností, vodního režimu, chemických, biochemických a mikrobiologických vlastností (Váňa & Slejška 1998).

Mezi hlavní činnosti BR patří návoz ornice, příprava půdy pro setí, ošetřování a hnojení porostů, sklizeň zelené hmoty, výsadba a ošetřování lesních porostů, ochrana proti poškození zvěří, prořezávky a tvarové řezy. Jakým způsobem se bude postupovat při biologické rekultivaci, záleží na způsobu využití rekultivované skládky. Mezi hlavní faktory ovlivňující druh biologické rekultivace patří tloušťka rekultivační vrstvy, vlastnosti zrekultivované půdy a druh rekultivačního substrátu (Váňa & Slejška 1998).

Biologická rekultivace je již tvořena na zcela technicky zrekultivované skládce, tj. po uzavření skládky, vyrovnaní povrchu, izolaci, těsnění, odvodnění skládky, odplynění skládky a na závěr po položení rekultivační vrstvy. Biologické rekultivace lze rozlišit na zemědělské, lesnické, sadovnické a ostatní (rekreační) (Váňa & Slejška 1998).

Základními typy BR skládek jsou: zemědělská a lesnická rekultivace a minoritně i ostatní postupy.



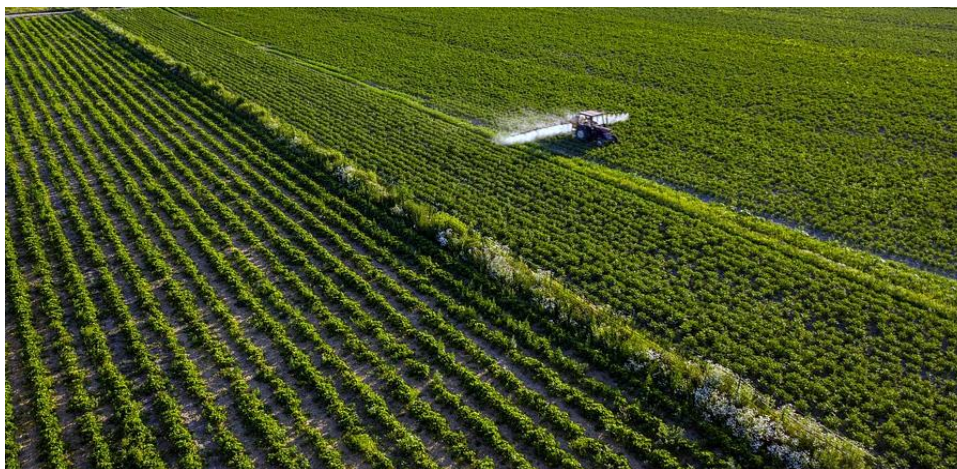
Obrázek 5: Rekultivace skládky Komárovice (dotaceu.cz 2008).

#### 3.4.5.1 Zemědělská rekultivace

Způsob rekultivace provádíme v návaznosti na to, co je pro nás výsledkem. Zda budeme usilovat, aby se na zrekultivované ploše vyskytovala ať už orná půda, louka, pastvina, zahrada, travní porost, dřeviny, či jiné zemědělské celky.

Důležitým prvkem při výběru rostlin jsou bohatě kořenící druhy trav a hluboce kořenící druhy jetelovin, které díky své bohaté kořenové soustavě dokážou zpevnit půdu a výrazně se podílet na celkové tvorbě půdního profilu.

Nejvhodnější trávni směsí je směs s protierozním účinkem, která je vhodná pro sušší lokality a lokality s nižší zásobou živin. U zemin s nedostatkem živin lze přihnojovat zeminu pomocí kompostu (Váňa & Slejška 1998).



Obrázek 6: Zemědělská rekultivace v Egyptě (Farmers Review Africa 2021).

#### 3.4.5.2 Lesnická rekultivace

Účelem lesnické rekultivace je tvorba lesních porostů. Týká se to buď lesů s primární hospodářskou funkcí, které budou sloužit při dřevozpracujícím průmyslu anebo lesů pro zvláštní určení. Mezi tento druh lesů patří lesy s ochrannou funkcí (půdotvorná, půdoochranná, vodní, asanační) a lesy sloužící k rekreačním účelům (lesní parky).

Tento typ rekultivace plní velice důležité funkce v krajině. Mezi tyto funkce patří ochrana před klimatickými změnami, hygienická a vodohospodářská funkce.

