

**Univerzita Karlova**  
**Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Ekologie a ochrana prostředí  
Studijní obor: Ochrana životního prostředí



**Bc. Petra Kratochvílová**

## Vermikompostování odpadů z výroby tabákových produktů

Vermicomposting of wastes from tobacco products production

Diplomová práce

Vedoucí práce:

RNDr. Petra Innemanová, Ph.D.

Praha, 2024

Prohlášení Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci zpracovala samostatně, a že jsem uvedla všechnu použitou literaturu a informační zdroje. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného akademického titulu.

V Praze dne

.....

Podpis

## **Poděkování**

Největší poděkování patří mojí školitelce, RNDr. Petře Innemanové, Ph.D., za cenné rady, inspirativní nápady a konstruktivní připomínky, které mě provázely po celou dobu experimentů i psaní této diplomové práce. Velmi si vážím její rychlé a vstřícné komunikace, která není vždy samozřejmostí, a ochoty pomoci kdykoliv to bylo potřeba.

Dále děkuji za pomoc a poskytnutí zázemí Filipu Křivohlavém při měření koncentrace kovů a Mgr. Aleně Nehasilové, Ph.D. při stanovení obsahu nikotinu.

Závěrem děkuji všem, kteří mi byli během zpracování této práce oporou.

## **Abstrakt**

Tato diplomová práce se zaměřuje na výzkum možnosti využití vermikompostování pro zpracování odpadu z výroby tabákových produktů, konkrétně drcených cigaretových kartonů, v kombinaci s čistírenskými kaly. První část práce analyzuje jednotlivé složky tohoto odpadu z hlediska jejich potenciální toxicity a vlivu na proces vermikompostování. Následně je v pilotním testu ověřena použitelnost cigaretové drti jako podestýlkového materiálu (bedding) při vermikompostování čistírenských kalů. Součástí výzkumu je hodnocení ekotoxicity výsledného vermikompostu pomocí testu klíčivosti semen hořčice bílé, stejně jako měření koncentrace nikotinu, těžkých kovů, pH a konduktivity.

Provedené laboratorní a pilotní experimenty ukázaly, že cigaretová drť, i přes přítomnost potenciálně toxických látek, může být použita při vermikompostování bez negativního dopadu na životaschopnost žížal. Testy klíčivosti semen neprokázaly stimulační účinek, naopak vykazaly inhibici klíčivosti u všech zkoumaných vzorků. Výsledný produkt vermikompostování cigaretové drti, síťovaný na frakci <6 mm obsahoval problematické zbytky materiálů, jako jsou fólie nebo papírky z vnitřní části krabiček, což komplikuje jeho jednoznačné doporučení pro aplikaci na zemědělskou půdu. Bylo rovněž zjištěno, že některé složky cigaretové drti, například filtry vyrobené z acetátu celulózy, jsou během standardní doby vermikompostování prakticky nerozložitelné. Další potenciální riziko představuje obsah nikotinu, který by mohl ovlivnit bezpečnost a využití výsledného produktu. Zároveň však nikotin vykazuje pesticidní a insekticidní vlastnosti, což by mohlo mít na růst rostlin i pozitivní vliv. Tyto skutečnosti zdůrazňují potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na optimalizaci procesu a eliminaci environmentálních rizik

Práce poukazuje na to, že při použití ekologičtějších materiálů v cigaretových kartonech (cigaretové drti) a optimalizaci procesu by tento přístup mohl nalézt širší využití. Současně zdůrazňuje potřebu dalších výzkumů zaměřených na zlepšení rozkladu problematických složek, minimalizaci environmentálních rizik a prozkoumání možné přidané hodnoty produktu díky obsahu nikotinu. Výsledky této práce přispívají k diskusi o využití odpadních materiálů v oběhovém hospodářství a představují praktický příklad možného udržitelného řešení, které jsou dnes pro velké podniky z environmentálních i legislativních důvodů více než žádoucí.

**Klíčová slova:** Vermikompostování, cigaretová drť, čistírenský kal, žížaly

## **Abstract**

This thesis explores the potential use of vermicomposting for processing waste from tobacco product manufacturing, specifically shredded cigarette cartons, in combination with sewage sludge. The first part analyzes the individual components of this waste in terms of their potential toxicity and impact on the vermicomposting process. Subsequently, a pilot test examines the viability of using shredded cigarette waste as bedding material for vermicomposting sewage sludge. The research includes assessing the ecotoxicity of the resulting vermicompost through seed germination tests, and measuring nicotine concentration, heavy metals, pH, and conductivity.

Laboratory and pilot experiments showed that, despite the presence of potentially toxic materials, shredded cigarette waste can be utilized in vermicomposting without negatively impacting earthworm viability. Seed germination tests did not show any stimulating effect and instead exhibited inhibition across all tested samples. The resulting vermicompost from shredded cigarette waste, sieved to a fraction of <6 mm, contained problematic residues such as foils and paper strips from inside cigarette packages, complicating its clear recommendation for application on agricultural land. Additionally, some components of the shredded cigarette waste, such as filters made from cellulose acetate, were found to be non-degradable during standard vermicomposting periods. Another potential risk is the presence of nicotine, which could affect the safety and utility of the final product. However, nicotine also exhibits pesticidal and insecticidal properties, which might have a positive impact on plant growth. These factors highlight the need for further research focused on optimizing the process and eliminating environmental risks.

The thesis suggests that by using more ecologically friendly materials in shredded cigarette cartons and optimizing the process, this approach could find broader applications. It also emphasizes the need for further research aimed at improving the degradation of problematic components, minimizing environmental risks, and exploring the potential added value of the product due to its nicotine content. The findings of this thesis contribute to the discussion about utilizing waste materials in a circular economy, offering a practical example of a possible sustainable solution that is increasingly desirable for large companies from both environmental and legislative perspectives.

**Key words:** Vermicompost, shredded cigarette waste, sewage sludge, worms

## **Seznam zkratk**

TKO	Tuhý komunální odpad
WHO	World Health Organization
ESG	Environmentální oblast, sociální oblast, oblast řízení při reportování
PAH	Polycyklické aromatické uhlovodíky
BTEX	Cyklické uhlovodíky (benzen, toluen, ethylbenzen, xylen)
LC/MS	Kapalinová chromatografie s hmotnostní detekcí

# Obsah

<b>1</b>	<b><u>ÚVOD .....</u></b>	<b>9</b>
<b>2</b>	<b><u>CÍL PRÁCE A HYPOTÉZY .....</u></b>	<b>10</b>
<b>3</b>	<b><u>TEORETICKÁ ČÁST.....</u></b>	<b>11</b>
<b>3.1</b>	<b>VERMIKOMPOSTOVÁNÍ.....</b>	<b>11</b>
3.1.1	MATERIÁLY VHODNÉ PRO VERMIKOMPOSTOVÁNÍ.....	12
3.1.2	TYPY VYLEHČUJÍCÍCH MATERIÁLŮ A JEJICH VLIV NA PROCES .....	14
<b>3.2</b>	<b>ODPAD Z TABÁKOVÝCH PRODUKTŮ .....</b>	<b>15</b>
3.2.1	ZPRACOVÁNÍ CIGARETOVÉHO ODPADU .....	17
<b>3.3</b>	<b>VLIV TABÁKOVÉHO ODPADU NA ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ.....</b>	<b>19</b>
3.3.1	POTENCIÁLNÍ TOXICKÉ VLASTNOSTI TABÁKOVÉHO ODPADU .....	19
<b>3.4</b>	<b>VERMIKOMPOSTOVÁNÍ ČISTÍRENSKÝCH KALŮ .....</b>	<b>21</b>
3.4.1	VYUŽITÍ PRODUKTU V ZEMĚDĚLSTVÍ.....	22
<b>3.5</b>	<b>LEGISLATIVA.....</b>	<b>22</b>
<b>3.6</b>	<b>UDRŽITELNOST A ESG.....</b>	<b>24</b>
<b>4</b>	<b><u>PRAKTICKÁ ČÁST .....</u></b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Hlavní cíl výzkumu.....</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>CHEMIKÁLIE .....</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>VYUŽITÉ PŘÍSTROJE A MATERIÁL .....</b>	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>PROGRAMY .....</b>	<b>27</b>
<b>4.5</b>	<b>LABORATORNÍ POKUS S JEDNOTLIVÝMI MATERIÁLY .....</b>	<b>27</b>
4.5.1	VSTUPNÍ MATERIÁLY – LABORATORNÍ POKUS .....	28
4.5.2	DESIGN LABORATORNÍHO POKUSU .....	28
4.5.3	PRACOVNÍ POSTUP – LABORATORNÍ POKUS .....	29
<b>4.6</b>	<b>PILOTNÍ TEST S CIGARETOVOU DRTÍ .....</b>	<b>30</b>
4.6.1	VSTUPNÍ MATERIÁLY – PILOTNÍ TEST .....	31
4.6.2	DESIGN PILOTNÍHO TESTU .....	31
4.6.3	PRACOVNÍ POSTUP – PILOTNÍ TEST.....	32
<b>4.7</b>	<b>EKOTOXIKOLOGICKÝ TEST KLÍČIVOSTI SEMEN HOŘČICE BÍLÉ .....</b>	<b>34</b>

4.7.1	PRINCIP TESTU KLÍČIVOSTI.....	34
4.7.2	HOŘČICE BÍLÁ .....	34
4.7.3	PRACOVNÍ POSTUP – TEST KLÍČIVOSTI .....	35
<b>4.8</b>	<b>STANOVENÍ KONCENTRACE NIKOTINU .....</b>	<b>37</b>
4.8.1	PRINCIP TESTU – KONCENTRACE NIKOTINU .....	37
4.8.2	PRACOVNÍ POSTUP – KONCENTRACE NIKOTINU .....	38
<b>4.9</b>	<b>STANOVENÍ KONCENTRACE KOVŮ .....</b>	<b>38</b>
4.9.1	PRACOVNÍ POSTUP – KONCENTRACE KOVŮ.....	38
<b>4.10</b>	<b>VÝSLEDKY .....</b>	<b>40</b>
4.10.1	LABORATORNÍ POKUS S JEDNOTLIVÝMI MATERIÁLY .....	40
4.10.2	PILOTNÍ TEST CIGARETOVOU DRTÍ.....	41
4.10.3	KONDUKTIVITA A PH .....	43
4.10.4	EKOTOXIKOLOGICKÝ TEST KLÍČIVOSTI SEMEN HOŘČICE BÍLÉ .....	45
4.10.5	KONCENTRACE NIKOTINU A KOTININU .....	47
4.10.6	KONCENTRACE KOVŮ V LABORATORNÍM POKUSU .....	50
<b>5</b>	<b><u>DISKUSE.....</u></b>	<b>52</b>
<b>6</b>	<b><u>ZÁVĚR.....</u></b>	<b>59</b>
<b>7</b>	<b><u>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....</u></b>	<b>61</b>
<b>8</b>	<b><u>PŘÍLOHY.....</u></b>	<b>73</b>

## Seznam příloh

### Tabulky

Tabulka 1 - Hmotnostní zastoupení materiálů v kartonech	30
Tabulka 2 - Podmínky ekotoxikologického testu se semeny hořčice bílé	35
Tabulka 3 - Počet žížal na začátku a na konci laboratorního pokusu	40
Tabulka 4 - Míra rozkladu jednotlivých materiálů	41
Tabulka 5 - Počet žížal na začátku a na konci pilotního testu	42
Tabulka 6 - Koncentrace vybraných kovů – laboratorní pokus s jednotlivými materiály	50

### Grafy

Graf 1 - Procentuální zastoupení frakcí u pilotního testu	43
Graf 2 - Konduktivita a pH u laboratorního pokusu s jednotlivými materiály	44
Graf 3 - Konduktivita a pH u pilotního testu s cigaretovou drtí	45
Graf 4 - Inhibice růstu (%) a germination index (%) - laboratorní pokus s jednotlivými materiály	46
Graf 5 - Inhibice růstu (%) a germination index (%) - pilotní test s cigaretovou drtí	47
Graf 6 - Koncentrace nikotinu a kotininu – laboratorní pokus s jednotlivými materiály	48
Graf 7 - Koncentrace nikotinu a kotininu – pilotní test s cigaretovou drtí	49
Graf 8 - Podíl odbourávání nikotinu ve prospěch kotininu – pilotní test s cigaretovou drtí	50

### Obrázky

Obrázek 1 - Design pokusu s jednotlivými materiály	29
Obrázek 2 - Design pokusu s cigaretovou drtí	31
Obrázek 3 - Založení pokusu s cigaretovou drtí	32
Obrázek 4 - Odebrání dvou protilehlých čtvrtin při ukončení pokusu s cigaretovou drtí	33
Obrázek 5 - Ilustrativní znázornění měření délky kořene hořčice bílé	36

# 1 Úvod

V posledních desetiletích se problematika nakládání s odpady stala jednou z největších environmentálních výzev na globální úrovni. Prudký nárůst množství odpadu je způsoben nejen rostoucí populací a intenzivním průmyslovým rozvojem, ale také zvýšenou spotřebou jednorázových produktů a jejich obalů. Jednou ze specifických kategorií odpadu, která je často přehlížena, je odpad z tabákového průmyslu. Přestože je kouření dlouhodobě spojováno s negativními dopady na zdraví, méně pozornosti se věnuje environmentálním důsledkům produkce a likvidace tabákových produktů.

Odpad z tabákového průmyslu zahrnuje širokou škálu materiálů – od zbytků vznikajících při zpracování tabáku přes obalové materiály až po cigaretové filtry, které se stávají dominantní složkou odpadu v městském i přírodním prostředí. Každoročně je celosvětově vyrobeno přes šest bilionů cigaret, z nichž odhadem 4,5 bilionu skončí jako odpad v přírodě. Cigaretové filtry, tvořené především acetátem celulózy, jsou biologicky nerozložitelné a obsahují množství toxických látek, které se uvolňují do půdy a vodních zdrojů. Dalším problémem, obzvláště v České republice, je legislativní povinnost likvidace neprodaných tabákových produktů, což vede ke každoročnímu znehodnocení stovek tun cigaretových kartonů formou spalování. Tento proces nejenže spotřebovává významné množství energie, ale také přispívá k emisím skleníkových plynů a dalším negativním dopadům na životní prostředí.

Vermikompostování se v posledních letech ukázalo jako slibná technologie pro ekologické zpracování různých typů organických odpadů. Tento biotechnologický proces, založený na aktivitě žížal a jejich symbiotických mikroorganismů, umožňuje přeměnu široké škály organického odpadu na kvalitní hnojivo, známé jako vermikompost. Produkt vermikompostování je bohatý na živiny, jako jsou dusík, fosfor a draslík, a zároveň obsahuje mikroorganismy podporující zdraví a úrodnost půdy. Proces také přispívá k eliminaci těžkých kovů, patogenů a dalších toxických látek, což jej činí atraktivním řešením pro nakládání s problematickými odpady. Přestože vermikompostování bylo úspěšně aplikováno na komunální a zemědělské odpady, jeho využití pro zpracování odpadu z tabákového průmyslu je stále málo prozkoumané.

## 2 Cíl práce a hypotézy

### Cíle

1. Hodnocení ekotoxicity jednotlivých složek cigaretového odpadu
2. Testování využití cigaretové drti jako podestýlkového materiálu (bedding) při vermikompostování
3. Hodnocení jakostních parametrů výsledného vermikompostu (pH, konduktivita, koncentrace nikotinu, koncentrace těžkých kovů)

### Hypotézy

**H1:** *V současnosti využívané materiály pro výrobu cigaret jsou během standardní doby vermikompostování nerozložitelné*

Hypotéza poukazuje na problém nerozložitelnosti materiálů, jako jsou cigaretové filtry z acetátu celulózy, během běžné doby vermikompostování. V případě potvrzení, že tyto materiály nepodléhají rozkladu, bude nutné zvažovat jiné přístupy k jejich ekologické likvidaci nebo jejich náhradu za jiné, lépe rozložitelné materiály.

**H2:** *Při využití drcených cigaret jako bedding materiálu při vermikompostování čistírenských kalů nebude docházet ke zvýšení ekotoxicity kompostu*

Hypotéza předpokládá, že použití drcených cigaret jako bedding materiálu při vermikompostování čistírenských kalů nebude mít negativní vliv na životaschopnost žížal a neovlivní negativně ekotoxicitu výsledného kompostu. Pokud se hypotéza potvrdí, může to znamenat, že cigaretový odpad lze bezpečně využít v tomto procesu.

## 3 Teoretická část

### 3.1 Vermikompostování

Vermikompostování je biotechnologický proces využívající specifické druhy žížal k přeměně širokého spektra organického odpadu na vysoce kvalitní konečný produkt, známý jako vermikompost (Chattopadhyay 2012). V přírodě žížaly hrají klíčovou roli při rozkládání odumřelých organických zbytků, jako jsou listí, tráva a zvířecí trus, čímž přispívají k tvorbě půdní struktury (Abbasi et al. 2015). Žížaly konzumují velké množství materiálu vzhledem ke své hmotnosti, přičemž pouze 5–10 % využijí na budování své biomasy a zbytek vyloučí (Chattopadhyay 2012). Při tvorbě vermikompostu jsou kromě žížal důležité také mikroorganismy, které biochemicky rozkládají organické polymery na monomery, což uvolňuje energii a živiny. Mikroorganismy se nacházejí také ve střevech žížal, kde symbiotický vztah mezi mikroby a žížalami napomáhá efektivnějšímu rozkladu (Enebe a Erasmus 2023). Díky průchodu materiálu střevy žížal je vermikompostování rychlejší než klasické kompostování (Thakur et al. 2021). Žížaly navíc v kompostu plní funkce fyzikálního a mechanického rozkladu organického materiálu, čímž zvětšují jeho specifický povrch a umožňují přístup většímu množství mikroorganismů. Jejich přínos rovněž spočívá v provzdušňování půdy. Proces vermikompostování také snižuje C:N poměr a zvyšuje obsah dalších biogenních prvků, jako je draslík a fosfor (Enebe a Erasmus 2023). Na zemědělské univerzitě v Indonésii zkoušeli v rámci pokusu přidat vermikompost jako organické hnojivo při pěstování hořčice zelené. Výsledkem byl významný nárůst koncentrací všech tří zmíněných biogenních prvků (N, P, K) (Marbun et al. 2024). Benefitem vermikompostování také je, že žížaly dokážou ze substrátu odstranit těžké kovy a přeměnit je na netoxické formy (Thakur et al. 2021). Další výhody spojené s vermikompostem jsou popsány v 2.2.2 této práce.

Proces vermikompostování lze rozdělit na dvě fáze související s aktivitou žížal. Při první fázi, neboli fázi aktivní, žížaly rozkládají organický materiál a mění jeho fyzikální strukturu i mikrobiální složení. Při druhé fázi, fázi zrání, se žížaly přesouvají k novějším vrstvám nestráveného substrátu a mikroorganismy dále zpracovávají materiál, který prošel trávicím procesem žížal. Doba trvání fáze zrání není pevně stanovená, protože závisí na

efektivitě aktivní fáze, která je ovlivněná druhem a hustotou žížal a množstvím aplikovaných organických zbytků. Předpokládá se, že vermikompost dosáhne nejvhodnějších podmínek, pokud jde o jeho biologické vlastnosti podporující růst rostlin a obranu proti nemocem, po určité době zrání. Načasování těchto fází procesu je však málo známé (Gómez-Brandón a Domínguez 2014).

Nejčastěji používaný druh žížal pro vermikompostování odpadů je podle řešerše ve studii Ratnasari et al. epigeický druh *Eisenia fetida*. Kromě *E. fetida* jsou pro vermikompostování používány také druhy jako *Eudrilus eugeniae*, *Amyntas robustus* a *Aporrectodea caliginosa*. (Ratnasari et al. 2023). Dle Ahmee et al. dokáže 5 kg žížal (cca 10 000 ks) za pouhých 30 dní zpracovat až 1 tunu odpadu, pokud jsou dodrženy optimální podmínky, za které se považuje převážně teplota 20–30°C, a vlhkost 60–70 % (Ahmee a Abebe 2020).

### **3.1.1 Materiály vhodné pro vermikompostování**

Vermikompostování představuje perspektivní metodu stabilizace různých druhů organických odpadů a zároveň přináší řešení dvou současných výzev: efektivního nakládání s pevnými odpady a zlepšení úrodnosti půdy. Technologie vermikompostování poskytují alternativní způsob recyklace domácího, zemědělského a komunálního odpadu (Lirikum et al. 2022).

Podle Abbasi et al. se vermikompostování v komerčním měřítku primárně využívá ke zpracování zvířecího hnoje nebo potravinového odpadu. Zmíněný kolektiv autorů ve své studii zkoumal publikace zaměřené na vermikompostování v menším měřítku a zjistil, že většina těchto studií využívá společně s rostlinným odpadem zvířecí hnůj. Nicméně se podařilo prokázat, že při použití vysokorychlostního procesu, který se vyznačuje velkou plochou oproti objemu, je tvorba vermikompostu rychlejší a efektivnější bez přidání zvířecího hnoje (Abbasi et al. 2015).

I když výše zmíněná studie tvrdí, že se vermikompostování využívá převážně ke zpracování zvířecího hnoje a potravinového odpadu, v menším měřítku bylo provedeno několik výzkumů, které zkoušejí využít tento proces také pro nakládání s mnoha dalšími druhy odpadů. Nunes et al. například využili technologii pro nakládání s průmyslovým

odpadem z koželužny. Výsledkem je zjištění, že žížaly jsou mimo jiné schopny transformovat  $\text{Cr}^{\text{IV}}$  na  $\text{Cr}^{\text{III}}$ , což vedlo ke snížení hodnot pod detekovatelnou hodnotu pro všechny varianty vermikompostu v pokusu. Vzhledem ke svým zjištěním studie podporuje obecnou myšlenku, že vermikompostování by mohlo být zavedeno jako účinná technologie pro zpracování průmyslového odpadu (Nunes et al. 2016). Singh et al. si uvědomili nezbytnost efektivního nakládání s bylinným farmaceutickým odpadem, jelikož jeho produkce je v Indii vzhledem k její dlouhé historii značně vysoká. Potvrdili závěry z kapitol 2.2 a 2.2.2 této práce, kde bylo uvedeno, že při vermikompostování dochází ke zvýšení dostupnosti fosforu (P) a draslíku (K) a zároveň ke snížení C:N poměru. Na základě těchto zjištění došli k závěru, že vermikompostování je vhodnou metodou pro zpracování bylinného farmaceutického odpadu, přičemž výsledný produkt má vlastnosti, které ho činí vhodným pro využití v zemědělství (Singh a Suthar 2012). Rupani et al. zkoumali potenciál využití vermikompostování pro zpracování odpadu z výroby palmového oleje, který je charakterizován vysokou chemickou a biologickou spotřebou kyslíku, což negativně ovlivňuje životní prostředí, pokud není tento odpad náležitě ošetřen. Výsledky jejich studie potvrzují, že vermikompostování je vhodným způsobem, jak tyto nežádoucí vlastnosti odstranit a získat kvalitní produkt pro zemědělské účely, konkrétně pro pěstování mungo fazolí (Rupani et al. 2017). Dle studie Karmegam et al. je proces vermikompostování vhodný i pro nakládání s odpadem z dřeně kokosových ořechů, což je persistentní lignocelulózový tmelící materiál vláken kokosových slupek (Karmegam et al. 2021).

Kapitola v knize od Singha a Sinha uvádí celou řadu materiálů, které jsou vhodné k vermikompostování. Z velké části se autoři shodují v již zmíněných materiálech, jako jsou organické zbytky potravin z domácností nebo restaurací, přes zahradní odpad nebo čistírenské kaly. Uvádí ale také, že žížaly jsou schopné rozložit i jateční odpad ve formě obsahu střev z poraženého dobytka a ptáků (Singh a Sinha 2022).

Z pohledu spíše domácího vermikompostování autoři knihy *Handbook on vermicomposting* popisují, že žížaly ve vermikompostu lze krmit i čajovými sáčky, kávovou sedlinou a filtry, vaječnými skořápkami, zbytky avokáda nebo dokonce prachem z vysavače (Singh 2014).

### 3.1.2 Typy vylehčujících materiálů a jejich vliv na proces

Pro zajištění maximální efektivity vermikompostování je důležité zajistit žížalám mimo jiné i vhodnou podestýlku, označovanou jako bedding. Pro úspěšné vermikompostování jsou důležité její vlastnosti, zejména schopnost udržovat správnou úroveň vlhkosti a umožňovat dostatečné provzdušnění (Agegnehu et al. 2018). Podle Ahmee et al. se jako nejběžnější podestýlkové materiály využívají noviny, kokosová vlákna nebo drcený karton (Ahmee a Abebe 2020). Optimální vlhkost by se měla pohybovat v rozmezí 50–80 %, nicméně 90 % je dle Ali et al. ještě považováno za účinné (Ali et al. 2015). Proto je volba materiálů, které budou pro podestýlku použity, zásadní (Agegnehu et al. 2018). Při nadměrné vlhkosti v kombinaci se špatným provzdušněním se prostředí vermikompostu stává anaerobní a neslučitelné se životem žížal (Ahmee a Abebe 2020). Například Keen et al. ve své studii využívali různé druhy papírového odpadu jako bedding materiály za účelem nalezení vhodného využití tomuto odpadu. Zjistili, že papírnický odpad lze pro tento účel využít. Ze všech zkoumaných materiálů měly jako bedding materiál nejlepší vlastnosti noviny, následované bílým a hnědým papírem (John Keen et al. 2021). Dále bylo zjištěno, že vhodným bedding materiálem můžou být také listy stévie nebo stonky kukuřice (Agegnehu et al. 2018).

#### Výhody vermikompostování

Jednou z nesporných výhod vermikompostování je jeho nízká finanční náročnost, jelikož jde o proces s výrazně nižšími provozními náklady ve srovnání s jinými způsoby nakládání s odpady (Ducasse et al. 2022). Thakur et al. popisují vermikompostování jako produktivní, ekologickou a snadno realizovatelnou metodu nakládání s odpadem. Autoři dále zmiňují, že metoda je vhodná pro uplatnění v udržitelném zemědělství díky jejím příznivým vlastnostem z pohledu hospodárnosti, časové úspory, reprodukovatelnosti, spolehlivosti a v neposlední řadě ekologičnosti (Thakur et al. 2021). Vyrobený vermikompost je bohatý na mikro a makroživiny, jako jsou vápník (Ca), hořčík (Mg), zinek (Zn), bór (B), fosfor (P), draslík (K) a dusík (N). Gómez-Brandón a Domínguez přirovnali vermikompost k rašelině, a to kvůli jeho vysoké pórovitosti (Gómez-Brandón a Domínguez 2014). Vermikompost obsahuje také užitečné půdní mikroorganismy, například bakterie fixující dusík a bakterie solubilizující fosfáty, a růstové stimulanty a hormony, jako jsou

auxiny, gibbereliny a cytokininy. Díky těmto vlastnostem může být vermikompost použit jako organické hnojivo podporující správný růst rostlin. Navíc může sloužit jako ekologická náhrada za škodlivá anorganická hnojiva, což podporuje výše zmíněné tvrzení, že vermikompost je vhodným nástrojem pro ekologické zemědělství (Lirikum et al. 2022).

Na druhou stranu, negativním aspektem vermikompostování může být jeho náročnost na stabilitu hodnot pH, vlhkosti a teploty, které musí být během procesu pečlivě kontrolovány (Rostami 2011). Žížaly jsou podle práce Clarka (2023) schopny hodnotu výrazně upravit již v průběhu jednoho měsíce. Při vermikompostování hroznových matolin pozoroval autor na začátku vermikompostování velmi kyselý pH (3,73), přičemž již po čtyřech týdnech vzrostla jeho hodnota díky aktivitě žížal na 8,53 (Clark 2023).

## **3.2 Odpad z tabákových produktů**

Odpad patří v kontextu 21. století k jednomu z největších problémů, přičemž s rapidním růstem populace se zvyšuje i jeho množství. Nesprávná likvidace odpadu znečišťuje ulice, vodní plochy a životní prostředí celkově (Kundariya et al. 2021). Největší množství odpadu vzniká ve městech, což je do značné míry důsledkem rychlé urbanizace a rostoucí populace v těchto oblastech. Největší měrou v produkci odpadu přispívá USA, Čína, Brazílie, Japonsko, Německo a Indie (Kundariya et al. 2021). Ačkoliv je celková produkce odpadu celosvětově jistě palčivým problémem, v kontextu této práce je relevantní zaměřit se blíže pouze na cigaretový odpad. Mezi největší producenty tabákových produktů na světě patří rovněž Čína, a to společně s Brazílií a Indií (World Health Organization 2017). Ročně je celosvětově vyrobeno přes šest bilionů cigaret, z čehož skončí v životním prostředí 4,5 bilionu (Araújo a Costa 2019b).

Dle americké studie Barnes et al., která se zabývá regulacemi v oblasti odhazování cigaretových nedopalků, je ročně celosvětově vykouřeno více než 5 bilionů cigaret (Barnes 2011), přičemž produkce přesahuje 6 bilionů (Zafeiridou M et al. 2018). Nedopalky tvoří z pohledu počtu odhadem 30 % celkového odpadu, což z nich činí nejběžnější odpad na světě, a to zejména ve městech a na plážích. 99 % vyprodukovaných cigaret obsahuje filtr, který ve volné přírodě degraduje velice pomalu a stává se tak masou potenciálně toxického odpadu (Barnes 2011). Hmotnost dvaceti cigaretových filtrů činí 3,4 g (Kathleen M 2000).

Na základě této hodnoty se odhaduje, že množství odpadu vzniklého z cigaret spotřebovaných v USA v roce 2011 (292,8 miliard cigaret) by vážilo přibližně 49,8 milionů kilogramů. Tento odhad přitom nezahrnuje hmotnost zbytkového tabáku, vyřazených obalů, zapalovačů, zápalek ani jiných tabákových produktů, jako jsou doutníky, elektronické cigarety a bezdýmny tabák. (Novotny a Slaughter 2014) V globálním kontextu je potom hmotnost vyhozených nedopalků přibližně 1,2 milionu tun ročně (Ghasemi et al. 2022).

Cigaretový filtr je vyroben z acetátu celulózy, který má velmi dlouhou životnost, proto mají toxické látky dostatek času se vyplavit do životního prostředí (Yousefi et al. 2021). Rešeršní studie Araújo et al. popisuje, že napříč zkoumanými studiemi neexistuje shoda v klasifikaci odpadu ve formě cigaretových nedopalků. V 19 % zkoumaných studií jsou klasifikovány jako plastový odpad a v dalších 16 % jsou zařazeny do izolované kategorie (Araújo a Costa 2019a). Zajímavým zjištěním, které popisuje Americký národní institut pro rakovinu, je, že cigaretové filtry nijak nesnižují škodlivost kouření na lidské zdraví (U.S. DEPARTMENT OF HEALTH a AND HUMAN SERVICES, 2001). Z tohoto zjištění tedy vyplývá, že cigaretové filtry by z pohledu zdravotních rizik mohly být bez obav eliminovány a životní prostředí by tak bylo ušetřeno o značné množství potenciálně toxického odpadu.

Ve studii Slauhteera et al. výzkumníci porovnávali toxicitu ve výluzech z filtru nevykouřených cigaret, filtru z vykouřených cigaret se zbytkem tabáku a filtru z vykouřených cigaret beze zbytku tabáku. Výsledkem je, že všechny tři varianty jsou toxické pro použité druhy mořských a sladkovodních organismů, konkrétně např. *Daphnia magna* nebo *Pimephales promelas* (střevli sladkovodní) (Slaughter et al. 2011). Zjištěním relevantním pro tuto studii je, že i nevykouřené filtry jsou akutně toxické pro vodní organismy, pokud se v určitém množství vyluhují do vody.

Cigaretové nedopalky jsou tedy biologicky nerozložitelné a toxické, ale nejspíše kvůli jejich malé velikosti si lidé tyto faktory neuvědomují a jejich odhození do volné přírody nevnímají jako velký problém. Ghasemi et al. uvádí, že 76–97 % nedopalků je volně odhozeno, což zajišťuje, jak již bylo zmíněno, přímé vyplavování nebezpečných látek do životního prostředí. Uvádí taky, že kuřáci často vnímají nedopalky jako biologicky rozložitelný odpad (Ghasemi et al. 2022).

Nejen cigaretové nedopalky jsou z pohledu výroby cigaret problematické. V kontextu České republiky je problematický také odpad, který vzniká z důvodu legislativního nastavení, a to konkrétně nutnost fyzické likvidace již vyrobených kartonů cigaret, například při změně spotřební daně. Tato legislativa nutí tabákové společnosti zbavovat se již vyrobených produktů, které se kromě již neaktuální sazby daně na nálepce v žádném aspektu neliší od běžně prodejných cigaret (ČR 2023, Ústní sdělení). Konkrétně celní správa v souladu s platnou legislativou podmiňuje vrácení již zaplacené spotřební daně u neprodaných produktů fyzickým zničením produktu. V druhé největší tabákové společnosti v České republice je nutné každoročně zlikvidovat přibližně 200 tun tabákových produktů. Aktuálně je zde fyzická likvidace pojatá formou nadrcení celých cigaretových kartonů, včetně plastového obalu, krabiček apod. Tato drť se následně spaluje. Touto formou se tedy ročně zlikviduje asi 200 tun cigaretového odpadu, což konkrétně odpovídá 809 796 kartonům cigaret, 8 097 964 krabičkám a přes 161 milionům kusů cigaret (Ústní sdělení). Tato čísla jsou platná pouze pro jednu společnost, pro kterou byl zpracován tento výzkum, nicméně podobných tabákových firem je celá řada.

### **3.2.1 Zpracování cigaretového odpadu**

Již data z prvního desetiletí 21. století ukazují, že celosvětová výroba cigaret se v období 2005 až 2010 stabilně zvyšovala o 5 % ročně. V roce 2010 přesáhla produkce 5,7 bilionu cigaret v hodnotě 665 miliard USD. Tento nárůst výroby vede k produkci značného množství odpadu (Euromonitor International 2011 cit. podle Strezov et al. 2012). Odhaduje se, že při výrobě cigaret ročně vzniká celosvětově přes 680 milionů tun tabákového odpadu, který se skládá převážně ze zbytků ve formě prachu a různých nevyužitelných částí tabáku. Z tohoto množství je téměř 110 milionů tun odpadu uloženo na skládkách. Výzkumníci Strezov et al. úspěšně využili tento odpad pro výroby bioplynu a bio oleje za pomoci pyrolýzy (Strezov et al. 2012). Jednou ze zmíněných nevyužitelných částí jsou tabákové stonky. Ty tvoří asi 20 % rostliny a jsou tedy jejím hlavním zbytkem (Wang et al. 2010). Tabákové stonky jsou dle čínské studie Liu et al. velmi cenný biologickým zdroj, přičemž většina se v Číně aktuálně spaluje, a to buď na otevřených plochách nebo v domácnostech. Tento způsob nakládání autoři definují jako obrovský ekologický problém a plýtvání cennými zdroji (Liu et al. 2012). Qin et al. z výše zmíněných důvodů úspěšně využili

tabákové stonky pro výrobu biologicky odbouratelných misek pro pěstování rostlin (Qin et al. 2018). Banožić et al. zase konstatují, že tabákový odpad lze využít pro extrakci bioaktivních sloučenin, čímž podporují výše zmíněné tvrzení, že se jedná o velmi cenný biologický zdroj. Pokud je odpad zbaven těchto látek, stává se i využitelnější a méně rizikový pro další účely (Banožić et al. 2020).

V kontextu odpadů z cigaretového průmyslu se ale nejedná pouze o odpad, který vzniká při pěstování tabáku, ale i o konečný odpad ve formě cigaretových nedopalků. Rešeršní studie od Yousefi et al. se zaměřila na různé způsoby recyklace cigaretových nedopalků. Jejich zjištěním je, že se dají využít třemi různými způsoby, a to využitím celých cigaretových filtrů například do stavebních materiálů, extrahováním chemikálií z nedopalku nebo využitím separovaného acetátu celulózy (Yousefi et al. 2021). Studie Mohajeraniho et al. navrhla efektivní způsob, jak se vypořádat s velkým množstvím cigaretových nedopalků přidáním do stavebních cihel. Výpočty ukázaly, že pokud by cihly obsahovaly jen 1 % cigaretových nedopalků, stačilo by začlenit tento materiál do 2,5 % celosvětové výroby cihel, čímž by se problém jejich recyklace vyřešil. (Mohajerani et al. 2016).

Existuje mnoho studií, které se zabývají různými metodami nakládání s tabákovým odpadem, včetně jeho recyklace, zpracování a ekologického využití. Přesto se nepodařilo dohledat žádné výzkumy, které by se zaměřovaly na vermikompostování odpadu přímo pocházejícího z tabákových firem. Tento nedostatek výzkumu naznačuje, že vermikompostování tabákového odpadu v kontextu výroby je dosud nedostatečně prozkoumanou oblastí.

### **3.2.1.1 Vermikompostování cigaretového odpadu**

Existuje jen málo studií, které se zaměřovaly na vermikompostování cigaretového odpadu, přičemž současné studie se zaměřují převážně na cigaretové nedopalky (Vaidhegi et al. 2023; Korobushkin et al. 2020). Vaidhegi et al. ve své studii zjistili, že aktivita žížal významně urychluje rozklad cigaretových nedopalků. Při porovnání s výsledky studie Bonanomi et al., která se zaměřovala pouze na mikrobiální rozklad, dosáhli stejné úrovně degradace díky přítomnosti žížal přibližně osmkrát rychleji (Bonanomi et al. 2020; Vaidhegi et al. 2023). Ke stejnému závěru došla i studie od Korobushkina et al., kdy autoři konstatují, že žížaly druhu *E. fetida* mohou působit jako velmi slibný toxikologicky odolný

biodegradační prostředek nedopalků cigaret (Korobushkin et al. 2020). Nicméně nebylo prokázáno, že by žížaly tvořily chodby uvnitř cigaretových filtrů.

### **3.3 Vliv tabákového odpadu na životní prostředí**

Všechny fáze produkce tabáku, počínaje jeho pěstováním a sušením přes výrobu cigaret a distribuci až po samotné kouření a likvidaci odpadu, přispívají ke globálnímu oteplování. Z tohoto důvodu jsou považovány za významné faktory přispívající k jednomu z největších environmentálních problémů, kterým naše planeta aktuálně čelí (ASH 2021). Cigarety jsou vyráběny v téměř 500 továrnách ve 125 zemích světa, přičemž největšími producenty tabáku jsou Čína, Brazílie a Indie. V těchto továrnách se dle dat z roku 2018 ročně vyrobí, přes šest bilionů cigaret, přičemž zábor půdy pro uspokojení této produkce je 5,3 milionů hektarů a spotřeba vody je více než 22 miliard kubických metrů. Ze všech předchozích činností se vyprodukuje 25 megatun pevného odpadu, 55 megatun odpadních vod a 84 megatun emisí CO<sub>2</sub>, což odpovídá asi 0,2 % celosvětových emisí (Zafeiridou M et al. 2018). Ročně se také spotřebují 2 miliony tun materiálu na balení cigaret, a to konkrétně papíru, inkoustu, celofánu, fólií a lepidla. Pěstování tabáku je dále zodpovědné za 5 % celosvětové deforestace. Cigaretové filtry odhozené do životního prostředí nebo ty, které se dostanou na skládku, uvolňují do životního prostředí nikotin, těžké kovy a další chemické látky (World Health Organization 2022). Další studie Světové zdravotnické organizace (WHO) uvádí, že tabák se často pěstuje jako monokulturní plodina, což na mnoha místech způsobuje desertifikaci. Případy desertifikace jsou známé například z Jordánska, Brazílie nebo Indie. Organizace ve své publikaci dále konstatuje, že tabákové společnosti uznávají výrobu produktů jako největší environmentální zátěž. V poslední době několik největších tabákových společností, jako je Altria, Philip Morris International nebo British American Tobacco vydávají zprávy o svém dopadu na životní prostředí, nicméně Čínská národní tabáková společnost, která je zodpovědná za 44 % globální produkce cigaret, žádnou takto komplexní zprávu nevydala (World Health Organization 2017).

#### **3.3.1 Potenciální toxické vlastnosti tabákového odpadu**

Při procesech pěstování tabáku a výroby cigaret se využívá nespočet chemických látek, které se posléze nacházejí i v produktech, tedy cigaretách určených ke spotřebě.

Kromě toho se dostává více než 4 000 chemických látek do životního prostředí vlivem dehtu v cigaretovém kouři (Slaughter et al. 2011). Studie Dobaradanam et al. prokázala, že z cigaretových nedopalků se každoročně ve značné míře vyluhují kovy jako Cd, Fe, As, Ni, Cu, Zn a Mn do pobřežních oblastí Perského zálivu (Dobaradaran et al. 2017). Cigaretové filtry mohou dále obsahovat chemické látky jako např. nikotin, polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), nitrosaminy, karbonyly, fenoly, insekticidy, cyklické uhlovodíky (BTEX) a další (Dobaradaran et al. 2021). Problematické je také setrvání tohoto typu odpadu v životním prostředí, které se pohybuje mezi 7,5 a 14 lety (Joly a Coulis 2018). Může se zdát, že chemické látky se do životního prostředí uvolňují především v počátečních fázích přítomnosti cigaretových nedopalků, nicméně studie Bonanimo et al. upozorňuje na druhý vrchol toxicity, který nastává přibližně po dvou letech jejich výskytu v životním prostředí (Bonanomi et al. 2020).

Studie se často zaměřují na přímý toxický vliv cigaretových nedopalků na vodní organismy, jako jsou přílivoví mlži (Booth et al. 2015) sladkovodní mlži (Montalvão et al. 2019) či perloočky a bakterie (Micevska et al. 2006). Kromě vodních organismů mají cigaretové nedopalky výrazně negativní dopad i na suchozemské ekosystémy, například na populaci žížal. Cigaretový odpad v půdě prodlužuje inkubační dobu a snižuje produkci kokonů, což jsou jasné indikátory úbytku populace, které přispívají k postupnému vymírání žížal v městských půdách (Pyatina a Bulgakova 2024). Na reprodukci se zaměřila také studie Lee a Lee, přičemž autoři potvrdili korelaci koncentrace výluhů z nedopalků s vývojem Medaky japonské (*oryzias latipes*), přičemž vysoké koncentrace výluhů snížily srdeční frekvenci, potlačily vývoj a zvýšily mortalitu (Lee a Lee 2015).