Tvorba lesního porostu závisí na výsadbě, volbě dřevin, prostorovém uspořádání dřevin a také na následné péči. Je potřeba využívat dřeviny, které kořenovým systémem neporuší izolační nepropustnou vrstvu (Filip & Oral 2003).

#### 3.4.5.3 Sadovnická rekultivace

Do sadovnické rekultivace, která někdy bývá považována za podmnožinu rekultivace zemědělské lze zařadit tvorbu ovocných sadů nebo okrasných parků. V mnoha případech se jedná o ozelenění plochy rekultivované skládky, která slouží k rekreačním účelům.

U sadovnické rekultivace, stejně jako u předchozích druhů rekultivací, je kladen důraz na nenáročné druhy dřevin. Pozornost je soustředěna na keře či malé stromy (Dimitrovský 2000).

#### 3.4.5.4 Ostatní rekultivace

Příkladem pro ostatní využití rekultivovaných ploch je hned několik. Využití pro ostatní účely se může týkat rekultivovaných ploch, které jsou umístěny na vhodných lokalitách pro to, aby zde mohla vzniknout nová stavba.

Do ostatní rekultivace zařazujeme plochy, které slouží k rekreačním účelům (golfová hřiště, koupaliště, jiná hřiště).

Zrekultivovanou oblast pro ostatní účely lze využít hned z několika hledisek:

- pro podnikatelské aktivity,
- kulturní a osvětové plochy,
- rekreační a ubytovací plochy,
- rekreační a sportovní plochy,
- ostatní veřejnou zeleň,
- jiné plochy (Dimitrovský 2000).



Obrázek 7: Terénní úpravy a rekultivace (mariuspedersen.sk 2021).



Obrázek 8: Rekultivace skládky (mariuspedersen.sk 2021).

## 3.5 Legislativa

Součástí rekultivace skládky jsou i legislativní opatření, které jsou nezbytná pro ochranu životního prostředí, ochranu obyvatel a regulaci dalších faktorů, které mohou být negativně ovlivněny vlivy působící ze skládky. Legislativní ustanovení, které zahrnuje zákony, nařízení a vyhlášky, musí být dodržována (Altman & Růžička 1996). Z těchto důvodů zde uvádím jejich přehled.

### 3.5.1 Zákony

Rekultivace skládky komunálních odpadů bezpochyby velice úzce souvisí s odpadovým hospodářstvím. Součástí legislativy odpadového hospodářství jsou zákony, jejichž cílem je zajistit vysokou životní úroveň ochrany životního prostředí a zdraví lidí. Dále se zákon týká předcházení vzniku odpadů a zacházení s nimi, v souvislosti s hierarchií odpadové hospodářství (MŽP 2022).

Mezi zákony řadíme:

- zákon č. 17/1992 Sb. – zákon o životním prostředí,
- zákon č. 123/1998 Sb. – zákon o právu na informace o životním prostředí
- zákon č. 100/2001 Sb. – zákon o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o posuzování vlivů na životní prostředí)
- zákon č. 541/2020 Sb. – zákon o odpadech,
- zákon č. 477/2001 Sb. – zákon o obalech a o změně některých zákonů (zákon o obalech)
- zákon č. 542/2020 Sb. – zákon o výrobních s ukončenou životností.
- zákon č. 334/1992 Sb. – zákon České národní rady o ochraně zemědělského půdního fondu
- zákon č. 149/2003 Sb. – zákon o uvádění do oběhu reprodukčního materiálu lesních dřevin lesnický významných druhů a umělých kříženců, určeného k obnově lesa a k zalesňování, a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o obchodu s reprodukčním materiálem lesních dřevin)
- zákon č. 289/1995 Sb. – zákon o lesích a o změně a některých zákonů (lesní zákon)
- zákon č. 254/2001 Sb. – zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon)
- zákon č. 201/2012 Sb. – zákon o ochraně ovzduší
- zákon č. 114/1992 Sb. – zákon České národní rady o ochraně přírody a krajiny
- zákon č. 25/2008 Sb. – zákon o integrovaném registru znečišťování životního prostředí a integrovaném systému plnění ohlašovacích povinností v oblasti životního prostředí a o změně některých zákonů
- zákon č. 76/2002 Sb. – zákon o integrované prevenci a o omezování znečištění, o integrovaném registru znečišťování a o změně některých zákonů (zákon o integrované prevenci) (MŽP 2022).