Na druhou stranu, studie Gill et al. (2018), která zkoumala toxicitu cigaretových nedopalků na lesní plže, prokázala, že nedopalky nejsou pro tyto organismy akutně toxické. Po třech týdnech experimentu plži přestali rozlišovat mezi prostředím s nedopalky a bez nich (Gill et al. 2018).

Mimo toxické látky, které se vyluhují do životního prostředí, mohou být cigaretové nedopalky pro organismy rizikové i kvůli nezáměrnému pozření spolu s potravou. Toto zjištění přinesli autoři studie zkoumající odpady nalezené v trávicím traktu mrtvých želv,

kteří uvnitř objevili právě i cigaretové nedopalky. Autoři naznačují, že smrt těchto želv může s konzumací antropogenních odpadů přímo souviset (Macedo et al. 2011).

### **3.4 Vermikompostování čistírenských kalů**

V čistírnách se z odpadních vod po řadě technologických procesů odstraňuje celá řada prvků, které se koncentrují v pevné, vlhké frakci, tedy čistírenském kalu. Tento kal obsahuje velké množství organické hmoty a biogenních prvků jako je uhlík, dusík, draslík a další mikroprvky jako měď, mangan nebo železo. Kromě těchto prospěšných látek ale obsahují i toxické kovy, perzistentní organické sloučeniny, patogenní bakterie a parazity, které mohou znečišťovat půdu a podzemní vody. Čistírenské kaly jsou totiž často skládkovány, čímž tyto látky unikají do životního prostředí. Prostřednictvím technologie vermikompostování jsou vysoké koncentrace těžkých kovů a patogenních organismů v kalu eliminovány. Kromě nežádoucích látek je eliminován také zápach, který je pro čerstvé kaly typický (Rusănescu et al. 2022). Grasserová a kol. ve své studii zkoumali možnosti odstraňování nebo vermiakumulace různých látek prostřednictvím vermikompostování, přičemž se zaměřili na 88 mikropolutantů, včetně léčiv, produktů osobní péče, per/polyfluoralkylových látek a endokrinních disruptorů. Výsledky ukázaly, že široké spektrum těchto mikropolutantů bylo vermiakumulováno a že vermikompostovaný materiál vykazoval výrazně nižší koncentrace diklofenaku, metoprololu, telmisartanu a triclosanu ve srovnání s kontrolními vzorky bez přítomnosti žíval (Grasserová et al., 2024).

Mimo zmíněné látky je čistírenský kal charakteristický také obsahem mikroplastů, přičemž aplikace kalu na zemědělská pole je hlavní cestou mikroplastů do životního prostředí. Vermikompostováním čistírenských kalů se dle Ragoobura et al. zásadně sníží koncentrace mikroplastů, přičemž nejvíce v případě polypropylenu (146–500  $\mu\text{m}$ ), který byl redukován o 78 % během 14 týdnů vermikompostování. Studie uznává vermikompostování jako vhodný způsob úpravy kalů před jejich aplikací na zemědělská pole (Ragoobur et al. 2022).

### 3.4.1 Využití produktu v zemědělství

V kontextu České republiky je aplikace čistírenských kalů v zemědělství běžnou praxí. Dle Hudcové a kol. je v České republice v zemědělství využito 33,6 % vyprodukovaných čistírenských kalů (Hudcová et al. 2019). V kontextu Evropské Unie (EU) se potom jedná o 35 % (Eurostat 2021). I přesto takto vysokou míru využití s sebou zemědělská aplikace kalů nese mnohá úskalí, například ve smyslu koncentrací různých nebezpečných látek, jak již bylo zmíněno. Na úrovni Evropské Unie jsou regulovány pouze koncentrace těžkých kovů, přičemž ostatní látky, jako persistentní organické látky nebo mikroplasty, nejsou v legislativě pro toto využití zatím oficiálně ukotveny. Nicméně tématu těchto látek se začíná přikládat stále větší pozornost, což se projevuje v přípravě nové legislativy. Tato legislativa nicméně prozatím není v účinnosti (European Commission et al. 2023). Kvůli nedostatečné legislativní úpravě přetrvává riziko přenosu neregulovaných toxických znečišťujících látek do půdy a vodních zdrojů, což může vést k následné absorpci těchto kontaminantů rostlinami a organismy, a tím i k narušení potravního řetězce (Grasserová et al. 2024).

Nicméně kromě úskalí, která s sebou aplikace čistírenských kalů na zemědělské plochy přináší, disponuje tento přístup i celou řadou benefitů. Čistírenský kal totiž obsahuje velké množství organické hmoty a biogenních prvků, jak bylo zmíněno v kapitole 2.5 této studie. Při vermikompostování čistírenských kalů se tyto biogenní prvky dostávají do forem dostupnějších pro rostliny, což je právě hlavním důvodem, proč je produkt často využívaný v zemědělství. Na rozdíl od průmyslových anorganických hnojiv, které postupem času vedou k okyselování půdy, ztrátě uhlíku nebo půdní erozi, využití vermikompostu kvalitu půdy zlepšuje (Ludibeth et al. 2012) (Rusănescu et al. 2022).

## 3.5 Legislativa

V České republice není vermikompostování přímo upravováno v žádné konkrétní právní publikaci, nicméně zmínka o něm je v Zákoně č. 541/2020 Sb., O odpadech. V tomto zákoně jsou popsány různé formy nakládání s odpadem, přičemž vermikompostování je zahrnuto v rámci kapitoly o nakládání s biologickým odpadem. Zde je definováno, že platí omezení možnosti jednotlivých zařízení zpracovat maximálně 1 000 tun tohoto odpadu

ročně (ČR 2020). V porovnání například s Tureckem, kde bylo v roce 2017 vyprodukováno 20 000 tun vermikompostu, a to pouze patnácti závody s oficiálním povolením k výrobě Ministerstva zemědělství a lesnictví Turecké republiky. Odhaduje se, že neautorizovaných výrobců je v Turecku kolem 4 200 (BelliTürk 2018). Vyhláška č. 273/2021 o podrobnostech nakládání s odpady potom představuje přesné technické a technologické požadavky na vermikompostování a seznam odpadů, se kterými lze nakládat tímto způsobem.

Žádné právní dokumenty na úrovni legislativy Evropské Unie přímo nezmiňují pojem vermikompostování. Česká republika má v rámci Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/851 ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech, cíl „zvýšit do roku 2025 úroveň přípravy k opětovnému použití a recyklace komunálního odpadu nejméně na 55 % hmotnosti“ (Evropský parlament a Rada EU 2018). V rámci této směrnice a také Směrnice o skládkách odpadů (1999) /31/EC ve znění Směrnice (EU) 2018/850, je požadováno, že země, kterým hrozí nedosažení těchto cílů, zveřejní zprávy tzv. včasného varování související s cíli pro rok 2025 na komunální odpad a obalový odpad, a to alespoň 3 roky před datem nutnosti očekávaného naplnění těchto cílů, tedy rokem 2025. Česká republika takovou zprávu zveřejnila v roce 2022, přičemž konstatovala, že jí nehrozí nesplnění těchto cílů. Míra recyklace v České republice je podle zprávy 40,5 % vyprodukovaného komunálního odpadu, přičemž pojem recyklace obsahuje i kompostování a digesce (ČR 2022). Navzdory tomu, že evropské právní dokumenty týkající se odpadů přímo nezmiňují pojem vermikompostování, není zde žádná podmínka, která by neumožňovala tento typ nakládání s odpadem využívat. Ve zmíněné směrnici z roku 2018 se píše: „Pro účely výpočtu, zda bylo dosaženo cílů (...) lze množství biologicky rozložitelného komunálního odpadu, který vstupuje do aerobního nebo anaerobního zpracování, započítat jako recyklovaný odpad, pokud při takovémto zpracování vzniká kompost, digestát či jiný výstup, který obsahuje srovnatelné množství recyklovaného obsahu ve vztahu ke vstupu a který se použije jako recyklovaný výrobek, materiál nebo látka. Pokud je tento výstup aplikován na půdu, mohou jej členské státy započítat jako recyklovaný odpad pouze tehdy, pokud jeho použití má přínos v oblasti zemědělství nebo vede k ekologickému zlepšení.“ A dále také, že členské státy mají přijímat opatření s cílem „podporovat recyklaci, včetně kompostování a digesce, biologického odpadu, která splňuje vysokou úroveň ochrany životního prostředí a její výstup odpovídá příslušným normám vysoké kvality“ (Evropský

parlament a Rada EU 2018). Z těchto citací a dalších částí tohoto právního dokumentu vyplývá, že vermikompostování by mělo být v České republice podporováno. I přesto se v odpadovém zákoně potýkáme s omezením pro produkci vermikompostu, jak již bylo zmíněno.

Úskalí legislativy z pohledu nakládání s čistírenskými kaly bylo popsáno v kapitole 2.5.1 této práce.

### **3.6 Udržitelnost a ESG**

V posledních letech dochází k výraznému nárůstu zájmu o udržitelnost a zodpovědné řízení společností, což vede k integraci environmentálních, sociálních faktorů a faktorů řízení (ESG) do strategického rozhodování firem (Nosratabadi et al. 2019). Společnost BAT, jako významný globální hráč v tabákovém průmyslu, pravděpodobně bude čelit zvýšenému tlaku nejen ze strany regulačních orgánů, ale také od veřejnosti, investorů a dalších zainteresovaných stran, aby přehodnotila své environmentální dopady a přijala udržitelnější způsoby nakládání s odpady. Vermikompostování odpadů z výroby tabákových produktů, jakožto účel této studie, představuje inovativní přístup k environmentálně šetrnému řešení likvidace odpadu a snižování emisí.

Spalování cigaretových kartonů, jak je v současné době běžně praktikováno, představuje pro společnost ekologickou zátěž. Přestože je tento způsob v souladu se zákonnými předpisy, jeho důsledky pro životní prostředí – zejména emise skleníkových plynů a další škodliviny – jsou z dlouhodobého hlediska nevhodné. Vermikompostování, které využívá přirozené procesy rozkladu organického materiálu pomocí žížal, nabízí ekologičtější a udržitelnější alternativu (Enebe a Erasmus 2023). Zařazení tohoto procesu do fungování společnosti by mohlo umožnit nejen snížení objemu odpadu, ale také zajistit produkci kvalitního hnojiva, což podporuje principy oběhového hospodářství.

ESG reportování, které se stává nezbytnou součástí moderního firemního řízení, vyžaduje, aby společnosti byly transparentní v tom, jakým způsobem se vypořádávají s environmentálními a sociálními dopady své činnosti (Evropská komise 2023). Iniciativy jako tento projekt jsou zásadní nejen pro splnění těchto požadavků, ale také pro budování

dlouhodobě udržitelné obchodní strategie, která zahrnuje ochranu přírodních zdrojů a zlepšení životního prostředí (Nosratabadi et al. 2019).

Za předpokladu úspěšných výsledků tohoto výzkumu by společnost BAT, prostřednictvím implementace vermikompostování odpadu z cigaretových kartonů, mohla nejen výrazně snížit své environmentální zatížení, ale také přispět k naplňování cílů ESG a posílit svou pozici jako odpovědného korporátního občana. Tato aktivita navíc vytváří příležitost pro pozitivní PR a budování důvěry u investorů a zákazníků, kteří stále více kladou důraz na udržitelnost a etické chování firem (Ahmad et al. 2024).

## 4 Praktická část

### 4.1 Hlavní cíl výzkumu

Cílem této diplomové práce je ověřit, zda lze odpad z výroby tabákových produktů využít způsobem, který by byl k životnímu prostředí šetrnější než dosavadní způsob nakládání s těmito odpady. Jak již bylo zmíněno, aktuálně se ve společnosti, pro kterou je tento výzkum realizován, odpad odstraňuje spálením. Bylo provedeno několik měření za účelem zjištění, zda lze využít cigaretovou drť jako bedding materiál při vermikompostování čistírenských kalů.

Nejprve byla zjišťována ekotoxicita jednotlivých materiálů pomocí laboratorního pokusu, aby se identifikovaly potenciálně toxické materiály v kartonech cigaret. Později byl proveden pilotní test, při kterém byly simulovány reálné podmínky vermikompostování cigaretové drti. U všech vzorků z obou pokusů byla zkoumána ekotoxicita pomocí metody klíčivosti semen hořčice bílé, pH, konduktivita a koncentrace nikotinu a kotininu. U laboratorního pokusu byla potom navíc změřena koncentrace vybraných kovů.

### 4.2 Chemikálie

Dusičnan amonný	$\text{NH}_4\text{NO}_3$
Kyselina ethylendiamintetraoctová	EDTA
Fluorid amonný	$\text{NH}_4\text{F}$
Kyselina octová	$\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$
Kyselina dusičná	$\text{HNO}_3$
Hydroxid sodný	$\text{NaOH}$
Ethanol	$\text{EtOH}$
Deionizovaná a destilovaná voda	$\text{H}_2\text{O}$

## 4.3 Využité přístroje a materiál

Laboratorní váhy Kern

Optický spektrometr 5 900 ICP-OES                      Agilent, USA

PE nádoby 100 ml, 250 ml

Filtrační papír hrubší pórovitosti

Laboratorní nádobí

Papírové filtry 5-10  $\mu\text{m}$                                       VWR, Německo

Petriho misky – průměr 9,4 cm

Pipeta automatická    Eppendorf, Německo

Semena – hořčice bílá    Forestina s.r.o., ČR

Uhelon

Plastové kbelíky 15 l

Plastové vermikompostéry 20 l

Kapalinový chromatografu 6470 Triple  
Quadrupole LC/MS System                                      Agilent, USA

Konduktometr HI 9033    HANNA Instruments, USA

pH metr SevenCompact    METTLER TOLEDO, Švýcarsko

## 4.4 Programy

Excel pro Microsoft 365

Statistický software R verze 3.3.3, R Commander

## 4.5 Laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Laboratorní pokus byl realizován za účelem zjištění možné ekotoxicity jednotlivých materiálů, které se nacházejí v cigaretových kartonech, pro žížalu kalifornskou (*Eisenia*

*andrei*) a míry rozkladu jednotlivých materiálů, které se nacházejí v cigaretových kartonech. (tabák, krabičky, filtry, papírky obalující cigarety, papírky zevnitř krabičky, folie obalující krabičky a kartony). Experiment probíhal v prostorách laboratoře environmentální chemie a analýzy půd Ústavu pro životní prostředí Univerzity Karlovy.

#### **4.5.1 Vstupní materiály – laboratorní pokus**

Pro účely experimentu poskytla společnost BAT tři vyřazené cigaretové kartony značky Lucky Strike. Čistírenský kal byl odebrán ze středně velké čistírny odpadních vod (ČOV) ve Středočeském kraji s kapacitou cca 30 tis. ekvivalentních obyvatel a vermikompost pocházel z předchozích vermikompostovacích testů tohoto čistírenského kalu.

#### **4.5.2 Design laboratorního pokusu**

Materiály byly vermikompostovány ve vermikompostovacích jednotkách, které se skládaly z plastového vědra, písku, třech oddělených váček obsahujících testovaný vzorek vždy ve třech opakováních a násad žížal, jak lze vidět na obrázku č. 1. Na dně vědra byla rozprostřena cca 5 cm vrstva praného a průběžně vlhčeného písku pro udržení vlhkosti. Váčky byly vyrobeny z uhelonu a po umístění vzorků s násadou žížal byly převázány provázkem, aby bylo zabráněno nežádoucí migraci žížal. Vědra byla pouze překryta víkem pro ochranu žížal před světlem, nebyla však uzavřena hermeticky.



Obrázek 1 - Design pokusu s jednotlivými materiály

### 4.5.3 Pracovní postup – laboratorní pokus

Kartony byly rozděleny podle materiálu na šest složek, a to konkrétně tabák, krabičky, filtry, papírky, papírky vnitřek a folie. V tabulce č. 1 jsou uvedeny všechny složky – materiály, ze kterých se cigaretové kartony skládají včetně jejich hmotnostního zastoupení v kartonech. Pojem „krabičky“ představuje papírový karton, ze kterého jsou krabičky vyrobeny, pojem „papírky“ potom tenký papírový obal kolem jednotlivých cigaret a „papírky vnitřek“ potom lesklou papírovou vrstvu, která se nachází mezi krabičkou a cigaretami a jehož část se odtrhává při otevření krabičky. „Folie“ představuje plastový obal, který je jak kolem jednotlivých krabiček cigaret, tak kolem celého kartonu. Hmotnostně i objemově byl nejvíce zastoupený tabák.

Tabulka 1 - Hmotnostní zastoupení materiálů v kartonech

	<b>Průměr (g)</b>	<b>Směrodatná odchylka</b>
<b>Tabák</b>	131,5	0,3
<b>Krabičky</b>	60,0	0,1
<b>Filtry</b>	24,6	0,1
<b>Papírky</b>	17,1	0,2
<b>Papírky vnitřek</b>	8,0	0,3
<b>Folie</b>	5,7	0,2

Do každého uhelonového váčku bylo naváženo 100 g čistírenského kalu, 50 g hotového vermikompostu a dané množství materiálů. Kvůli velkému objemu tabáku vzhledem k jeho hmotnosti bylo naváženo poloviční množství jednotlivých materiálů, než odpovídá jednomu kartonu, tedy 65,5 g tabáku, 30 g krabiček, 12 g filtrů, 8,5 g papírků, 4 g papírků zevnitř krabičky a 2,5 g folie. Tímto způsobem byly testované materiály vermikompostovány ve shodném hmotnostním poměru, jaký je v cigaretovém kartonu (a v jakém by se tedy vyskytovaly ve směsi, která vznikne skartací vyřazených kartonů). Do každé vermikompostovací jednotky byly umístěny tři váčky se stejným materiálem. Kontrolní vermikompostovací jednotka obsahovala pouze váčky obsahující čistírenský kal a hotový vermikompost. Do každého váčku bylo kromě kalu, kompostu a materiálu ještě přidáno 25 juvenilních žížal a jeden dospělec druhu *Eisenia andrei*.

Experiment probíhal po dobu 74 dní při laboratorní teplotě. Každý týden byly jednotky vlhčeny vodou pomocí rozprašovače.

Poté byly jednotlivé materiály z váčků odebrány, byly spočítány živé žížaly a hotové vermikomposty byly uloženy do mrazáku pro následné analýzy.

## 4.6 Pilotní test s cigaretovou drtí

Pilotní test napodoboval reálné podmínky vermikompostování cigaretové drti, přičemž jeho cílem bylo zjistit míru vlivu vermikompostovaných materiálů na žížalu kalifornskou (*Eisenia fetida*) a míru rozkladu jednotlivých variant. Společnosti BAT pro účely této studie poskytla cca 100 litrů cigaretové drti, která vzniká skartací vyřazených

kartonů před jejich odstraněním spálením. Experiment probíhal v laboratoři společnosti Dekonta.

#### 4.6.1 Vstupní materiály – pilotní test

Cigaretová drť byla pro účely tohoto experimentu získána od společnosti BAT, čistírenský kal potom od středně velké ČOV ve Středočeském kraji s kapacitou 30 tis. ekvivalentních obyvatel. Čistírenský kal byl odleželý, cca jeden měsíc starý, aby došlo k odtěkání amoniaku, který může být pro žížaly také toxický. Násady žížaly kalifornské (*Eisenia andrei*) pocházely z předchozího pokusu vermikompostování vinařských matolin provozovaném v laboratoři společnosti Dekonta, a.s.

#### 4.6.2 Design pilotního testu

Pro vermikompostování cigaretové drti byly využity třípatrové plastové vermikompostéry o objemu každého patra 20 litrů (obrázek č. 2). Pokus probíhal paralelně ve třech variantách. Spodní patro nádob sloužilo k odkapávání tekutiny, mezi prostředním a horním patrem se díky vhodné perforaci dna mohly žížaly volně pohybovat. V první variantě byla vermikompostována pouze cigaretová drť, ve druhé variantě směs cigaretové drti s kalem a ve třetí, kontrolní, variantě čistírenský kal se slámou.



Obrázek 2 - Design pokusu s cigaretovou drť

### 4.6.3 Pracovní postup – pilotní test

V první variantě byla vermikompostována pouze cigaretová drť o objemu 5 litrů a hmotnosti 550 g. Ve druhé variantě byla vermikompostována cigaretová drť s čistírenským kalem, a to v poměru 1:1 objemově. Konkrétně se jednalo o 5 litrů obou materiálů, což hmotnostně odpovídalo 3 kg kalu a 550 g cigaretové drti. Tato varianta simulovala situaci, kdy by byla cigaretová drť využívána jako vylehčující (tzv. bedding) materiál při vermikompostování jiného odpadu, v tomto případě čistírenského kalu. Ve třetí variantě, jakožto kontrolním pokusu, byl potom vermikompostován čistírenský kal ve směsi se slámou jako vylehčujícím materiálem. Poměr smíchání byl opět 1:1 objemově, konkrétně 5 litrů obou materiálů, a hmotnostně 3 kg kalu a 125 g slámy. Kontrolní varianta představovala standardní postup, který se při vermikompostování čistírenského kalu využívá (Fojtová 2024). Do rohu každého nástavku vermikompostérů byly umístěny vinařské matoliny, jak lze vidět na obrázku č. 3, a to z důvodu lehčí adaptace žížal na nové prostředí. Kdyby byly totiž vpuštěny do potenciálně toxického prostředí s malým množstvím živin, pravděpodobně by nebyla možná jejich adaptace a tyto podmínky by se pro ně staly fatálními. Do každého rohu nádob, tedy do kompostu z vinařských matolin, bylo inokulováno 150 žížal druhu *Eisenia andrei*.