### 3.5.2 Vyhlášky

Povinností obce při nakládání s komunálními odpady je zajistit soustředování komunálních odpadů, které bylo plně převzato z vyhlášky č. 321/2014 Sb. Obec musí

zajistit místa pro oddělené soustředování odpadů po celý rok. Výjimkou jsou nebezpečné odpady, u těch je dostačující zajistit místo soustředění pouze dvakrát ročně (Vološinová et al. 2021).

Vyhláška č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady shrnuje problematiku, které v minulosti zřizovala řada vyhlášek (č. 382/2001 Sb., 383/2001 Sb., 384/2001 Sb., 294/2005 Sb., 321/2008 Sb., 341/2008 Sb., 374/2008 Sb., 387/2016 Sb. a 437/2016 Sb.). Tato vyhláška je určena k posílení ochrany životního prostředí podrobnější, ale přehlednější právní úpravou, která zajišťuje lepší kontrolu při dodržování veškerých povinností při nakládání s odpady a lepší vymahatelnost práva (Vološinová et al. 2021).

Další vyhláškou, týkající se skládkování odpadů je – vyhláška č. 8/2021 Sb. – vyhláška o Katalogu odpadů a posuzování vlastnosti odpadů (Katalog odpadů).

### 3.5.3 Normy

Mezi platné normy týkající se skládkování odpadů jsou:

- ČSN 83 8030 (838030) Skládkování odpadů – Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek,
- ČSN 83 8032 (838032) Skládkování odpadů – Těsnění skládek,
- ČSN 83 8033 (838033) Skládkování odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek,
- ČSN 83 8034 (838034) Skládkování odpadů – Odplynění skládek,
- ČSN 83 8035 (838035) Skládkování odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek,
- ČSN 83 8036 (838036) Skládkování odpadů – Monitorování skládek (MŽP 2022).

## 4 Závěr

V bakalářské práci jsem se zabýval rekultivací skládek komunálního odpadu. Cílem práce byla popsat rekultivaci a možnosti využití zrekultivované oblasti. Rekultivace skládek úzce souvisí s nakládáním s odpady. Převládajícím způsobem tohoto nakládání je skládkování odpadů, což je způsob odstraňování odpadů, při kterém jsou odpady uloženy na skládku. Hlavní komplikací skládky v krajině je znehodnocení půdy, tvorba výluhů a estetický vliv pro obyvatelstvo. Taková skládka může být později rekultivována a využita pro druhotné účely. Po provedené rekultivaci je důležité, aby se projevila účinnost v zamezení tvorby výluhů a bylo tak ochráněno životní prostředí.

Pod pojem skládka si každý vybaví hromadu odpadů na jednom místě, které znehodnocuje půdu. Nicméně zrekultivovaná oblast skládky může mít v konečném výsledku velmi pozitivní vliv na okolní obyvatele. Na zrekultivovaném místě může například vzniknout lesní park pro rekreaci, hřiště či jiné užitečné využití zrekultivované oblasti. Území bývalých skládek jako méně hodnotné plochy bývají vhodná například pro budování fotovoltaických elektráren či jiné průmyslové infrastruktury.

V bakalářské práci jsem popsal technickou rekultivaci, která se skládá ze všech potřebných činností, od počínaje uzavření skládky odpadů až po položení rekultivační vrstvy, které vedou k vytvoření podmínek pro uskutečnění biologické rekultivace.

Biologická rekultivace už je konečnou fází celého cyklu rekultivace. Jedná se o začlenění daného území do okolní krajiny. Po provedené rekultivace je území stále několik let monitorováno, aby se předešlo případné kontaminaci prostředí.

Postupy rekultivace skládek komunálního odpadu bývají odlišné, záleží samozřejmě na dané lokalitě, finančních prostředcích, samotné projektové dokumentaci a v následné realizaci. Cíl a hlavní smysl rekultivace ale zůstává stejný. Správně provedená rekultivace dokáže zcela začlenit dané území do okolního prostředí a nepředstavuje zátěž pro životní prostředí.