Obrázek 3 - Založení pokusu s cigaretovou drtí

Pokus probíhal po dobu 92 dní, přičemž vermikomposty byly pravidelně zavlažovány pomocí rozprašovače.

Po ukončení pokusu byly z vermikompostů odebrány vždy dvě protilehlé čtvrtiny z každého patra nádob, jak lze vidět na obrázku č. 4. Žížaly byly spočítány a poté byly vzorky vysušeny rozprostřené na plastové fólii ve skleníku.



Obrázek 4 - Odebrání dvou protilehlých čtvrtin při ukončení pokusu s cigaretovou drtí

Vermikomposty byly po vysušení prosítovány nejprve přes síto s otvory 10 mm a poté podsítná frakce ještě přes síto s otvorem 6 mm pro napodobení reálných podmínek sítování vermikompostů pomocí bubnového síta. Produktem sítování byly tedy tři frakce, přičemž nejjemnější, tedy podsítná frakce  $<6$  mm odpovídá produktu, který by byl v reálných podmínkách potenciálně využíván jako hnojivo nebo jinak obchodovatelný. Prostřední frakce 6-10 mm je teoreticky také využitelná jako hnojivo, pokud neobsahuje nežádoucí zbytky nerozložených částí drti z cigaretových kartonů. Nadsítná frakce  $>10$  mm (a případně nevyhovující střední frakce) mohou být opakovaně využity v procesu vermikompostování jako vylehčující materiál.

Vzorky byly uloženy do mrazáku a uchovány pro následné analýzy.

## 4.7 Ekotoxikologický test klíčivosti semen hořčice bílé

Ekotoxikologický test byl proveden za účelem zjištění míry inhibice růstu plodin při využití produktu vermikompostování v reálných podmínkách. Pokud by se totiž prokázala možnost využití metody vermikompostování čistírenského kalu za použití cigaretové drti jako bedding materiálu jako funkční, produkt by bylo možné využívat jako hnojivo na zemědělské plochy. Z tohoto důvodu vzešla nutnost ověření hypotézy, že *při využití drcených cigaret jako bedding materiálu při vermikompostování čistírenských kalů nebude docházet ke zvýšení ekotoxicity kompostu*. Společně s tímto ekotoxikologickým testem byla ve vzorcích měřena také konduktivita a pH. Test probíhal v laboratoři environmentální chemie a analýzy půd Ústavu pro životní prostředí Univerzity Karlovy.

### 4.7.1 Princip testu klíčivosti

Test byl proveden podle standardizované metodiky po vzoru Laboratoře ekotoxikologie a LCA na Ústavu chemie a technologie ochrany životního prostředí VŠCHT v Praze. Původně byl tento test navržen pro účely zjištění toxických účinků různých typů vod na klíčivost semen a růst kořenů hořčice bílé v raných fázích vývoje. V rámci této práce bylo cílem zjistit toxicitu výluhů z různých produktů vermikompostování, a to jak v rámci laboratorního pokusu s jednotlivými materiály, tak pilotního testu s cigaretovou drtí.

Principem testu je porovnání rozdílů v délce kořínků hořčice bílé mezi semeny klíčícími na testovaných vzorcích a semeny klíčícími na kontrolním vzorku, tedy destilované vodě. Délka kořínků je pak využita k výpočtu inhibice klíčivosti. Test byl navíc obohacen o výpočet indexu klíčivosti (germination index), u kterého se započítávají i puklá semena, u nichž délka kořínků nepřesáhla 1 mm.

### 4.7.2 Hořčice bílá

Hořčice bílá, jednoletá rostlina z čeledi brukvovitých (*Brassicaceae*), se v testech používá jako zástupce terestrických kulturních plodin. Tato časně jarní rostlina má tenký vřetenovitý kořen a vzpřímenou lodyhu, která může dosáhnout výšky až 150 cm. Květy jsou oboupohlavné a uspořádané v květenstvích, zatímco plody tvoří šešule. Semena jsou kulovitá, o průměru 1,5-4 mm, a mají žlutou nebo bělavě žlutou barvu. Po vyklíčení vyrůstá

jednoduchý kořen s hypokotylem. Hořčice bílá je pěstována převážně pro semena, která obsahují kolem 30% oleje. Pro účely tohoto testu byla využita běžně dostupná semena hořčice bílé značky Forestina s.r.o.

### 4.7.3 Pracovní postup – test klíčivosti

Ekotoxikologický test probíhal za podmínek, které jsou shrnuty v následující tabulce (tabulka 2).

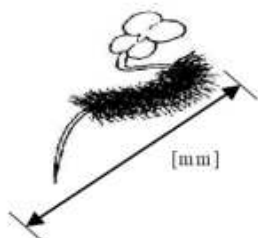
Tabulka 2 - Podmínky ekotoxikologického testu se semeny hořčice bílé

<b>Testovaný organismus</b>	Hořčice bílá ( <i>Sinapis alba</i> )
<b>Klíčivost semen</b>	Minimálně 90 %
<b>Počet semen na Petriho misku</b>	30 ks
<b>Objem testovaného vzorku</b>	10 ml
<b>Opakování</b>	3
<b>Teplota</b>	20 °C ± 1
<b>Osvětlení</b>	Tma
<b>Doba expozice</b>	72 hodin
<b>Sledovaná odezva</b>	Elongace kořene
<b>Vzorky</b>	Výluhy z vermikompostů, destilovaná voda

Nejprve byla ověřena klíčivost zakoupených semen pro validaci klíčivosti minimálně 90 %, což je podmínkou tohoto ekotoxikologického testu. Do Petriho misek o průměru 9,4 cm byly vloženy dvě vrstvy filtračního papíru a napuštěny kohoutkovou vodou. Na filtrační papír bylo rovnoměrně rozprostřeno 50 semen hořčice bílé a bez přístupu světla se nechala klíčit po dobu 72 hodin a teplotě ± 20°, to vše ve dvou opakováních. Posléze bylo spočítáno procento vyklíčených semen a tím ověřena podmínka klíčivosti minimálně 90 %.

Produkty laboratorního pokusu i pilotního testu byly lyofilizovány po dobu 3 dní. Posléze byly vzorky kompostů z jednotlivých materiálů zhomogenizovány v třecí misce. Od každého vzorku byly naváženy 4 gramy do Erlenmeyerových baněk a přidáno 40ml destilované vody. Vzhledem k malému množství některých vzorků bylo množství poníženo z původních 5 gramů a 50 ml destilované vody, ale poměr zůstal zachován. Vzorky

z pilotního testu s cigaretovou drtí nebylo možné homogenizovat v třecí misce, proto byly naváženy 4 gramy nezhomogenizovaného, ale přesto reprezentativního vzorku. Bylo přidáno 40 ml destilované vody. Naředěné vzorky byly umístěny na třepačku po dobu 30 minut a poté přefiltrovány. Ve výsledných roztocích byla změřena konduktivita a pH. Do Petriho misek o průměru 9,4 cm byly umístěny 2 vrstvy filtračního papíru a napipetováno 10 ml výluhů jednotlivých vzorků. Na filtrační papíry s výluhy bylo rovnoměrně rozloženo 30 semen do každé Petriho misky, přičemž každý výluh byl zkoumán ve třech opakováních. Všechny Petriho misky se vzorky a semeny byly uchovávány v laboratorní teplotě bez přístupu světla 72 hodin. Po uplynutí této doby byla změřena délka kořene s přesností 1 mm školním pravítkem, jak lze vidět na ilustračním obrázku č. 5.



Obrázek 5 - Ilustrativní znázornění měření délky kořene hořčice bílé

Po změření délek všech kořínků byl vypočítán aritmetický průměr délek kořínků ze všech třech paralelních opakování jednotlivých vzorků. Délka kořínků ze vzorků byla společně s délkou kořínků v kontrole využita pro výpočet inhibice růstu (%) pomocí následující rovnice (rovnice 1).

$$H_i = \frac{d_{pk} - d_{pi}}{d_{pk}} * 100 \% [1]$$

$H_i$  – inhibice růstu

$d_{pk}$  – průměrná délka kořene u kontroly

$d_{pi}$  – průměrná délka kořene u testovaných vzorků

Dále byl dopočítán index klíčivosti dle následujícího vzorce (rovnice 2), který započítává i puklá semena, jejichž délka nepřesáhla 1 mm a obdobně jako inhibice růstu se vyjadřuje v procentech.

$$KS (\%) = 100 * \frac{\text{průměrný počet vyklíčených semen ve vzorku}}{\text{průměrný počet vyklíčených semen v kontrole}}; DK (\%) = 100 * \frac{\text{průměrná délka kořene ve vzorku}}{\text{průměrná délka kořene v kontrole}};$$

$$IK (\%) = \frac{KS * DK}{100} [2]$$

*KS* – relativní klíčivost semen

*DK* – délka kořene

*IK* – index klíčivosti

## 4.8 Stanovení koncentrace nikotinu

### 4.8.1 Princip testu – koncentrace nikotinu

Stanovení koncentrace nikotinu probíhalo v laboratoři environmentální biotechnologie Mikrobiologického ústavu Akademie věd, v.v.i. Vedle koncentrace nikotinu byla rovněž měřena koncentrace kotininu, který doprovází nikotin jako jeho metabolit. Extrakty z obou pokusů byly analyzovány na kapalinovém chromatografu s hmotnostní detekcí (liquid chromatography/mass spectrometry – LC/MS) Agilent 6470 Triple Quadrupole LC/MS System. Separace látek byla provedena na chromatografické koloně Agilent Poroshell 120 EC-C18 (100×3 mm; 2,7 μm) s předkolonou Agilent Poroshell 120 EC-C18 (5×3 mm; 2,7 μm). Jako mobilní fáze byl použit: 0,5mM fluorid amonný v MiliQ vodě (aditivum 0,01% kyselina mravenčí) (fáze A) a 100% methanol (fáze B). Program gradientové eluce vypadal následovně: (čas [min]/% fáze B): 0/5; 0,5/5; 3/50; 4/50; 4,5/100; 6,5/100; 7/5; 9/5. Délka jedné analýzy byla 10,5 minuty, průtok mobilní fáze 0,6 mL/min a objem každého nástřiku vzorku 2 μL. Chromatografická kolona s předkolonou byla vyhřívána na teplotu 40 °C, teplota zdroje byla 210 °C a průtok plynu ve zdroji 6 L/min. Látky kotinin a nikotin byly analyzovány v negativním módu, sledované přechody pro kotinin byly 177→80 a 177→98, pro nikotin pak 163→132 a 163→117. Za účelem eliminace rušivých vlivů matrice byly vzorky analyzovány metodou standardního přidavku o koncentraci standardů 1, 5 a 25 ng/mL. Vzorky s vysokou koncentrací sledovaných analytů mimo kalibrační rozsah byly ředěny methanolem a znovu analyzovány. Podmínky měření hmotnostního spektrometru byly optimalizovány s pomocí softwaru MassHunter Workstation Optimizer a Source Optimizer (Verze 10.0, SR1, Agilent). Data byla

vyhodnocena v softwaru MassHunter Workstation Quantitative Analysis (Verze 10.0, Agilent).

## **4.8.2 Pracovní postup – koncentrace nikotinu**

Všechny produkty vermikompostování z laboratorního pokusu i pilotního testu byly lyofilizovány po dobu 3 dní v prostorách laboratoře environmentální chemie a analýzy půd Ústavu pro životní prostředí Univerzity Karlovy. Extrakce a následný postup již probíhaly na Mikrobiologickém ústavu Akademie věd ČR, v.v.i. Vzorky byly homogenizovány v mixéru a od každého byl navážen 1 g do 15 ml centrifugačních zkumavek. Byly přidány 2 ml 1M NaOH a 3 ml EtOH a vzorky byly protřepány ve vortexu. Všech 54 vzorků bylo uloženo do ultrazvukové lázně ohřáté na 50 °C bez ultrazvuku na 30 minut a poté byl zapnut ultrazvuk na dalších 30 minut. Vzorky byly přesunuty do centrifugy s 5 000 RPM (revolutions per minute) na 15 minut. Do 2 ml LC/MS vialek byl napipetován 1 ml supernatantu. Následně proběhla analýza na LC/MS popsaná v předchozí kapitole (Di et al. 2022, Wang et al. 2023).

## **4.9 Stanovení koncentrace kovů**

Koncentrace kovů byla u vzorků vermikompostů z jednotlivých materiálů v laboratorním pokusu sledována z důvodu úhynu žížal v některých variantách (tabák a vnitřní papírky s obsahem metalické barvy). Test probíhal v laboratoři environmentální chemie a analýzy půd Ústavu pro životní prostředí Univerzity Karlovy.

### **4.9.1 Pracovní postup – koncentrace kovů**

#### **Příprava roztoku Mehlich III**

V 300 ml deionizované vody bylo rozpuštěno 40 g dusičnanu amonného a přidáno 8 ml NH<sub>4</sub>F+EDTA. V digestoři bylo dále napipetováno 23 ml kyseliny octové a 1,65 ml kyseliny dusičné. Celý obsah byl přelit do 2 000 ml baňky, doplněn po rysku deionizovanou vodou a důkladně promíchán.

#### **Příprava výluhů**

Lyofilizované vzorky vermikompostů z pokusu s jednotlivými materiály byly zhomogenizovány v třecí misce. Do PE šroubovacích nádob o objemu 250 ml bylo naváženo 5 g vzorků a napipetováno 50 ml roztoku Mehlich III. Takto připravené vzorky byly umístěny na třepačku na dobu 30 minut. Filtry (150 mm, typ 392) byly dvakrát přeloženy na půl a umístěny do nálevek. Protřepané vzorky byly přefiltrovány do 100 ml PE nádob.

Obsah vybraných kovů byl stanoven pomocí ICP-OES (optická emisní spektrometrie s indukčně vázaným plazmatem).

## 4.10 Výsledky

### 4.10.1 Laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Jak bylo zmíněno v kapitole 3.5.3, na začátku pokusu bylo do každého váčku inokulováno 25 juvenilních žížal a 1 dospělec. Tabulka č. 3 znázorňuje počet juvenilních i dospělých jedinců na začátku a na konci pokusu. Z výsledků je zřejmé, že v žádné variantě vermikompostu žížaly neměly tendenci se množit. U slepého pokusu, kde byl vermikompostován pouze čistírenský kal a kompost, byl pozorován pokles počtu na konci pokusu na průměrnou hodnotu 19 ks jedinců. Tento pokles oproti variantám „Krabíčky“, „Filtry“, „Papírky“ a „Folie“ ale nebyl statisticky významný. Nárůst počtu žížal na konci pokusu byl pozorován u vermikompostu s krabíčkami a filtry. Naopak varianta s tabákem a vnitřními papírky (s obsahem metalické barvy) byla pro žížaly fatální. U varianty s vnitřním papírky byli na konci pokusu napočítáni dva jedinci. U vermikompostu s papírky a foliemi zůstal počet žížal na začátku i na konci pokusu průměrně stejný. V žádné variantě se na konci pokusu nevyskytoval ani jeden dospělec.

Statisticky významné rozdíly v počtu žížal na konci pokusu se projevily u všech materiálů v porovnání s výluhem z vnitřních papírků a z tabáku. Mezi těmito dvěma variantami se významný rozdíl neprokázal.

Tabulka 3 - Počet žížal na začátku a na konci laboratorního pokusu

		Počet žížal na začátku pokusu	Počet žížal na konci pokusu
<b>SL kal + kompost</b>	Juvenil	75	19 ± 10
	Dospělec	3	0
<b>Tabák</b>	Juvenil	75	0
	Dospělec	3	0
<b>Krabíčky</b>	Juvenil	75	28 ± 1
	Dospělec	3	0
<b>Filtry</b>	Juvenil	75	27 ± 1
	Dospělec	3	0
<b>Papírky</b>	Juvenil	75	25 ± 1
	Dospělec	3	0
<b>Papírky vnitřek</b>	Juvenil	75	1
	Dospělec	3	0
<b>Folie</b>	Juvenil	75	25 ± 5
	Dospělec	3	0

Míra rozkladu jednotlivých materiálů byla vyhodnocena vizuálně, přičemž výsledky jsou shrnuty v následující tabulce (tabulka č. 4). Fotografie jednotlivých vermikompostů jsou uvedeny v příloze. Biologický rozklad byl očekáván u materiálů, jako jsou tabák, krabičky, papírky a vnitřní papírky z krabiček. Naopak u filtrů a fólií se biologický rozklad nepředpokládal, vzhledem k jejich složení a odolnosti vůči biologickým procesům. V průběhu pokusu byla určitá míra dezintegrace prokázána pouze u krabiček a papírků. Míra rozkladu je v tabulce znázorněna pomocí symbolů hvězdiček: \* označuje mírný stupeň desintegrace, \*\* představuje značný rozklad a \*\*\* indikuje úplné vymizení testovaného materiálu. Během sledovaného období žádný z materiálů nedosáhl úplného rozkladu.

Tabulka 4 - Míra rozkladu jednotlivých materiálů

	<b>Předpokládaný biologický rozklad</b>	<b>Míra rozkladu</b>
<b>Tabák</b>	ANO	
<b>Krabičky</b>	ANO	*
<b>Filtry</b>	NE	
<b>Papírky</b>	ANO	**
<b>Papírky vnitřek</b>	ANO	
<b>Folie</b>	NE	

#### 4.10.2 Pilotní test cigaretovou drtí

Na začátku pokusu bylo do obou pater všech tří variant pokusu inokulováno 150 ks juvenilních jedinců žížal, do každé varianty tedy 300 jedinců, jak bylo popsáno v kapitole 3.6.3 této práce. Z důvodu velkého objemu vermikompostů byly žížaly na konci pokusu počítány ve dvou protilehlých čtvrtinách obou pater a každá čtvrtina násobena hodnotou 8 (celkem 8 čtvrtin v obou patrech). Z těchto hodnot byl spočítán průměr, který je uveden k tabulce č. 5 a který reprezentativně vyjadřuje počet žížal v celém objemu obou nádob u každé varianty (cigaretová drť, cigaretová drť + kal, kal + sláma). Žížaly nejvíce prosperovaly ve variantě „Cigarety + kal“, kde bylo na konci pokusu napočítáno přibližně 856 jedinců. Ve variantě vermikompostování cigaretové drti bylo napočítáno celkem asi 452 jedinců, což značí jejich mírnou prosperitu i bez přídavku čistírenského kalu. Nejméně jedinců bylo na konci pokusu ve variantě „Kal + sláma“, a to přibližně 388 ks.

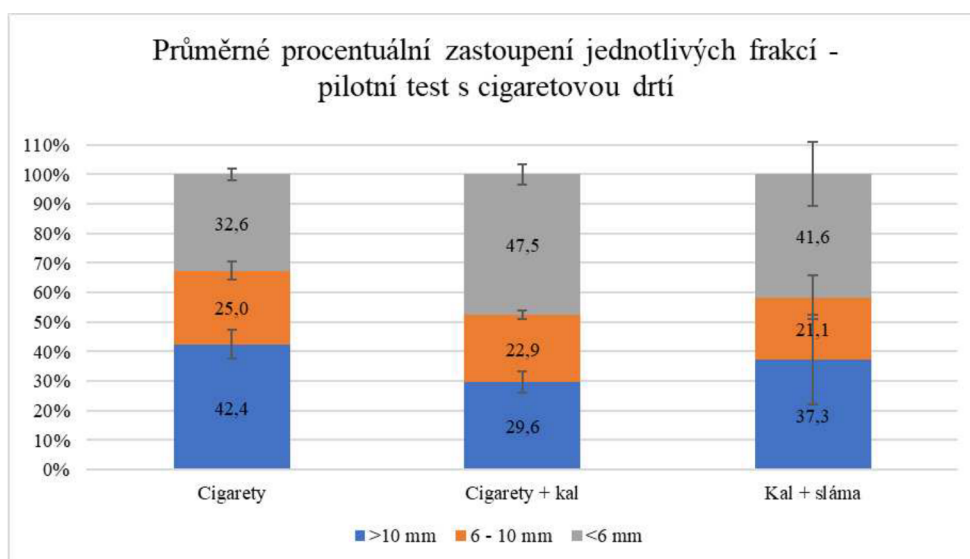
Statistické porovnání variant neprokázalo signifikantní rozdíly v počtu žížal na konci pokusu mezi žádnými variantami.

Tabulka 5 - Počet žížal na začátku a na konci pilotního testu

	Počet žížal na začátku pokusu (ks)	Počet žížal na konci pokusu (ks)
<b>Cigarety</b>	300	452 ± 179
<b>Cigarety + kal</b>	300	856 ± 253
<b>Kal + sláma</b>	300	388 ± 219

V grafu č. 1 je znázorněno procentuální zastoupení jednotlivých frakcí po sítování u všech třech variant vermikompostů. Cílem sítování bylo napodobit reálný proces separace frakcí, který standardně probíhá pomocí bubnového síta.

U varianty kompostování samostatné cigaretové drti měla největší zastoupení frakce >10 mm, konkrétně 42, 4. V této variantě zůstávaly cigaretové filtry téměř nerozloženy. Nejmenší podíl zaujímal frakce 6-10 mm s 25 % zastoupením. Zastoupení nejjemnější frakce dosáhlo hodnoty 32,6 %. Oproti vermikompostu samostatné cigaretové drti je u varianty s přidavkem čistírenského kalu znatelný nárůst podílu frakce <6 mm s podílem 47,5 %. Nejmenší podíl, a to 22,9 %, zabírá frakce 6-10 mm a nejhrubší frakce >10 mm potom odpovídá 29,6 %. vermikomposty z kalu se slámou měly při sušení tendenci hrudkovatět, a proto je na grafu možné pozorovat velký rozptyl hodnot vyjádřený směrodatnými odchylkami jako chybovými úsečkami. U dvou ze čtyř opakování měla totiž frakce >10 mm vyšší než 50 % zastoupení a u zbylých dvou opakování převažovala naopak frakce <6 mm. V průměru má ale nejvyšší zastoupení frakce <6 mm s hodnotou 41,6 %. Nejmenšího procentuálního podílu potom, stejně jako u předchozích variant, dosahuje frakce 6-10 mm, a to 21,1 %. Průměrný podíl frakce >10 mm byl u této varianty 37,3 %.



Graf 1 - Procentuální zastoupení frakcí u pilotního testu

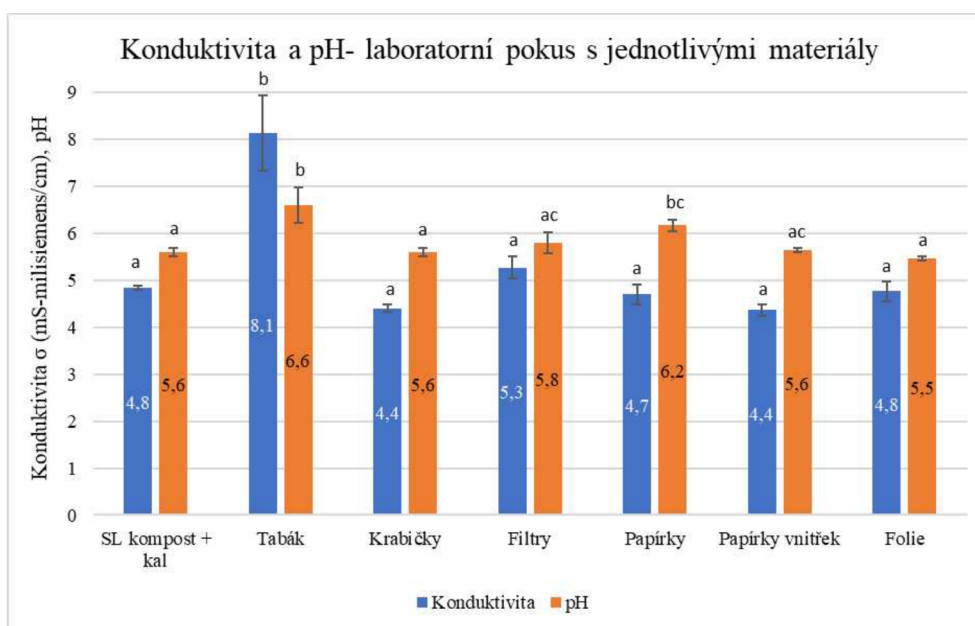
### 4.10.3 Konduktivita a pH

#### Laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Graf č. 2 znázorňuje průměrné hodnoty konduktivity (mS/cm) a pH u výluhů z laboratorního pokusu s jednotlivými materiály.

Nejvyšší hodnoty konduktivity byly naměřeny u výluhu z vermikompostování tabáku, kde průměrná hodnota přesáhla 8 mS/cm. Statistické vyhodnocení ( $p < 0,05$ ) prokázalo, že tento výluh vykazuje významné rozdíly v porovnání se všemi ostatními testovanými výluhy. Ostatní vzorky dosahovaly nižších hodnot konduktivity, přičemž filtry měly hodnotu 5,3 mS/cm, slepý pokus (kal + kompost) 4,8 mS/cm, folie 4,8 mS/cm, papírky a vnitřní vrstvy papírků shodně 4,4 mS/cm. Nejnižší konduktivita, která není zahrnuta v grafu, byla naměřena u výluhu ze vstupního kalu, a to 3 mS/cm.

Všechny vzorky se pohybovaly v kyselé oblasti pH. Nejvyšší pH (6,2) bylo zaznamenáno u výluhu z vermikompostování tabáku. Následovaly výluhy z papírků s hodnotou pH 5,8 a vzorky se stejnými hodnotami pH 5,6, které zahrnovaly slepý pokus (kal + kompost), krabičky a vnitřní vrstvy papírků. Nejnižší pH (5,5) vykazoval výluh z vermikompostování folií. Statistické odlišnosti mezi hodnotami pH jednotlivých výluhů jsou znázorněny pomocí písmen v grafu.

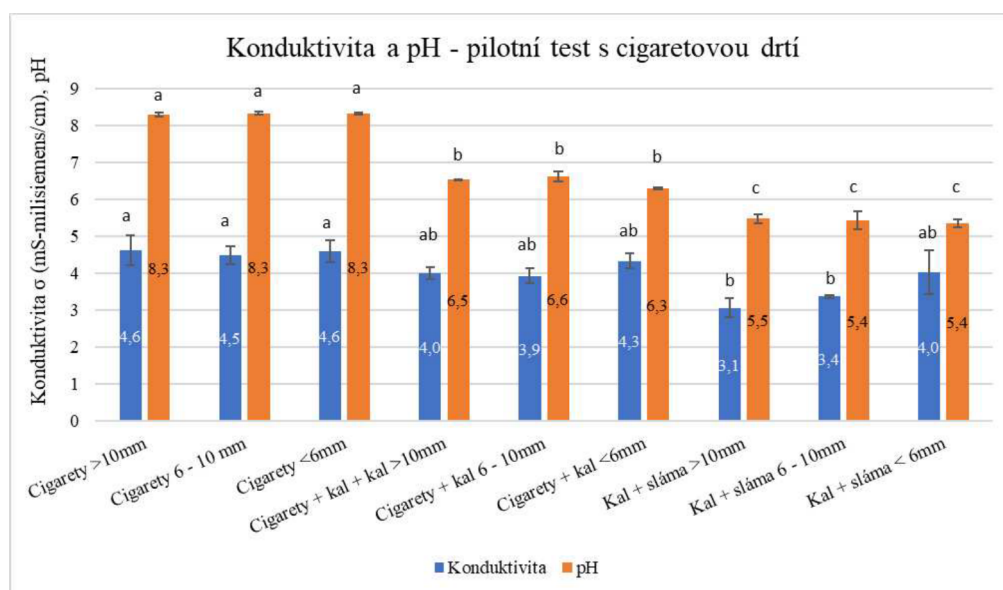


Graf 2 - Konduktivita a pH u laboratorního pokusu s jednotlivými materiály

### Pilotní test s cigaretovou drtí

Graf č. 3 znázorňuje hodnoty konduktivity vyjádřené v jednotkách mS/cm a hodnoty pH u vzorků z pilotního testu s cigaretovou drtí. U varianty výluhů z vermikompostování samotné cigaretové drti se hodnoty konduktivity pohybovaly v rozmezí 4,5 – 4,6 mS/cm, u varianty „Cigarety + kal“ pak mezi hodnotami 3,9 – 4,3 mS/cm, přičemž u těchto dvou variant se neprokázal statisticky významný rozdíl ani při porovnání frakcí, ani při porovnání variant mezi sebou. Hodnoty konduktivity varianty „Kal + sláma“ se pohybovaly mezi 3,1 – 4,0 mS/cm napříč frakcemi.

V alkalické oblasti pH se u pilotního testu s cigaretovou drtí pohyboval výluh z vermikompostu obsahujícího pouze cigaretovou drť, jak ukazuje graf č. 3, kde hodnota pH převyšovala 8. Naopak výluhy z variant cigaret s kalem a kalu se slámou vykazovaly pH v kyselé oblasti. U varianty „Cigarety + kal“ se pH v průměru pohybovalo v rozmezí 6,3–6,6 napříč frakcemi, zatímco u varianty „Kal + sláma“ byly hodnoty mezi 5,4 a 5,5. Nebyly zaznamenány žádné statisticky významné rozdíly v hodnotách pH mezi jednotlivými frakcemi u stejného typu vermikompostu. Při porovnání mezi jednotlivými vermikomposty však byl na hladině významnosti  $p < 0,05$  prokázán statisticky významný rozdíl u všech srovnání.



Graf 3 - Konduktivita a pH u pilotního testu s cigaretovou drtí

#### 4.10.4 Ekotoxikologický test klíčivosti semen hořčice bílé

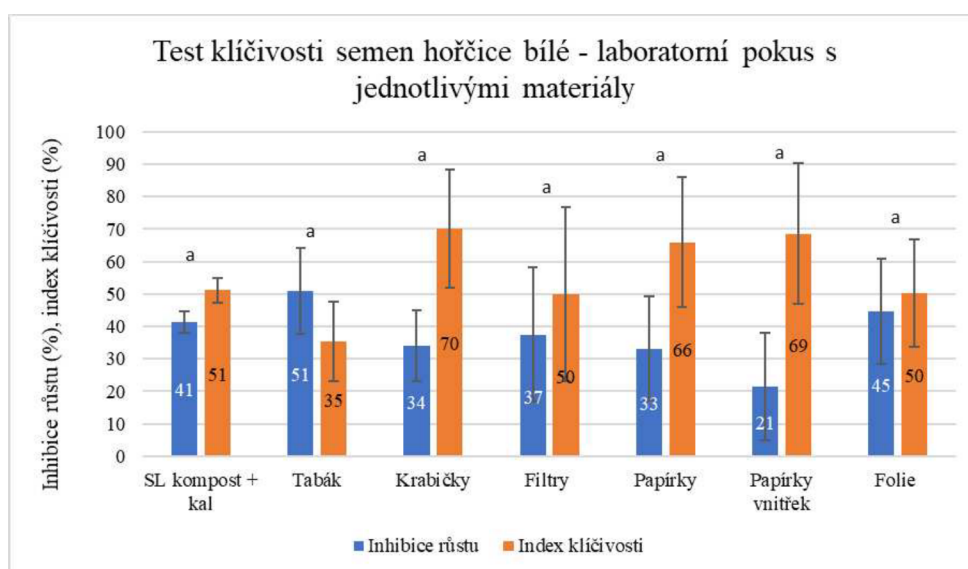
##### Laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Graf č. 4 znázorňuje výsledky testu klíčivosti semen hořčice bílé získané v laboratorním pokusu, zaměřeném na materiály obsažené v cigaretových kartonech. Zobrazeny jsou hodnoty indexu klíčivosti a inhibice růstu semen, které byly vypočítány na základě délky kořínků v porovnání s kontrolou (destilovaná voda). Kromě těchto materiálů byla toxicita testována také u vstupního čistírenského kalu a vstupního vermikompostu, jejichž výsledky však nejsou v grafu zohledněny. Kladné hodnoty inhibice růstu potvrzují inhibiční účinek, který byl pozorován u všech testovaných výluhů.

Nejvyšší inhibice růstu byla zaznamenána u výluhu z tabáku, kde dosahovala 51 %, zatímco index klíčivosti byl relativně nízký (35 %). Výluh z folií vykazoval inhibici růstu 45 % a index klíčivosti 50 %. V případě výluhů z krabiček byla naměřena inhibice růstu 34 %, přičemž index klíčivosti zde dosáhl nejvyšší hodnoty mezi testovanými vzorky, a to 70 %. Výluh z papírků měl hodnoty inhibice růstu 33 % a index klíčivosti 66 %. U slepého pokusu (SL kompost + kal) bylo zjištěno 41% inhibice růstu a index klíčivosti dosáhl hodnoty 51 %. Poměrně vysoké pozadřové hodnoty sledovaných parametrů jsou způsobeny poměrně vysokou ekotoxicitou použitých materiálů (vstupní kompost a kal). U kompostu

byla naměřena 73 % inhibice růstu a 27,7 % index klíčivosti a u kalu 37 % inhibice růstu a 61,9 % index klíčivosti.

Statisticky významné rozdíly mezi jednotlivými vzorky nebyly potvrzeny, což je v grafu znázorněno označením všech dat stejným písmenem „a“.



Graf 4 - Inhibice růstu (%) a germination index (%) - laboratorní pokus s jednotlivými materiály

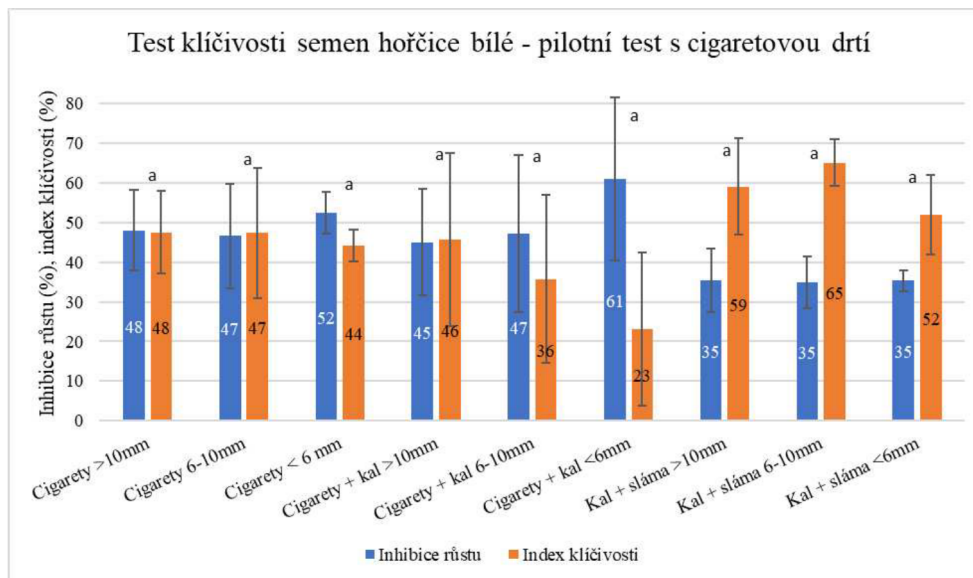
### Pilotní test s cigaretovou drtí

Graf č. 5 zobrazuje výsledky inhibice růstu a indexu klíčivosti pro tři různé typy výluhů z vermikompostů z pilotního testu: vermikompost z cigaretové drti, vermikompost ze směsi cigaretové drti s čistírenským kalem a vermikompost z čistírenského kalu se slámou. Všechny varianty jsou uvedeny ve všech prosítovaných frakcích, a to >10 mm, 6-10 mm a <6 mm.

Inhibice růstu kořene u výluhu z vermikompostu obsahujícího pouze cigaretovou drť vykazuje u frakce větší než 10 mm průměrného zastoupení 48 %, u frakce 6–10 mm dosahuje 47 %, a nejvyšší hodnota, 52 %, je zaznamenána u frakce menší než 6 mm. Index klíčivosti pro tyto frakce postupně klesá od 47,6 % přes 47,3 % až na 44,2 %. Podobný trend je patrný i u vermikompostu ze směsi cigaretové drti a čistírenského kalu. Zde je inhibice růstu 45 % u frakce větší než 10 mm, 47 % u frakce 6–10 mm a nejvyšší hodnota, 61 %, u frakce menší než 6 mm. Index klíčivosti zde klesá z 45,7 % přes 35,7 % až na 23,1 %. Vermikompost z čistírenského kalu se slámou se naopak vyznačuje konstantní inhibicí růstu u všech

velikostních frakcí, která dosahuje hodnoty 35 %. Index klíčivosti však vykazuje variabilitu – u frakce větší než 10 mm je 59,1 %, u frakce 6–10 mm dosahuje nejvyšší hodnoty 65,1 %, a u frakce menší než 6 mm činí 52,0 %.

Nebyly prokázány statisticky významné rozdíly ( $p < 0,05$ ) v hodnotách inhibice růstu a indexu klíčivosti v žádném srovnání variant.

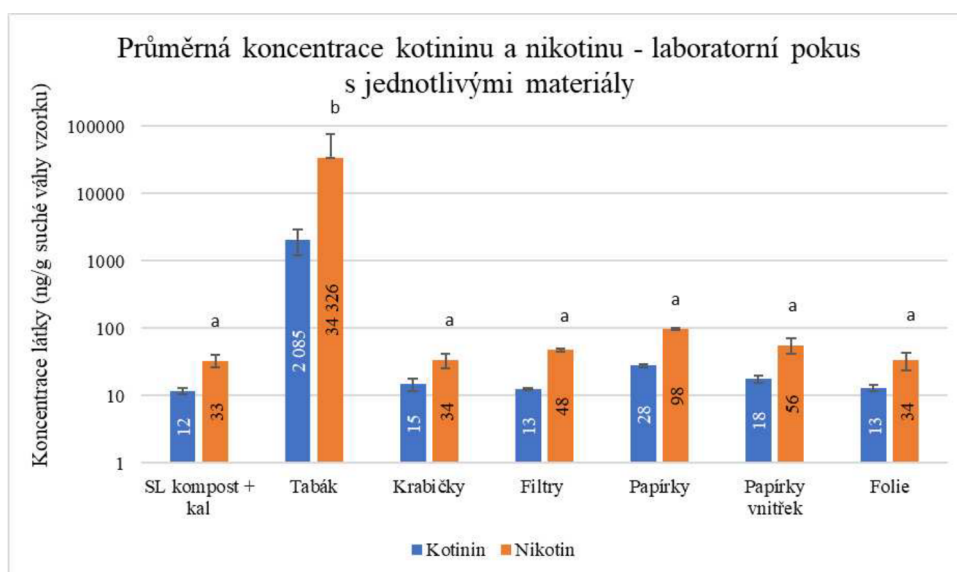


Graf 5 - Inhibice růstu (%) a germination index (%) - pilotní test s cigaretovou drtí

#### 4.10.5 Koncentrace nikotinu a kotininu

##### Laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Graf č. 6 zobrazuje koncentrace nikotinu a kotininu ve vzorcích z laboratorního pokusu s různými materiály. Hodnoty na svislé ose jsou vyjádřeny na logaritmické škále, což umožňuje lépe znázornit velké rozdíly v koncentracích mezi testovanými materiály. Řádově nejvyšší koncentrace nikotinu i kotininu byly naměřeny ve výluhu z vermikompostovaného tabáku, kde hodnoty dosahovaly 34 326 ng nikotinu/g vzorku a 2 085 ng kotininu/g vzorku. Tyto hodnoty byly signifikantně vyšší ( $p < 0,05$ ) než koncentrace naměřené u ostatních testovaných materiálů. Výluhy z ostatních materiálů obsahovaly pouze zanedbatelné množství nikotinu ve srovnání s tabákem.

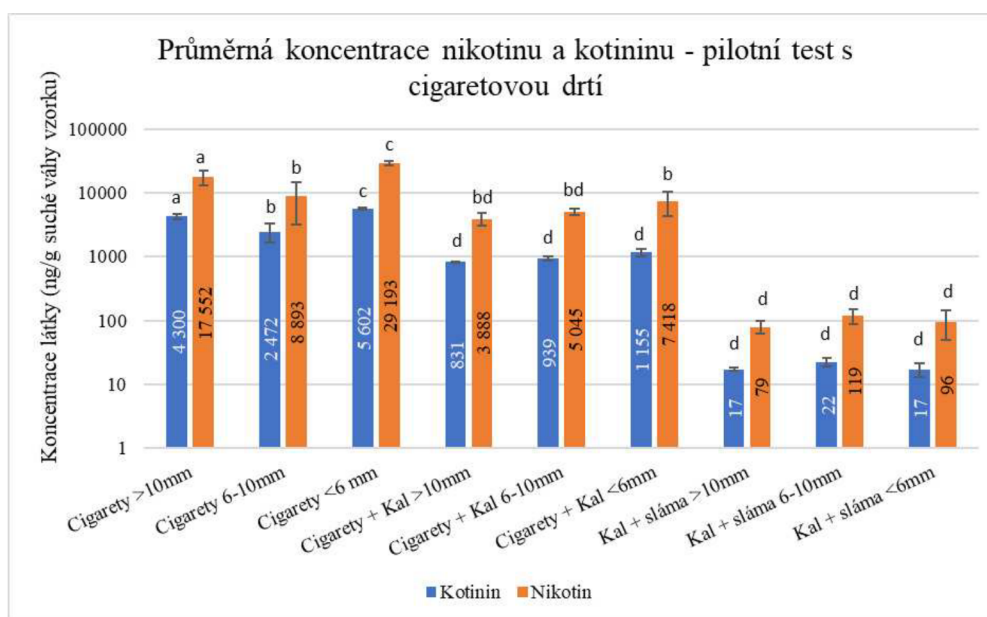


Graf 6 - Koncentrace nikotinu a kotininu – laboratorní pokus s jednotlivými materiály

### Pilotní test s cigaretovou drtí

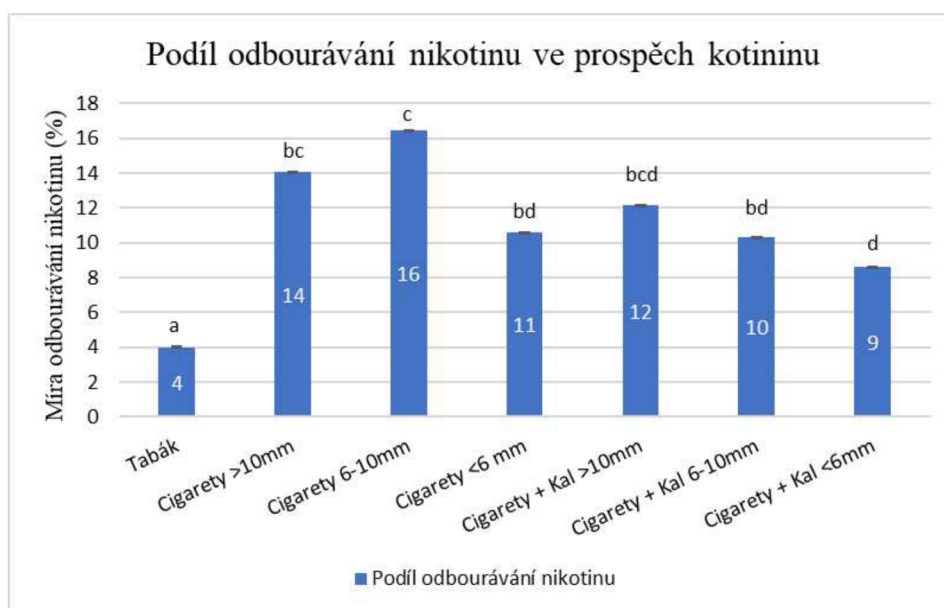
Výsledky měření koncentrace nikotinu a kotininu (ng/g) v pilotním testu s cigaretovou drtí jsou znázorněny v grafu č. 7. Obdobně jako u předchozího grafu byla využita logaritmická škála.