## 5 Literatura

- Altman V. 1996. Odpadové hospodářství. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Altman V, Růžička M. 1996. Technologie a technika skládkového hospodářství. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Arkharov IA, Simakova EN, Navadardyan. 2016. Landfill Gas as Feedstock for Energy and Industrial Processes. *Chemical and Petroleum Engineering* **52**:547-551.
- Balner P, Franková M. 2009. Hospodaření s odpady. EKO-KOM, Praha.
- Benešová L, Černík b, Doležalová M, Havránková V, Kotoulová Z, Marešová K. 2001. Komunální a podobné odpady. Bohumil Černík – ENZO, Praha.
- Čížek J, Lyerová J. 1921. Zemědělské, lesnické a parkové rekultivace skládek odpadů:studijní práva. Ústav vědeckotechnických informací pro zemědělství, Praha.
- Dimitrovský K. 2000. Zemědělské, lesnické a hydrické rekultivace území ovlivněných báňskou činností. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha.
- Filip J. 2002. Odpadové hospodářství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Filip J, Kotovicová J, Božek F. 2003. Komunální odpad a skládkování. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Filip J, Oral J. 2003. Odpadové hospodářství. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Gajalakshmi S, Abbasi SA. 2004. Earthworms and vermicomposting. *Indian Journal of Biotechnology* **3**:486-494.
- Goleuke CG. 1977. Biological reclamation of solid wastes. Rodale Press, United States.
- Hlavatá M, 2004. Odpadové hospodářství. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Horsák Z, Hřebíček J. 2014. Biodegradable Waste Management in the Czech Republic. A Proposal for Improvement. *Original research* **23**(6):2019-2025.
- Váňa J. 1993. Skripta z předmětu ekologie a ekotechnika. BIOM, Praha.
- Jaunich MK, Levis JW, DeCarolis JF, Gaston EV, Barlaz MA, Bartelt-Hunt SL, Jones EG, Hauser L, Jaikumar R. 2016. Characterization of municipal solid waste collection operations. *Resources, Conservation and Recycling* **114**:92-102.
- Juchelková D. 2005. Odpady, vedlejší produkty a nakládání s nimi. Vysoká škola báňská - Technická univerzita, Ostrava.



Kiris A, Saltabas F. 2011. The landfill gas management at sanitary landfill site and Istanbul case study. *Sigma Journal of Engineering and Natural Sciences Sigma Mühendislik ve Fen Bilimleri Dergisi* **3**:209-218.

Kizlink J. 1941. *Nakládání s odpady*. Fakulta chemická VUT v Brně, Brno.

Kudelová K, Jodlovská J, Šarapatka B. 1999. *Odpady*. Univerzita Palackého, Olomouc.

Kumari S, Ahirwal J, Maiti SK. 2022. Reclamation of industrial waste dump using grass-legume mixture: An experimental approach to combat land degradation. *Ecological Engineering* **174**:106443.

Kuraš M. 2014. *Odpady a jejich zpracování*. Vodní zdroje Ekomonitor, Chrudim.

Kvasničková D. 2004. *Základy ekologie*. JUDr. František Talián – FORTUNA, Praha.

Lagerkvist A. 1995. The landfill gas activity of the IEA bioenergy agreement. *Biomass and Bioenergy* **9**(1-5):399-413.

Laner D, Crest M, Scharff H, Morris JWF, Barlaz MA. 2012. A review of approaches for the long-term management of municipal solid waste landfills. *Waste Management* **32**(3):498-512.

Liu H, Li H, Chen B, Wang H, Fang Ch, Long Y, Hu L. 2022. The panorama of antibiotics and the related antibiotic resistance genes (ARGs) in landfill leachate. *Waste Management* **144**:19-28.

Madadian E, Haelszig JB, Pegg M, 2020. A Comparison of Thermal Processing Strategies for Landfill Reclamation: Methods, Products, and a Promising Path Forward. *Resources, Conservation and Recycling* **160**:104876.

Mi'min GF, Prawisudha P, Zaini IN, Muhammad A, Pasek AD. 2017. Municipal solid waste processing and separation employing wet terrefaction for alternative fuel production and aluminum reclamation. *Waste Management* **67**:106-120.

Ministerstvo životního prostředí. 2005. *Komunální odpady*. MŽP ČR, Praha

Ministerstvo životního prostředí. 2022. *Odpadové hospodářství*. Ministerstvo životního prostředí. Available from [https://www.mzp.cz/cz/odpadove\\_hospodarstvi](https://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi) (accessed 2022).

Moutushi T, Tupsakhare SS, Castaldi MJ. 2022. Abiotic decomposition of municipal solid waste under elevated temperature landfill conditions. *Science of The Total Environment* **823**:153685.