Nejvyšších hodnot koncentrace nikotinu a kotininu dosahovala varianta vermikompostování cigaretové drti, což se prokázalo statistickým srovnáním, kdy frakce >10 mm a frakce <6 mm byly signifikantně odlišné od všech ostatních variant o všech frakcích, včetně srovnání všech tří frakcí této varianty mezi sebou. Konkrétní hodnoty jsou potom 17 551 ng nikotinu/g vzorku (>10 mm) a 29 192 ng nikotinu/g vzorku (<6 mm). Frakce 6-10 mm měla koncentraci nikotinu 8 892 ng nikotinu/g vzorku. Varianta „Cigarety + kal“ již měla hodnoty koncentrace nikotinu nižší, a to významně u všech frakcí v porovnání s nejjemnější a nejhrubší frakcí varianty „Cigarety“. Konkrétní hodnoty potom byly 3 887 ng nikotinu/g vzorku (>10 mm), 5 044 ng/g (6-10 mm) a 7 418 ng/g (<6 mm). Varianta „Kal + sláma“ se hodnotami koncentrace nikotinu významně odlišovala od varianty samostatné cigaretové drti (všechny frakce) a směsi cigaretové drti s kalem v jedné frakci (<6 mm). U dalších dvou frakcí cigaretové drti s kalem se rozdíl neprokázal. Koncentrace této varianty byly 79, 118 a 95 ng/g (>10 mm, 6-10 mm, <6 mm).



Graf 7 - Koncentrace nikotinu a kotininu – pilotní test s cigaretovou drtí

Byla srovnána míra odbourávání nikotinu ve prospěch jeho metabolitu kotininu, což je znázorněno na grafu č. 9. Pro srovnání je v grafu uvedena míra odbourávání nikotinu ve prospěch kotininu u vermikompostu s tabákem z laboratorního pokusu, který představuje původní stav, jaký je v mezi nikotinem a kotininem před procesem vermikompostování. Ve variantě s tabákem totiž neprobíhal proces vermikompostování z důvodu brzkého úmrtí žížal. Míra odbourávání byla vypočítána jako podíl koncentrace kotininu a koncentrace nikotinu. Nejméně se nikotin odbourával právě ve variantě s tabákem, kde je poměr signifikantně odlišný od všech ostatních variant a dosahuje 4 %. Nejvíce se nikotin odbourával ve variantě „Cigarety + kal 6-10 mm“, kde poměr dosahuje 16 %.



Graf 8 - Podíl odbourávání nikotinu ve prospěch kotininu – pilotní test s cigaretovou drtí

#### 4.10.6 Koncentrace kovů v laboratorním pokusu

V laboratorním pokusu byla měřena koncentrace kovů ( $\mu\text{g/g}$  suché váhy vzorku) z důvodu úmrtí žížal ve variantě „Papírky vnitřek“. Bylo předpokládáno, že tyto papírky s metalickou barvou jsou na povrchu ošetřeny vrstvou kovu, který byl pro žížaly toxický. V tabulce č. 6 jsou znázorněny koncentrace vybraných kovů ve všech vermikompostech a pro srovnání byly proměřeny koncentrace v referenční půdě a destilované vodě. Žádný z vybraných potenciálně toxických kovů se ve výluhu zkoumaného vermikompostu „Papírky vnitřek“ nevyskytoval v koncentracích, které by mohly mít fatální vliv na žížaly. Předpoklad byl tedy tímto měřením vyvrácen.

Tabulka 6 - Koncentrace vybraných kovů – laboratorní pokus s jednotlivými materiály

Koncentrace $\mu\text{g}$ látky/g suché váhy vzorku	Ag	As	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn
<b>SL kompost + kal</b>	0,0	0,8	0,1	0,0	0,0	24,6 ± 1,3	1,5	0,3	0,0	0,0	39,4 ± 1,1	275,2 ± 3,5
<b>Kal vstup</b>	0,0	0,5	0,0	0,7	0,0	1,5 ± 0,2	3,8 ± 0,1	0,1	0,0	0,0	31,7 ± 0,9	76,6 ± 6,7
<b>Kompost vstup</b>	0,0	1,3 ± 0,1	0,1	0,0	0,0	5,9 ± 0,2	0,0	1,6 ± 0,1	0,0	0,0	46,2 ± 1,2	63,9 ± 0,8
<b>Tabák</b>	0,0	1,1 ± 0,1	0,1	0,0	0,0	15,0 ± 1,1	1,8 ± 0,1	0,4	0,0	0,0	46,6 ± 1,1	238,7 ± 12,7
<b>Krabičky</b>	0,0	0,7 ± 0,1	0,1	0,0	0,0	23,5 ± 1,8	1,8 ± 0,2	0,3	0,0	0,0	37,8 ± 0,1	267,2 ± 13,4
<b>Filtry</b>	0,0	1,0	0,2	0,0	0,0	26,2 ± 1,7	1,8	0,3	0,0	0,0	42,2 ± 0,5	328,0 ± 7,8
<b>Papírky</b>	0,0	0,9	0,1	0,0	0,0	23,4 ± 2,3	2,1	0,3	0,0	0,0	39,7 ± 0,2	279,3 ± 12,6
<b>Papírky vnitřek</b>	0,0	1,1	0,1	0,0	0,0	23,7 ± 1,7	1,7 ± 0,3	0,4	0,0	0,0	42,0 ± 4,1	306,2 ± 18,3
<b>Folie</b>	0,0	1,1 ± 0,1	0,1	0,0	0,0	20,5 ± 1,8	1,5	0,3	0,0	0,0	43,8 ± 0,6	308,3 ± 13,5
<b>Referenční půda</b>	0,0	0,6	0,1	0,9	0,0	10,4	3,7	0,9	0,0	0,0	55,4	12,1
<b>Blank</b>	0,0	0,2	0,0	0,0	0,0	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	3,6

Nicméně z tabulky lze dále vyčíst, že během procesu vermikompostování žížaly významně přispěly ke zvýšení koncentrace zinku a mědi ve vzorcích. Signifikantní nárůst ( $p < 0,05$ ) koncentrace těchto dvou mikroživin byl pozorován při porovnání vstupního kalu a kompostu se slepým vzorkem („SL kompost + kal“), který obsahoval pouze tyto dva materiály, ale byl obohacen o aktivitu žížal.

## 5 Diskuse

V průběhu laboratorního pokusu se ukázalo, že žížaly nejlépe prosperovaly ve variantě s papírovými krabičkami. Tento výsledek však oproti kontrolní variantě nepředstavoval statisticky významný rozdíl. V kontrolní variantě, která se skládala pouze ze vstupního kalu a kompostu, bylo na konci pokusu zaznamenáno 19 jedinců, což představuje mírný, avšak statisticky nevýznamný pokles oproti počátečnímu stavu 25 jedinců. Pozorovaný mírný pokles počtu žížal může být vysvětlen úbytkem množství živin dostupných pro žížaly. Ten mohl být za nepřítomnosti dalších materiálů metabolizován rychleji a na konci testu tak žížaly začaly ubývat přirozeně. Naopak, významný rozdíl byl zaznamenán u varianty s vnitřními papírkami, jejíž prostředí bylo pro žížaly fatální. Vysoká úmrtnost byla přisuzována obsahu kovů v metalické barvě papírků, což podporuje literatura uvádějící, že těžké kovy zvyšují mortalitu žížal (Parihar et al. 2019). Metalické barvy mohou obsahovat hliník, měď, stříbro nebo zlato (Raut a Al-Shamery 2018; Ozturk Merve et al. 2019). Těžké kovy jsou známé svými negativními účinky na žížaly, neboť mohou v jejich tělech bioakumulovat a způsobovat řadu problémů, včetně narušení enzymatických aktivit, poškození DNA, inhibice růstu a produkce kokonů, změn v chování nebo snížení přežití (Yadav et al. 2023). Vzhledem k těmto poznatkům byla provedena analýza obsahu vybraných kovů (Ag, As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se, Sr a Zn) ve vermikompostu obsahujícím papírky s metalickou barvou, neboť právě těžké kovy byly považovány za možnou příčinu úmrtí žížal. Pro stanovení koncentrace kovů byla zvolena metoda využívající činidlo Mehlich III, které umožňuje vyluhování kovů do roztoku a lépe tak odpovídá podmínkám biodostupnosti pro žížaly. Tato metoda byla považována za vhodnější než celkový rozklad, jenž by mobilizoval i kovy, které za běžných podmínek nejsou dostupné pro biologické procesy. Analýza však přítomnost těžkých kovů neprokázala, což naznačuje, že úmrtí žížal v této variantě nebylo způsobeno toxicitou kovů. Hlavní příčina zvýšené mortality tedy zůstává neznámá. Pokud by však stále existovalo podezření na přítomnost kovů, mohlo by být užitečné aplikovat metody elementárního rozkladu, které poskytují komplexnější informace o celkovém obsahu kovů ve zkoumaných materiálech. Tento přístup by mohl pomoci objasnit, zda mobilizace méně dostupných kovů hrála v pozorovaných úmrtích roli (Lukkari et al. 2004). Dosažené výsledky naznačují, že příčina

úhynu žížal v této variantě mohla spočívat v jiných faktorech, které nebyly v rámci této studie identifikovány.

Dalším prostředím, které se ukázalo jako fatální pro žížaly, byla jednotka obsahující tabák. V tomto prostředí došlo již po několika dnech k úmrtí žížal a masivnímu rozvoji plísně. Literární zdroje potvrzují, že cigaretový odpad má negativní vliv na rozmnožování žížal (Pyatina a Bulgakova 2024). Hlavní toxickou složkou tabáku je nikotin, který je pro žížaly při vysokých koncentracích vysoce škodlivý, zatímco při nižších dávkách se jeho toxicita snižuje (Vaidhegi et al. 2023). Na základě tohoto poznání lze usuzovat, že množství tabáku použité v laboratorním pokusu přesáhlo toleranční hranici žížal a stalo se pro ně fatálním. Výsledky druhého pilotního pokusu, který zahrnoval vermikompostování cigaretové drti podporují zmíněné tvrzení uvedené studie Vaidhegi et al. (2023), že při nižších koncentracích tabáku může dojít k adaptaci žížal, a dokonce k jejich prosperitě. Žížal na konci pokusu zde totiž bylo napočítáno 856 ks z původních 300. Tyto nálezy zdůrazňují, že množství a koncentrace nikotinu v prostředí hrají klíčovou roli v toxicitě vůči žížalám. Dalším faktorem, který mohl přispět k úmrtí žížal ve variantě s tabákem, je vysoká konduktivita dosahující hodnoty 8,1 mS/cm. Tato hodnota byla statisticky významně vyšší než u výluhů ze všech ostatních materiálů. Podle literatury žížaly nepřežívají v prostředí kravského hnoje s konduktivitou vyšší než 5 mS/cm (Mitchell 1997). Výsledky této studie však tuto hranici zpochybnily, neboť žížaly přežily ve variantě obsahující cigaretové filtry, kde konduktivita dosahovala hodnoty 5,3 mS/cm, přičemž dokonce vykazovaly mírnou prosperitu. I když tento rozpor naznačuje, že žížaly mohou do jisté míry tolerovat vyšší úroveň konduktivity, literární zdroje stále připisují vysoké konduktivitě negativní vliv na jejich přežití. Ve studii Gunadi a Edwards (2003) byla úmrtí žížal spojována s konduktivitou vzorku dosahující hodnoty 12,7 mS/cm. Tyto poznatky naznačují, že zvýšená konduktivita představuje významný stresový faktor pro růst, rozmnožování a přežití žížal. Důležitým faktorem v této souvislosti je také tvorba plísní, která byla v jednotce s tabákem pozorována. Přestože se masivní rozvoj plísně jeví jako nepříznivý jev, pravděpodobně nezpůsobil úmrtí žížal, neboť žížaly zvládnou přítomnost plísní svou činností většinou eliminovat (Kasahun Gudeta et al. 2022).

Ostatní zkoumané materiály neprokázaly toxické účinky na žížaly a některé dokonce vykazovaly mírnou prosperitu žížal, která však nebyla statisticky významná ve srovnání

s kontrolní variantou (čistírenský kal + kompost). Tyto výsledky podtrhují, že faktory, jako je složení materiálů, jejich fyzikálně-chemické vlastnosti a přítomnost potenciálně toxických látek, hrají zásadní roli při hodnocení vhodnosti prostředí pro žížaly.

Společnosti v dnešní době usilují o zakomponování udržitelnějších aktivit do svého podnikání, a to buď v rámci celospolečenských trendů, nebo kvůli povinnosti reportovat informace o udržitelnosti v rámci směrnice CSRD a souvisejících ESRS standardech (Koskelainen 2024). I proto bylo cílem druhého testu s cigaretovou drtí zjistit, zda by se toxické a inhibiční účinky jednotlivých materiálů (zjištěné v prvním pokusu) mohly zmírnit při vermikompostování ve směsi cigaretové drti a zda by bylo možné tento proces využít v praxi v mixu s čistírenským kalem, konkrétně v reálných podmínkách společnosti BAT. Pokus by se toxicita neprojevila, produkt by bylo možné obchodovat a posléze využít např jako hnojivo na zemědělské plochy. Kontrolní variantou byl čistírenský kal se slámou, přičemž sláma je běžně využívána jako materiál na odlehčení při vermikompostování čistírenských kalů (Hanc et al. 2022). Výsledky ukázaly prosperitu žížal ve všech testovaných variantách: ve vermikompostu z čisté cigaretové drti, směsi cigaretové drti s čistírenským kalem a čistírenského kalu se slámou. Nejvyšší prosperita byla zaznamenána ve variantě „Cigarety + kal,“ kde bylo na konci pokusu napočítáno přibližně 856 jedinců. Tato varianta vykazuje největší potenciál pro praktické využití, přičemž frakce <6 mm této varianty by mohla být vhodným kandidátem pro komerční účely. Podíl této nejjemnější frakce však, i přes její vyšší zastoupení oproti ostatním frakcím (6–10 mm a >10 mm), nedosahoval hodnot, které by nasvědčovaly efektivnímu praktickému využití. Navíc i v této frakci byly identifikovány potenciálně problematické materiály, jako jsou fólie nebo vnitřní papírky z krabiček, které by mohly představovat riziko při aplikaci těchto materiálů na zemědělské plochy. Ostatní frakce by mohly být opětovně využity jako vylehčující materiál v dalším cyklu vermikompostování. To znamená, že jejich relativně vysoké zastoupení není klíčovým faktorem při posuzování využitelnosti tohoto procesu v reálných podmínkách. Nicméně, kdyby byla nejhrubší frakce zastoupena znatelně více, než nejjemnější frakce, využití procesu vermikompostování cigaretové drti by postrádalo smysl a docházelo by pouze k navyšování množství odpadu, který by stejně musel být částečně likvidován spalováním. Nejnižší počet jedinců byl zaznamenán ve variantě „Kal + sláma,“ a to 388 ks. Tento pokles však nebyl signifikantní ve srovnání s ostatními variantami. Menší

nárůst počtu žížal oproti počátečnímu stavu mohl být způsoben vyčerpáním živin během pokusu. Substrát bez přídavku cigaretové drti mohl být metabolizován rychleji, což pravděpodobně vedlo k přirozenému snížení počtu žížal ke konci testu. U varianty se samotnou cigaretovou drtí bylo na konci pokusu napočítáno v průměru 452 jedinců. To ukazuje na mírnou prosperitu, která však nebyla statisticky významná oproti ostatním variantám. Výsledky naznačují, že žížaly dokážou přežít i v substrátu tvořeném samotnou cigaretovou drtí, což potvrzuje, že nikotin v tomto koncentrovanějším prostředí nepředstavuje pro žížaly toxické riziko. Přesto byl v této variantě pozorován menší rozklad substrátu, což dokládá největší podíl frakce >10 mm (42,4 %). Nekvalitně rozložené materiály v cigaretové drti zůstaly nad rozměrem 10 mm, což svědčí o nižší účinnosti procesu rozkladu v této variantě.

Navzdory nižšímu zastoupení nejjemnější frakce (<6 mm) u varianty „Cigarety + kal“, které by vzhledem k možnosti opakovaného využití ostatních frakcí nemělo být klíčovým omezením, je zásadní, aby tento potenciálně komerčně využitelný materiál prokazoval pozitivní účinky na růst rostlin. Z tohoto důvodu byl proveden test klíčivosti semen hořčice bílé, který měl za cíl vyloučit případnou toxicitu na rostliny. Výsledky ukázaly, že žádný z výluhů, a to jak v laboratorním pokusu, tak v pilotním testu, nestimuloval růst kořene hořčice bílé. Naopak, všechny výluhy vykazovaly inhibiční vliv. Laboratorní pokus se zaměřil na identifikaci materiálů s nejvyšším inhibičním účinkem, přičemž největší inhibici růstu způsobil výluh z vermikompostu obsahujícího tabák. Nicméně tento rozdíl nebyl statisticky významný ve srovnání s ostatními variantami. Zvýšená inhibice ve variantě s tabákem mohla být způsobena vysokou konduktivitou, která dosahovala hodnoty 8,1 mS/cm. Tato hodnota více než dvojnásobně překračuje limitní úroveň elektrické vodivosti pro rostliny, která činí 4 mS/cm (Sari et al. 2017). Pilotní test s cigaretovou drtí taktéž neprokázal významné statistické rozdíly v míře inhibice růstu ani indexu klíčivosti při porovnání obou variant obsahujících cigaretovou drť s kontrolní variantou.

Nejnižší inhibice růstu byla zaznamenána u výluhu z vermikompostování vnitřních papírků, což je pozoruhodné vzhledem k úhynu žížal právě v této variantě. Inhibice růstu byla měřena i u vstupního kalu a kompostu pro ujištění, že vstupní materiály nevykazují toxické vlastnosti. U kompostu byla naměřena zvýšená inhibice růstu, která dosahovala hodnoty 73 %, nicméně v mixu s čistírenským kalem klesla na 41 %. Tento výsledek mohl

být způsoben dvěma aspekty. Zaprvé, že negativní účinky samotného vermikompostu na růst kořenů mohou být ovlivněny jeho koncentrací, přičemž ve směsi s kalem se inhibice snížila. Podobné závěry přinesla i studie Ievinsh (2011), která zdůraznila závislost účinků vermikompostu na typu rostliny, množství vermikompostu a koncentraci jeho extraktu (Ievinsh 2011). Toto tvrzení doplňují i další studie, které prokázaly, že vyšší koncentrace vermikompostu mohou vykazovat inhibiční účinky, zatímco nižší koncentrace obvykle podporují růst (Klupalová 2019; Ceritoglu et al. 2021). Druhým aspektem potom může být snížení inhibice vlivem aktivity žížal.

V rámci obou pokusů byla analyzována koncentrace nikotinu a jeho metabolitu kotininu (Murphy 2021). U prvního pokusu byl dle předpokladu nikotin detekován pouze ve variantě s tabákem. V pilotním testu vykazovala nejvyšší koncentraci nikotinu varianta se samostatnou cigaretovou drtí, přičemž největší hodnoty byly naměřeny ve frakci <6 mm, která se statisticky významně lišila od ostatních frakcí této i ostatních variant. Z hlediska této studie je však klíčová jeho koncentrace ve variantě „Cigarety + kal“, konkrétně v nejjemnější frakci <6 mm. I když byla ve variantě „Cigarety + kal“ zaznamenána mírně vyšší inhibice růstu semen hořčice bílé ve srovnání s ostatními variantami a frakcemi, statisticky významné rozdíly se neprokázaly. Naproti tomu, negativní vliv této varianty na přežití žížal nebyl zaznamenán, naopak žížaly v ní prosperovaly. Inhibiční vlastnosti by mohly být potenciálně způsobeny právě vysokou koncentrací nikotinu, která dosahovala hodnoty 7 418 ng/g suché váhy, avšak toto tvrzení vyvracejí výsledky varianty samostatné cigaretové drti, kde byla koncentrace nikotinu ještě vyšší (i když ne statisticky významně), ale hodnota inhibice byla nižší. Zajímavé je, že přítomnost nikotinu nemusí být pro rostliny nutně negativní. Naopak, může přinášet výhody díky svým insekticidním a pesticidním účinkům, což umožňuje jeho využití jako ekologické náhrady za komerční pesticidy a insekticidy (Kanmani et al. 2021; Amoabeng et al. 2018). Při zvažování potenciálního využití produktu na zemědělská pole, konkrétně vermikompostu cigaretové drti s čistírenským kalem o frakci <6 mm, by uvedená zjištění mohla naznačovat pozitivní přínos pro pěstování rostlin. Zbytkový obsah nikotinu by mohl působit jako přírodní ochrana proti škůdcům, čímž by tento produkt, jak již bylo zmíněno, nabídl ekologickou alternativu ke komerčně vyráběným pesticidům a insekticidům.

Další důležitý aspekt, který byl studován, souvisí s mírou odbourávání nikotinu ve prospěch kotininu. U vermikompostu z tabáku, kde žížaly v počátečních fázích vermikompostování uhynuly, byla stanovena referenční míra odbourávání nikotinu na kotinin. Tento materiál tak nelze považovat za skutečně vermikompostovaný, protože neprošel plnohodnotným procesem zahrnujícím aktivitu žížal. Výsledná data z této varianty proto odrážejí přirozený chemický rozklad nikotinu bez přispění biologické aktivity žížal, což může sloužit jako kontrolní stav pro porovnání s variantami, kde byl proces vermikompostování úspěšně dokončen. Výsledkem srovnání míry odbourávání nikotinu ve prospěch kotininu je, že u všech variant obsahujících tabák, kde došlo k procesu vermikompostování („Cigarety“, „Cigarety + kal“), byla statisticky významně vyšší míra odbourávání nikotinu na úkor kotininu, což naznačuje, že aktivita žížal zvyšuje metabolizaci nikotinu.

V odborné literatuře jsou často zdůrazňovány pozitivní účinky vermikompostování na zvyšování dostupnosti živin v substrátu, což podtrhuje význam tohoto procesu jako klíčové technologie pro zlepšení kvality půdy (Jorge Domínguez 2013). Výsledky laboratorního pokusu této studie jednoznačně potvrdily, že aktivita žížal během vermikompostování výrazně přispívá ke zvýšení koncentrace mikroživin, konkrétně mědi a zinku, což má zásadní význam pro jejich následné potenciální využití na zemědělských plochách. Tyto mikroživiny jsou esenciální pro zdravý růst a vývoj vyšších rostlin. Měď se podílí na klíčových procesech, jako je fotosyntéza, mitochondriální dýchání, metabolismus uhlíku a dusíku, ochrana před oxidačním stresem a syntéza buněčných stěn. Zinek je naopak klíčový pro aktivitu enzymů zapojených do syntézy bílkovin, produkce energie a udržování strukturální integrity biomembrán (Hänsch a Mendel 2009). V rámci této studie byly analyzovány koncentrace mědi a zinku ve vstupním kalu a kompostu, které neprošly procesem vermikompostování a v jejich směsi o poměru 1:2 (kompost:kal), která byla obohacena o aktivitu žížal. Výsledky ukázaly, že díky biologické aktivitě žížal se koncentrace mědi a zinku v konečném produktu výrazně zvýšila, což potvrzuje vliv tohoto procesu na obohacení substrátu dostupnými mikroživinami. Vyčerpání mikroživin v půdě je častým důsledkem intenzivního zemědělství, které negativně ovlivňuje úrodnost a dlouhodobou udržitelnost zemědělských ekosystémů. Aplikace vermikompostu obohaceného o měď a zinek představuje efektivní řešení, které nejenže kompenzuje

nedostatek těchto prvků v půdě, ale také přispívá ke zlepšení struktury půdy a podpoře růstu rostlin. (Shukla Arvind et al. 2018). Na druhou stranu, za zvýšenou koncentrací zinku v kontrolní variantě, která prošla procesem vermikompostování, může být i schopnost žížal akumulovat tento prvek do svých tkání (Mahmood a Mohammed 2023). Zinek tedy mohl být do produktu zavléčen rozkladem odumřelých těl žížal, což nicméně nevyvrací tvrzení, že díky žížalám se tento prvek dostává do biodostupných forem.

Ačkoliv se metoda využití cigaretové drti jako bedding materiálu při vermikompostování čistírenských kalů v mnoha ohledech jeví jako slibná, některé aspekty toto tvrzení zpochybňují. Žádný z použitých materiálů nedosáhl úplného biologického rozkladu, což ukazuje na omezenou rozložitelnost těchto materiálů za běžných podmínek. Byla potvrzena hypotéza, že *v současnosti využívané materiály pro výrobu cigaret jsou během standartní doby vermikompostování nerozložitelné*. To naznačuje, že k dosažení lepších výsledků by bylo zapotřebí buď záměny aktuálně využívaných materiálů, delšího trvání procesu vermikompostování, nebo úpravy podmínek, například vytvoření specifického mikrobiálního prostředí, zvýšení vlhkosti, či zvýšení teploty. Naproti tomu odpověď na druhou hypotézu, a to že *při využití cigaretové drti jako bedding materiálu při vermikompostování čistírenských kalů nebude docházet ke zvýšení ekotoxicity kompostu*, není díky předloženým výsledkům tak úplně jednoznačná. Produkt sice nepůsobil toxicky na žížaly, nicméně inhibice růstu kořene dosahovala vysokých hodnot. Závěr by tedy mohl být, že toxicita záleží na organismu, který je výslednému vermikompostu vystaven.

Tato studie se rovněž nezabývala hodnocením koncentrace mikroplastů, což představuje významný prostor pro další výzkum. Čistírenské kaly používané v této studii jsou totiž obecně známy svým vysokým obsahem mikroplastů (Büks a Kaupenjohann 2020), přičemž při obohacení těchto kalů cigaretovou drtí lze předpokládat, že koncentrace mikroplastů se dále zvýšila. Folie se totiž dostávaly i do nejjemnější frakce, která by mohla být potenciálně aplikována na zemědělské plochy. Dále by si větší pozornost zasloužil i vliv nikotinu na růst rostlin, například za využití hydroponického pěstování na výluzích ze zkoumaných materiálů. Minimálně tyto zmíněné aspekty tedy vyžadují potřebu dalšího zkoumání.

## 6 Závěr

Diplomová práce se zabývala potenciálem využití vermikompostování jako udržitelného řešení pro zpracování odpadu z výroby tabákových produktů, konkrétně cigaretové drti, v kombinaci s čistírenskými kaly. Primárním cílem bylo zjistit, zda tato metoda umožňuje efektivní transformaci těchto materiálů na kvalitní vermikompost, který nevykazuje toxické vlastnosti, a který by mohl být využit ke komerčním účelům, například pro aplikaci v zemědělství.

Laboratorní a pilotní experimenty prokázaly, že cigaretová drť, navzdory přítomnosti potenciálně problematických složek, nebrání biologickým procesům prováděným žížalami. Výsledný vermikompost vykazoval uspokojivé hodnoty měřených parametrů, které by v principu nebránily jeho možnému využití v zemědělství. Nicméně práce odhalila několik významných omezení, která by mohla realizaci tohoto přístupu komplikovat. Složení cigaretové drti, zejména filtry z acetátové celulózy, vykazuje výraznou odolnost vůči biologickému rozkladu, což zvyšuje riziko kontaminace půdy. Jako další potenciálně problematické materiály byly potom identifikovány folie a papírky zevnitř krabičky.

Dále by mohla být problematická koncentrace nikotinu, která by mohla negativně ovlivnit výslednou kvalitu vermikompostu i jeho bezpečnost při aplikaci na zemědělskou půdu. Nicméně po provedení detailnějších testů zaměřených na účinky nikotinu na růst rostlin a jeho potenciální prospěšné vlastnosti, například jako ochrany proti škůdcům, by se výsledný produkt mohl stát hodnotnou surovinou, pokud by tyto vlastnosti byly potvrzeny jako přínosné. Bylo by tedy žádoucí provést další výzkum s využitím modelových organismů, jako například pěstování salátu na výluzích z jednotlivých produktů.

Zmíněné aspekty zdůrazňují potřebu dalšího výzkumu zaměřeného na optimalizaci procesu a eliminaci environmentálních rizik, aby byl tento přístup udržitelně využitelný v širším měřítku. Pokud by společnost BAT přistoupila k nahrazení problematických materiálů v cigaretové drti ekologičtějšími alternativami, mohl by tento přístup po důkladném testování koncentrací mikroplastů a nikotinu nalézt širší praktické uplatnění. Pro úspěšnou implementaci v rozsáhlejší měřítku by bylo také zapotřebí zajistit odpovídající infrastrukturu a organizační zázemí. Rovněž je třeba zvážit legislativní

a hygienické požadavky spojené s manipulací s čistírenskými kaly a odpadem z tabákového průmyslu.

## 7 Seznam použité literatury

Agegnehu, G., Gurmu G. & Abera, T., 2018. *Soil Fertility and Plant Nutrient Management*. ISBN 978-99944-66-52-8.

Ahmad, H., Yaqub, M. a Lee, S. H., 2024. Environmental-, social-, and governance-related factors for business investment and sustainability: a scientometric review of global trends. *Environment, Development and Sustainability*. Roč. 26, č. 2, s. 2965–2987. ISSN 1573-2975. Dostupné z: doi:10.1007/s10668-023-02921-x

Ahmee, K. & Abebe A., 2020. Effect of Different Bedding Materials and Waste Feeds on Vermicompost Production and Local Earthworm Performance in Wondo Genet Ethiopia.

Ali, U., Sajid, N., Khalid, A., Riaz, L., Rabbani, M.M., Syed, J. H. & Malik R. N., 2015. A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress & Sustainable Energy*. Roč. 34, č. 4, s. 1050–1062. ISSN 1944-7450. Dostupné z: doi:10.1002/ep.12100

Amoabeng, B. W., Stevenson, P. C., Pandey, S., Mochiah, M. B. & Gurr, M. G., 2018. Insecticidal activity of a native Australian tobacco, *Nicotiana megalosiphon* Van Heurck & Muell. Arg. (Solanales: Solanaceae) against key insect pests of brassicas. *Crop Protection* [online]. Roč. 106, s. 6–12. ISSN 0261-2194. Dostupné z: doi:10.1016/j.cropro.2017.11.018

Araújo, M. C. B. a Costa, M. F., 2019a. A critical review of the issue of cigarette butt pollution in coastal environments. *Environmental Research* [online]. Roč. 172, s. 137–149. ISSN 0013-9351. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2019.02.005

Araújo, M. C. B. a Costa, M. F., 2019b. From Plant to Waste: The Long and Diverse Impact Chain Caused by Tobacco Smoking. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. Roč. 16, č. 15, s. 2690. ISSN 1660-4601. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph16152690

ASH, 2021. Tobacco and the Environment. *ASH* [online]. Dostupné z: <https://ash.org.uk/resources/view/tobacco-and-the-environment>

Banožić, M., Babić, J. & Jokić, S., 2020. Recent advances in extraction of bioactive compounds from tobacco industrial waste-a review. *Industrial Crops and Products* [online]. Roč. 144, č. 112009. ISSN 0926-6690. Dostupné z: doi:10.1016/j.indcrop.2019.112009

Barnes, R. L., 2011. Regulating the disposal of cigarette butts as toxic hazardous waste. *Tobacco Control* [online]. Roč. 20, č. 1, s i45–i48. ISSN 0964-4563, 1468-3318. Dostupné z: doi:10.1136/tc.2010.041301

Belliturk, K., 2018. Vermicomposting in Turkey: Challenges and opportunities in future. *Eurasian Journal of Forest Science* [online]. Roč. 6, č. 4, s. 32–41. ISSN 2147-7493. Dostupné z: doi:10.31195/ejejfs.476504

Bonanomi, G., Maisto, G., De Marco, A., Caserano, G., Zotti, M., Mazzei, P., Libralato, G., Staropoli, A., Siciliano, A., De Filippis, F., La Storia, A., Piccolo, A., Vinale, F., Crasto, A., Guida, M., Ercolini, D. & Incerti, G., 2020. The fate of cigarette butts in different environments: Decay rate, chemical changes and ecotoxicity revealed by a 5-years decomposition experiment. *Environmental Pollution* [online]. Roč. 261, č. 114108. ISSN 0269-7491. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2020.114108

Booth, D. J., Gribben, P. & Parkinson, K., 2015. Impact of cigarette butt leachate on tidepool snails. *Marine Pollution Bulletin* [online]. Roč. 95, č. 1, s. 362–364. ISSN 0025-326X. Dostupné z: doi:10.1016/j.marpolbul.2015.04.004

Buks, F. & Kaupenjohann, M., 2020. Global concentrations of microplastics in soils – a review. *SOIL* [online]. Roč. 6, č. 2, s. 649–662. ISSN 2199-3971. Dostupné z: doi:10.5194/soil-6-649-2020

Ceritoglu, M., Erman, M., Ceritoglu, F., & Bektas, H., 2021. The Response of Grain Legumes to Vermicompost at Germination and Seedling Stages. *Legume Research* [online]. ISSN 0250-5371. Dostupné z: <https://arccjournals.com/journal/legume-research-an-international-journal/LR-610>

Clark, O. W., 2023. Vermikompostování odpadů z výroby vína [online]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/184701>

ČR, 2020. 541/2020 Sb. Zákon o odpadech. *Zákony pro lidi* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541>

ČR, 2022. *Early warning assessment related to the 2025 targets for municipal waste and packaging waste* [online]. Dostupné z: <file:///C:/Users/petrv/Downloads/CZ%20Early%20Warning%20profile%20FINAL.pdf>

ČR, 2023. 353/2003 Sb. Zákon o spotřebních daních. *Zákony pro lidi* [online]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2003-353>

Di, H., Wang, R., Ren, X., Deng, J., Deng, X. & Bu, G., 2022. Co-composting of fresh tobacco leaves and soil: an exploration on the utilization of fresh tobacco waste in farmland. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. Roč. 29, č. 6, s. 8191–8204. ISSN 1614-7499. Dostupné z: [doi:10.1007/s11356-021-16189-z](https://doi.org/10.1007/s11356-021-16189-z)

Dobaradaran, S., Nabipour, I., Saeedi, R., Ostrovar, A., Khorsand, M., Khajehmadi, N., Hayati, R. & Keshtkar, M., 2017. Association of metals (Cd, Fe, As, Ni, Cu, Zn and Mn) with cigarette butts in northern part of the Persian Gulf. *Tobacco Control* [online]. Roč. 26, č. 4, s. 461–463. ISSN 0964-4563, 1468-3318. Dostupné z: [doi:10.1136/tobaccocontrol-2016-052931](https://doi.org/10.1136/tobaccocontrol-2016-052931)

Dobaradaran, S., Soleimani, F., Akhbarizadeh, R., Schmidt, T. C., Marzban, M. & Basirianjahromi, R., 2021. Environmental fate of cigarette butts and their toxicity in aquatic organisms: A comprehensive systematic review. *Environmental Research* [online]. Roč. 195, č. 110881. ISSN 0013-9351. Dostupné z: [doi:10.1016/j.envres.2021.110881](https://doi.org/10.1016/j.envres.2021.110881)

Ducasse, V., Capowiez, Y. & Peihné, J., 2022. Vermicomposting of municipal solid waste as a possible lever for the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development* [online]. Roč. 42, č. 5, s. 89. ISSN 1773-0155. Dostupné z: [doi:10.1007/s13593-022-00819-y](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00819-y)

Enebe, M. C. & Erasmus, M., 2023. Vermicomposting technology - A perspective on vermicompost production technologies, limitations and prospects. *Journal of Environmental Management* [online]. Roč. 345, č. 118585. ISSN 0301-4797. Dostupné z: [doi:10.1016/j.jenvman.2023.118585](https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.118585)

(EUROPEAN COMMISSION), Egle, L., Marschinski R., Jones, A., Yunta Mezquita, F., Schillaci, C., & Huygens, D., 2023. Feasibility study in support of future policy developments of the Sewage Sludge Directive (86/278/EEC) [online]. B.m.: *Publications*

Office of the European Union. ISBN 978-92-68-08693-3. Dostupné z: <https://data.europa.eu/doi/10.2760/305263>

EUROSTAT, 2021. *Statistics | Eurostat* [online]. Dostupné z: [https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env\\_ww\\_spd/default/table?lang=en](https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/env_ww_spd/default/table?lang=en)

EVROPSKÁ KOMISE, 2023. *Narizení Komise v přenesené pravomoci (EU) 2023/2772 ze dne 31. července 2023, kterým se doplňuje směrnice Evropského parlamentu a Rady 2013/34/EU, pokud jde o standardy pro podávání zpráv o udržitelnosti.*

EVROPSKÝ PARLAMENT a RADA EU, 2018. *Směrnice Evropského parlamentu a Rady (EU) 2018/ ze dne 30. května 2018, kterou se mění směrnice 2008/98/ES o odpadech.*

Fojtová, Z., 2024. *Hygienizace odvodněného čistírenského kalu při procesu vermikompostování v polních podmínkách* [online]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/187855>

Ghasemi, A., Golbini Mofrad, M. M., Parseh, I., Hassani, G., Mohammadi, H., Hayati, R. & Alinejad, N., 2022. *Cigarette butts as a super challenge in solid waste management: a review of current knowledge. Environmental Science and Pollution Research* [online]. Roč. 29, č. 34, s. 51269–51280. ISSN 1614-7499. Dostupné z: [doi:10.1007/s11356-022-20893-9](https://doi.org/10.1007/s11356-022-20893-9)

Gill, H., Rogers, K., Rehman, B., Moynihan, J. & Bergey, E. A., 2018. *Cigarette butts may have low toxicity to soil-dwelling invertebrates: Evidence from a land snail. Science of The Total Environment* [online]. s. 628–629, s. 556–561. ISSN 0048-9697. Dostupné z: [doi:10.1016/j.scitotenv.2018.02.080](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.02.080)

Gómez-Brandón, M. a Domínguez, J., 2014. *Recycling of Solid Organic Wastes Through Vermicomposting: Microbial Community Changes Throughout the Process and Use of Vermicompost as a Soil Amendment. Critical Reviews in Environmental Science and Technology* [online]. Roč. 44, č. 12, s. 1289–1312. ISSN 1064-3389. Dostupné z: [doi:10.1080/10643389.2013.763588](https://doi.org/10.1080/10643389.2013.763588)

Grasserová, A., Pacheco, N. I. N., Semerád, J., Filipová, A., Innemanová, P., Hanč, A., Procházková, P. & Cajthaml, T., 2024. *New insights into vermiremediation of sewage sludge: The effect of earthworms on micropollutants and vice versa. Waste Management*

[online]. Roč. 174, s. 496–508. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2023.12.016

Gunadi, B. & Edwards, C. A., 2003. The effects of multiple applications of different organic wastes on the growth, fecundity and survival of *Eisenia fetida* (Savigny) (Lumbricidae). *Pedobiologia* [online]. Roč. 47, č. 4, s. 321–329. ISSN 0031-4056. Dostupné z: doi:10.1078/0031-4056-00196

Hanc, A., Dume, B. & Hrebeckova, T., 2022. Differences of Enzymatic Activity During Composting and Vermicomposting of Sewage Sludge Mixed With Straw Pellets. *Frontiers in Microbiology* [online]. Roč. 12 [vid. 2024-12-05]. ISSN 1664-302X. Dostupné z: doi:10.3389/fmicb.2021.801107

Hansch, R. & Mendel R. R., 2009. Physiological functions of mineral micronutrients (Cu, Zn, Mn, Fe, Ni, Mo, B, Cl). *Current Opinion in Plant Biology* [online]. Roč. 12, č. 3, s. 259–266 Physiology and Metabolism. ISSN 1369-5266. Dostupné z: doi:10.1016/j.pbi.2009.05.006

Hudcová, H., Vymazal, J. & Rozkošný, M., 2019. Present restrictions of sewage sludge application in agriculture within the European Union. *Soil and Water Research* [online]. Roč. 14, č. 2, s. 104–120. ISSN 18015395, 18059384. Dostupné z: doi:10.17221/36/2018-SWR

Ievinish, G., 2011. Vermicompost treatment differentially affects seed germination, seedling growth and physiological status of vegetable crop species. *Plant Growth Regulation* [online]. Roč. 65, č. 1, s. 169–181. ISSN 1573-5087. Dostupné z: doi:10.1007/s10725-011-9586-x

Keen, J. C., Yasim-Anuar, T. A. T. & Marina, M. T. M. T., 2021. PAPER WASTES AS BEDDINGS IN VERMICOMPOST PRODUCTION. *Borneo Science | The Journal of Science and Technology* [online]. Roč. 42, č. 2. ISSN 2231-9085. Dostupné z: doi:10.51200/bsj.v42i2.4469

Joly, F. X. & Coulis, M., 2018. Comparison of cellulose vs. plastic cigarette filter decomposition under distinct disposal environments. *Waste Management* [online]. Roč. 72, s. 349–353. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2017.11.023

Domíniguez, J., 2013. The influence of earthworms on nutrient dynamics during the process of vermicomposting [online]. Dostupné z: <https://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1177/0734242x13497079>

Kanmani, S., Kumar, L., Raveen, R., Tennyson, S., Arivolo, S. & Jayakumar, M., 2021. Toxicity of tobacco *Nicotiana tabacum* Linnaeus (Solanaceae) leaf extracts to the rice weevil *Sitophilus oryzae* Linnaeus 1763 (Coleoptera: Curculionidae). *The Journal of Basic and Applied Zoology* [online]. Roč. 82, č.1, s. 10. ISSN 2090-990X. Dostupné z: [doi:10.1186/s41936-021-00207-0](https://doi.org/10.1186/s41936-021-00207-0)

Karmegam, N., Jayakumar, M., Govarthanan, M., Kumar, P., Ravindran, B. & Biruntha, M., 2021. Precomposting and green manure amendment for effective vermitransformation of hazardous coir industrial waste into enriched vermicompost. *Bioresource Technology* [online]. Roč. 319, č. 124136. ISSN 0960-8524. Dostupné z: [doi:10.1016/j.biortech.2020.124136](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124136)

Gudeta, K., Bhagat, A., Julka, J. M., Sinha, R., Verma, R., Kumar, A., Kumari, S., Ameen, F., Bhat, S. A., Amarowicz, R., & Sharma, M., 2022. Vermicompost and Its Derivatives against Phytopathogenic Fungi in the Soil: A Review [online]. Dostupné z: <https://www.mdpi.com/2311-7524/8/4/311>

Kathleen, M., 2000. Cigarette Butts as Litter—. Cobb County Water System, an agency of the Cobb County Board of Commissioners.