Nikulishyn V, Savchyn I, Lompad O, Lozynskiy V. 2020. Applying of geodetic methods for monitoring the effects of waste-slide at Lviv municipal solid waste landfill. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management* **13**:100291.

Pathasarathy P, Al-Ansari T, Mackey HR, Narayanan KS, McKay G. 2022. A review on prominent animal and municipal wastes as potential feedstocks for solar pyrolysis for biochar production. *Fuel* **316**:123378.

Pavlas M, Dvořáček J, Pitschke T, Peche R. 2020. Biowaste Treatment and Waste-To-Energy-Environmental Benefits. *Energies* **13**:1-17.

Prach K, Hobbs RJ. 2008. Spontaneous Succession versus Technical Reclamation in the Restoration of Disturbed Sites. *Editorial opinion* **16**(3):363-366.

Rodrigues S, Martinho G, Pires A. 2016. Waste collection systems, Part A: a taxonomy. *Journal of Cleaner Production* **113**:374-387.

Saxena V, Padhi SK, Dikshit PK, Pattanaik L. 2022. Recent developments in landfill leachate treatment: Aerobic granular reactor and its future prospects. *Environmental Nanotechnology Monitoring & Management* **18**:100689.

Shamshad K, Anjum R, Raza ST, Bazai NA, Ihtisham M. 2022. Technologies for municipal solid waste management: Current status, challenges, and future perspectives. *Chemosphere* **288**:132403.

Slovíčková P. 2017. Knowledge for market use 2017: People in economics-decisions, behavior and normative models. Decisions on municipal waste management in Europe. *International Scientific conference on Knowledge for Market Use-People in economics-decisions, behavior and normative models* **5**:570-577.

Stachowski P, Kraczkowska K, Oliskiewicz-Krzywicka A, Rolbiecki S, Rolbiecki R. 2019. Irrigation in the Reclamation of Municipal Waste Landfills. *Rocznik Ochrona Srodowiska* **21**:472-480.

Světová zdravotnická organizace Regionální úřadovna pro Evropu. 2000. *Skládky*. Fortuna, Praha.

Šťastná J. 2013. *Všechno, co potřebujete vědět o odpadech a neměli jste se koho zeptat*. EKO-KOM, Praha.

Vaverková M, Adamcová D, Winkler J, Eugeniusz K, Petrželová L, Macianová A. 2020. Alternative method of composting on a reclaimed municipal waste landfill in accordance with the circular economy: Benefits and risks. *Science of The Total Environment* **723**:137931.

Vaverková MD, Adamcová D, Winkler J, Koda E, Červenková J, Podlasek A. 2019. Influence of a Municipal Solid Waste Landfill on the Surrounding Environment: Landfill Vegetation as a Potential Risk of Allergenic Pollen. *Environmental Health* **16**(24):5064.

Víšek L. 1993. *Řízení skládkování tuhých komunálních odpadů: sborník přednášek*. Dům techniky ČSVTS, Ostrava.

Vološinová D, Kořínek R, Kučera J. 2021. Nakládání s komunálním odpadem ve světle nových předpisů. VTEI **5**:1-7.

Voštová V. 2009. Logistika odpadového hospodářství. České vysoké učení technické, Praha.

Vyas A, Prajapati P, Shah AV, Varjani A. 2022. Municipal solid waste management: Dynamics, risk assessment, ecological influence, advancements, constraints and perspectives. Science of The Total Environment **814**:152802.

Walosik A, Szajer J, Pawlas K, Zeber-Dzikowska I. 2021. Municipal waste and related health risks. Journal of Elementology **23**(6):573-582.

Wang C, Qin J, Qu Ch, Ran X, Liu Ch, Chen B. 2021. A smart municipal waste management system based on deep-learning and Internet of Things. Waste Management **135**:20-29.

Xu X, Yang Y. 2022. Municipal hazardous waste management with reverse logistics exploration. Energy Reports **8**:4649-4660.

Zpravodajství Evropský parlament. 2021. Nakládání s odpadem v EU: fakta a čísla (infografika). Zpravodajský Evropský parlament. Available from <https://www.europarl.europa.eu/news/cs/headlines/society/20180328STO00751/nakladani-s-odpadem-v-eu-fakta-a-cisla-infografika> (accessed march 2022).