Klupalová, K., 2019. Charakteristika worm tea - kapalného produktu vermikompostování a perspektivy jeho následného využití [online]. Dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/handle/20.500.11956/104808>

Korobushkin, D. I., Garibian, P. G., Pelgunova, L. A. & Zaitsev, A. S., 2020. Žížala druhu *Eisenia fetida* urychluje rychlost rozkladu nedopalků na povrchu půdy. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. Roč. 151, č. 108022. ISSN 0038-0717. Dostupné z: [doi:10.1016/j.soilbio.2020.108022](https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2020.108022)

Koskelainen, M., 2024. Study of the Novel European Sustainability Reporting Standards (ESRS) – changes and impact on the case company [online]. Dostupné z: <http://www.theseus.fi/handle/10024/856196>

Kundariya, N., Mohanty, S. S., Varjani, S., Hao Ngo, H., Wong, J. W. C., Taherzadeh, M., Chang, J.S., Yong Ng, H., Kim, S. H. & Bui, X. T., 2021. A review on integrated approaches for municipal solid waste for environmental and economical relevance: Monitoring tools, technologies, and strategic innovations. *Bioresource Technology* [online]. Roč. 342, č. 125982. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2021.125982

Lee, W. & Lee, C. C., 2015. Developmental toxicity of cigarette butts – An underdeveloped issue. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. Roč. 113, s. 362–368. ISSN 0147-6513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2014.12.018

Lirikum, L. Kakati, N., Thyug, L., & Mozhui, L., 2022. Vermicomposting: an eco-friendly approach for waste management and nutrient enhancement. *Tropical Ecology* [online]. Roč. 63, č. 3, s. 325–337. ISSN 2661-8982. Dostupné z: doi:10.1007/s42965-021-00212-y

Liu, B., Li, Y. M., Wu, S. B., Li, Y. H., Deng, A. S. & Yia, Z. L., 2012. Pyrolysis Characteristic of Tobacco Stem Studied by Py-GC/MS, TG-FTIR, and TG-MS. *BioResources* [online]. Roč. 8, č. 1, s. 220–230. ISSN 1930-2126. Dostupné z: doi:10.15376/biores.8.1.220-230

Ludibeth, S. M., Marina, I. E. & Vicenta, E. M., 2012. Vermicomposting of Sewage Sludge: Earthworm Population and Agronomic Advantages. *Compost Science & Utilization* [online]. Roč. 20, 1, s. 11–17. ISSN 1065-657X. Dostupné z: doi:10.1080/1065657X.2012.10737016

Lukkari, T., Taavitsainen, M., Vaisanen, A. & Haimi, J., 2004. Effects of heavy metals on earthworms along contamination gradients in organic rich soils. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [online]. Roč. 59, č. 3, s 340–348. ISSN 0147-6513. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoenv.2003.09.011

Macedo, G. R., Pires, T. T., Rostán, G., Goldberg, D. W., Leal, D. C., Garcez Neto, A. F. & Franke, C. R., 2011. Ingestão de resíduos antropogênicos por tartarugas marinhas no litoral norte do estado da Bahia, Brasil. *Ciência Rural* [online]. Roč. 41, s. 1938–1941. ISSN 0103-8478, 1678-4596. Dostupné z: doi:10.1590/S0103-84782011001100015

Mahmood, S. M. & Mohammed, A. M., 2023. Effects of Zinc Accumulation on Earthworm *Aporrectodea caliginosa* (Haplotaxida: Lumbricidae). *Jurnal Riset Biologi dan Aplikasinya* [online]. Roč. 5, č. 1, s. 8–15. ISSN 2655-9927. Dostupné z: doi:10.26740/jrba.v5n1.p8-15

Marbun, P., Razali, & Syahputra, R., 2024. Impact of giving vermicompost and goat manure compost to soil N, P, K nutrients, growth and production of mustard greens (*Brassica juncea* L.). *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. Roč. 1302, č. 1, článek 012008. ISSN 1755-1315. Dostupné z: doi:10.1088/1755-1315/1302/1/012008

Micevska, T., Warne, M. St. J., Pablo, F. & Patra, R., 2006. Variation in, and Causes of, Toxicity of Cigarette Butts to a Cladoceran and Microtox. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* [online]. Roč. 50, č. 2, s. 205–212. ISSN 1432-0703. Dostupné z: doi:10.1007/s00244-004-0132-y

Mitchell, A., 1997. Production of *Eisenia fetida* and vermicompost from feed-lot cattle manure. *Soil Biology and Biochemistry* [online]. Roč. 29, č. 3, s. 763–766, 5th International Symposium on Earthworm Ecology. ISSN 0038-0717. Dostupné z: doi:10.1016/S0038-0717(96)00022-3

Mohajerani, A., Kadir, A. A. & Larobina, L., 2016. A practical proposal for solving the world's cigarette butt problem: Recycling in fired clay bricks. *Waste Management* [online]. Roč. 52, s. 228–244. ISSN 0956-053X. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2016.03.012

Montalvao, M. F., Chagas, T. Q., Da Silva Alvarez, T. G., Mesak, C., Da Costa Araújo, A. P., Gomez, A. R., De Andrade Vieira, J. E. & Malafaia, G., 2019. Jak výluhy z vyhozených nedopalků ovlivňují vodní život? Případová studie sladkovodních mušlí *Anodontites trapesiali*. *Science of The Total Environment* [online]. Roč. 689, s. 381–389. ISSN 0048-9697. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2019.06.385

Murphy, S. E., 2021. Biochemistry of nicotine metabolism and its relevance to lung cancer. *Journal of Biological Chemistry* [online]. Roč. 296. ISSN 0021-9258, 1083-351X. Dostupné z: doi:10.1016/j.jbc.2021.100722

Nostrabadi, S., Mosavi, A., Shamshirband, S., Kazimieras Zavadskas, E., Rakotonirainy, A. & Chau, K. W., 2019. Sustainable Business Models: A Review. *Sustainability* [online]. Roč. 11, č. 6, článek 1663. ISSN 2071-1050. Dostupné z: doi:10.3390/su11061663

Novotny, T. E. & Slaughter, E., 2014. Tobacco Product Waste: An Environmental Approach to Reduce Tobacco Consumption. *Current Environmental Health Reports* [online]. Roč. 1, č. 3, s. 208–216. ISSN 2196-5412. Dostupné z: doi:10.1007/s40572-014-0016-x

Nunes, R. R., Bontempi, R. M., Mendonca, G., Galetti, G., & Rezende, M. O. O. R., 2016. Vermicomposting as an advanced biological treatment for industrial waste from the leather industry. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* [online]. Roč. 51, č. 5, s. 271–277. ISSN 0360-1234. Dostupné z: doi:10.1080/03601234.2015.1128737

Merve, O., Banu, N., Cezva, C., 2019. A Literature Review on Tire Noise and Design Concepts for Reducing Tire Noise. In: *ResearchGate* [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/339788930\\_A\\_Literature\\_Review\\_on\\_Tire\\_Noise\\_and\\_Design\\_Concepts\\_for\\_Reducing\\_Tire\\_Noise](https://www.researchgate.net/publication/339788930_A_Literature_Review_on_Tire_Noise_and_Design_Concepts_for_Reducing_Tire_Noise)

Parihar, K., Kumar, R., Sankhila, M. S., & Shefali, 2019. *Impact of Heavy Metals on Survivability of Earthworms* [online]. SSRN Scholarly Paper. 26. listopad 2019. Rochester, NY: Social Science Research Network. Dostupné z: <https://papers.ssrn.com/abstract=3497689>

Pyatina, E. & Bulgaková, M., 2024. Toxic effects of tobacco on soil worms in densely populated cities. *E3S Web of Conferences* [online]. Roč. 555, č. 01010. ISSN 2267-1242. Dostupné z: doi:10.1051/e3sconf/202455501010

Qin, Z., Sun, M., Luo, X., Zhang, H., Xie, J., Chen, H., Yang, L. & Shi, L., 2018. Life-cycle assessment of tobacco stalk utilization. *Bioresource Technology* [online]. Roč. 265, s. 119–127. ISSN 0960-8524. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2018.05.110

Ragoobur, D., Huerta-Lwanda, E. & Somaroo, G. D., 2022. Reduction of microplastics in sewage sludge by vermicomposting. *Chemical Engineering Journal* [online]. Roč. 450, č. 138231. ISSN 1385-8947. Dostupné z: doi:10.1016/j.cej.2022.138231

Ratnasari, A., Syafiuddin, A., Mehmood, M. A., & Boopathy, R., 2023. A review of the vermicomposting process of organic and inorganic waste in soils: Additives effects, bioconversion process, and recommendations. *Bioresource Technology Reports* [online]. Roč. 21, č. 101332. ISSN 2589-014X. Dostupné z: doi:10.1016/j.biteb.2023.101332

Raut, N. C. & Al-Shamery, K., 2018. Inkjet printing metals on flexible materials for plastic and paper electronics. *Journal of Materials Chemistry C* [online]. Roč. 6, č. 7, s. 1618–1641. ISSN 2050-7534. Dostupné z: doi:10.1039/C7TC04804A

Rostami, R., 2011. Vermicomposting. In: Sunil KUMAR, ed. *Integrated Waste Management* [online]. Rijeka: IntechOpen. Dostupné z: doi:10.5772/16449

Rupani, P. F., Embrandiri, A., Ibrahim, M. H., Shahadat, M., Hansen, S. B., Ismail, S. A. & Ab. Kadir, M. O., 2017. Recycling of palm oil industrial wastes using vermicomposting technology: its kinetics study and environmental application. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. Roč. 24, č. 14, s. 12982–12990. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-017-8938-0

Rusanescu, C. O., Rusanescu, M., Voicu, G., Paraschiv, G., Biris, S. S. & Popescu, I. N., 2022. The Recovery of Vermicompost Sewage Sludge in Agriculture. *Agronomy* [online]. Roč. 12, č. 11, článek 2653. ISSN 2073-4395. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy12112653

Sari, S., Aksakal, E. L., & Angin, İ., 2017. Influence of vermicompost application on soil consistency limits and soil compactibility. *TURKISH JOURNAL OF AGRICULTURE AND FORESTRY* [online]. Roč. 41, s. 357–371. ISSN 1300011X, 13036173. Dostupné z: doi:10.3906/tar-1705-25

Shukla, A., Kumar, B. S., Abhijit, P. & Chaudhary, S., 2018. Micronutrients in soils, plants, animals and humans. *ResearchGate* [online]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/324497356\\_Micronutrients\\_in\\_soils\\_plants\\_animals\\_and\\_humans](https://www.researchgate.net/publication/324497356_Micronutrients_in_soils_plants_animals_and_humans)

Singh, D. & Suthar, S., 2012. Vermicomposting of herbal pharmaceutical industry solid wastes. *Ecological Engineering* [online]. Roč. 39, s. 1–6. ISSN 0925-8574. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2011.10.015

Singh, M. K., 2014. Handbook on Vermicomposting: Requirements, Methods, Advantages and Applications. *B.m.: Anchor Academic Publishing (aap\_verlag)*. ISBN 978-3-95489-276-1.

Singh, S. & Sinha, R. K., 2022. 7 - Vermicomposting of organic wastes by earthworms: Making wealth from waste by converting 'garbage into gold' for farmers. In: Chaudhery HUSSAIN a Subrata HAIT, ed. *Advanced Organic Waste Management* [online]. B.m.: Elsevier, s. 93–120. ISBN 978-0-323-85792-5. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-85792-5.00004-6

Slaughter, E., Gersberg, R. M., Watanabe, K., Rudolph, J., Stransky, C. & Novotny, E. T., 2011. Toxicity of cigarette butts, and their chemical components, to marine and freshwater fish. *Tobacco Control* [online]. Roč. 20, č. 1), s. i25–i29. ISSN 0964-4563, 1468-3318. Dostupné z: doi:10.1136/tc.2010.040170

Strezov, V., Popovic, E., Filkoski, R. V., Shah, P. & Evans, T., 2012. Assessment of the Thermal Processing Behavior of Tobacco Waste. *Energy & Fuels* [online]. Roč. 26, č. 9, s. 5930–5935. ISSN 0887-0624. Dostupné z: doi:10.1021/ef3006004

Thakur, A., Kumar, A., Chava, V., Kumar, B., Kiran, S., Kumar, V. & Athokpam, V., 2021. A REVIEW ON VERMICOMPOSTING: BY-PRODUCTS AND ITS IMPORTANCE. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*. Roč. 22, s. 156–164.

U.S. DEPARTMENT OF HEALTH a AND HUMAN SERVICES, [b.r.]. Monograph 13: Risks Associated with Smoking Cigarettes with Low Machine-Measured Yields of Tar and Nicotine.

Vaidhegi, V., Saminathan, K., Preethee, S. & Kathireswari, P., 2023. Vermi-Acceleration on the Degradation of Cigarette Butts and *Nicotiana tabacum* Using Earthworm *Eudrilus eugeniae*. *Water, Air, & Soil Pollution* [online]. Roč. 234, č. 7, s. 479. ISSN 1573-2932. Dostupné z: doi:10.1007/s11270-023-06470-x

Wang, Y., Bi, Y. & Gao, C., 2010. The Assessment and Utilization of Straw Resources in China. *Agricultural Sciences in China* [online]. Roč. 9, č. 12, s. 1807–1815. ISSN 1671-2927. Dostupné z: doi:10.1016/S1671-2927(09)60279-0

Wang, Y., Luo, X., Chu, P., Shi, H., Wang, R., Li, J. & Zheng, S., 2023. Cultivation and application of nicotine-degrading bacteria and environmental functioning in tobacco planting soil. *Bioresources and Bioprocessing* [online]. Roč. 10, č. 1, s. 10. ISSN 2197-4365. Dostupné z: doi:10.1186/s40643-023-00630-x

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2017. Tobacco and its environmental impact: an overview [online]. Geneva: *World Health Organization*. ISBN 978-92-4-151249-7. Dostupné z: <https://iris.who.int/handle/10665/255574>

WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2022. Tobacco: poisoning our planet. B.m.: *World Health Organization*. ISBN 978-92-4-005128-7.

Yadav, R., Kumar, R., Gupta, R. K., Kaur, T., Kiran, Kour, A., Kaur, S. & Rajput, A., 2023. Heavy metal toxicity in earthworms and its environmental implications: A review. *Environmental Advances* [online]. Roč. 12, č. 100374. ISSN 2666-7657. Dostupné z: doi:10.1016/j.envadv.2023.100374

Yousefi, M., Mahmood, Kermani, M., Farzadkia, M., Godini, K. & Torkashvand, J., 2021. Challenges on the recycling of cigarette butts. *Environmental Science and Pollution Research* [online]. Roč. 28, č. 24, s. 30452–30458. ISSN 1614-7499. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-14058-3

Zafeiridou, M., Hopkinson, N. S., & Voulvouli, N., 2018. Cigarette smoking: an assessment of tobacco's global environmental footprint across its entire supply chain, and policy strategies to reduce it. Geneva: *World Health Organization*.

## 8 Přílohy

### Seznam příloh

#### Tabulky

Tabulka A 1 - Průměrné délky kořínků v testu klíčivosti – laboratorní pokus s jednotlivými materiály	75
Tabulka A 2 - Průměrné délky kořínků v testu klíčivosti – pilotní test s cigaretovou drtí	75

#### Obrázky

Obrázek A 1 - Stav vermikompostu s tabákem – míra rozkladu tabáku v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	76
Obrázek A 2 - Stav vermikompostu s krabičkami – míra rozkladu krabiček v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	76
Obrázek A 3 - Stav vermikompostu s filtry – míra rozkladu filtrů v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	77
Obrázek A 4 - Stav vermikompostu s papírky – míra rozkladu papírků v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	77
Obrázek A 5 - Stav vermikompostu s vnitřními papírky – míra rozkladu papírků zevnitř krabičky v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	78
Obrázek A 6 - Stav vermikompostu s folií – míra rozkladu folie v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály	78
Obrázek A 7 - Produkt vermikompostování samostatné cigaretové drti	79
Obrázek A 8 - Produkt vermikompostování cigaretové drti s kalem	79
Obrázek A 9 - Produkt vermikompostování kalu se slámou	80
Obrázek A 10 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci >10 mm – pilotní test s cigaretovou drtí	80
Obrázek A 11 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci 6–10 mm – pilotní test s cigaretovou drtí	81

Obrázek A 12 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci <6 mm – pilotní test s  
cigaretovou drťí

81

Tabulka A 1 - Průměrné délky kořínků v testu klíčivosti – laboratorní pokus s jednotlivými materiály

	<b>Délka kořene (mm)</b>
<b>SL destilovaná voda</b>	19,9 ± 2,3
<b>SL kompost + kal</b>	11,7 ± 0,7
<b>Kal vstup</b>	12,5 ± 2,0
<b>Kompost vstup</b>	5,4 ± 0,5
<b>Tabák</b>	9,8 ± 2,6
<b>Krabičky</b>	13,2 ± 2,2
<b>Filtry</b>	12,5 ± 4,1
<b>Papírky</b>	13,3 ± 3,2
<b>Papírky vnitřek</b>	15,7 ± 3,3
<b>Folie</b>	11,0 ± 3,3

Tabulka A 2 - Průměrné délky kořínků v testu klíčivosti – pilotní test s cigaretovou drtí

	<b>Délka kořene (mm)</b>
<b>SL destilovaná voda</b>	13,7 ± 1,5
<b>Cigarety &gt;10mm</b>	7,1 ± 1,4
<b>Cigarety 6-10mm</b>	7,3 ± 1,8
<b>Cigarety &lt; 6 mm</b>	6,5 ± 0,7
<b>Cigarety + Kal &gt;10mm</b>	7,51 ± 1,8
<b>Cigarety + Kal 6-10mm</b>	7,2 ± 2,7
<b>Cigarety + Kal &lt;6mm</b>	5,3 ± 2,8
<b>Kal + sláma &gt;10mm</b>	8,8 ± 1,1
<b>Kal + sláma 6-10mm</b>	8,9 ± 0,9
<b>Kal + sláma &lt;6mm</b>	8,8 ± 0,4



Obrázek A 1 - Stav vermikompostu s tabákem – míra rozkladu tabáku v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 2 - Stav vermikompostu s krabičkami – míra rozkladu krabiček v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 3 - Stav vermikompostu s filtry – míra rozkladu filtrů v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 4 - Stav vermikompostu s papírkou – míra rozkladu papírků v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 5 - Stav vermikompostu s vnitřními papírky – míra rozkladu papírků zevnitř krabičky v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 6 - Stav vermikompostu s folií – míra rozkladu folie v laboratorním pokusu s jednotlivými materiály



Obrázek A 7 - Produkt vermikompostování samostatné cigaretové drti



Obrázek A 8 - Produkt vermikompostování cigaretové drti s kalem



Obrázek A 9 - Produkt vermikompostování kalu se slámou



Obrázek A 10 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci >10 mm – pilotní test s cigaretovou drťí



Obrázek A 11 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci 6–10 mm – pilotní test s cigaretovou drtí



Obrázek A 12 - Přesítovaná varianta „cigaretová drť + kal“ o frakci <6 mm – pilotní test s cigaretovou drtí