# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

## Fakulta životního prostředí

# Vermikompostování a jeho uplatnění při snižování antropogenní zátěže při nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

**Diplomová práce**


**Vedoucí práce:**

**Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.**

**Vypracovala:**

**bc. Zuzana Blahová**



**© 2021 ČZU v Praze**

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta životního prostředí**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

| | |
|---|---|
| Autorka práce: | Zuzana Blahova |
| Studijní program: | Inženýrská ekologie |
| Obor: | Ochrana přírody |
| Vedoucí práce: | Ing. Tereza Hnátková, Ph.D. |
| Garantující pracoviště: | Katedra aplikované ekologie |
| Jazyk práce: | Čeština |
| Název práce: | **Vermikompostování a jeho uplatnění při snižovaní antropogenní zátěže při nakládání s biologicky rozložitelnými odpady** |
| Název anglicky: | **Vermicomposting and its use in reducing anthropogenic loads in the treatment of biodegradable waste** |
| Cíle práce: | Cílem práce bude definovat stávající poznatky o optimálních podmínkách pro odstraňování specifických mikropolutantů z odpadních vod a čistírenských kalů s využitím aktivity žížal a vést v této oblasti vlastní výzkum za použití vermikompostéru. Pozornost bude věnována zejména možnostem odstranění endokrinních disruptorů, reziduí léčiv, polyaromatických uhlovodíků, polychlorovaných bifenylů a těžkých kovů. |
| Metodika: | Práce bude rozdělena do třech tematických celků, a to:<br>- Současná legislativa České republiky a Evropské unie ve vztahu k mikropolutantům;<br>- Vermikompostování v rámci legislativního prostředí ČR;<br>- Problematika odstraňování specifických mikropolutantů z odpadních vod a čistírenských kalů, přehled dostupných technologií včetně vermikompostování. Přehlednou formou, včetně přehledových tabulek, zhodnocena stávající legislativa a dostupné technologie eliminace mikropolutantů z odpadních vod a kalů.<br>Dále bude popsán vlastní výzkum vermikompostování u různých druhů odpadů. V rámci diskuse budou zhodnoceny případné benefity a omezení technologie vermikompostování na základě vlastních poznatků a literatury. |
| Doporučený rozsah práce: | 30 stran |
| Klíčová slova: | vermikompost, odpadní vody, kaly, mikropolutanty |

Doporučené zdroje informací:

1. HANČ, A.; PLÍVA, P. Vermikompostování bioodpadů : (certifikovaná metodika). Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. ISBN 978-80-213-2422-0.
2. *Kaly a odpady 2006 : Brno - 19.-21. června 2006*. Brno: VUT, 2006. ISBN 80-239-7258-8.
3. NESVADBA, J. *Kaly a tepelné zpracování čistírenských kalů*. Praha: Inkoteka, 1994.

Předběžný termín obhajoby: 2019/20 LS - FŽP

Elektronicky schváleno: 5. 11. 2018
**prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.**
Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 13. 11. 2018
**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**
Děkan

# Prohlášení

Čestně prohlašuji, že jsem tuto práci na téma Vermikompostování a jeho uplatnění při snižování antropogenní zátěže při nakládání s biologicky rozložitelnými odpady vypracoval(a) samostatně, veškerý text je v práci původní a originální a všechny použité literární prameny jsem podle pravidel Citační normy FTZ řádně uvedl(a) v referencích.

V…….… dne ……..…

.....

Zuzana Blahová

# Poděkování

# Abstrakt

**Vermikompostování a jeho uplatnění při snižovaní antropogenní zátěže při nakládání s biologicky rozložitelnými odpady**

Rešeršní část se skládala z výčtu způsobů eliminace antropogenní zátěže v kalech pomocí žížal a legislativnímu přístupu k tomuto problému.

V rámci praktické části byl proveden experiment, kde žížaly eisenia andrei rozkládaly stabilizované kaly ze středně velké čistírny odpadních vod po dobu půl roku.

Ke zkoumání vlastností finálního produktu a jejich stability dle platné legislativy ve výsledném vermikompostu byly použity metody AT4 a klíčivosti kořene sinapis alba, certifikovanou laboratoří byly poskytnuty hodnoty pH, C:N, spalitelných látek, $NO_2$, $K_2O_5$, a celkového dusíku. Následně došlo ke statistickému vyhodnocení dat pomocí jednocestné analýzy rozptylu.

Výsledky ukázaly, že vermikompostování může být účinnou metodou pro snižování množství odpadu organického původu, zvyšování kvality výsledného produktu, a rozklad některých mikropolutantů. Zvyšuje se provzdušněnost zeminy a zlepšuje mikrobiální rozmanitost.

**Klíčová slova: žížaly, odpadní vody, kaly, mikropolutanty, AT4, klíčivost**

# Author’s abstract

**Vermicomposting and its application in reducing the anthropogenic burden in the management of biodegradable waste**

Review part consists of the enumeration methods of elimination of anthropogenic material in sewage sludge by earthworms and legislative approach to this problem.

As part of the practical section, an experiment has been performed, in which the earthworms eisenia andrei have decomposed stabilized sludge from a medium sewage treatment plant for half year.

To investigate the characteristics of the final product and its stability according to the valid legislation in the resulting vermicompost, the AT4 method and the root germination test were used. Values of pH, C:N, combustible substances, NO2, K2O5, and total nitrogen content were obtained from certified laboratory. Subsequently, the dataset was evaluated by the analysis of variance.

The results proved, that wermicomposting could be an effective/succesful method for decreasing the amount of  organic wastes, improving the quality of the resulting product and disintegration of some micropollutants. This technique is increasing the soil aeration and the microbial diversity as well.

**Key words: Earthworms, wastewater, sludge, micropollutants, AT4, Root germination/elongation test**

# Obsah

**1. ÚVOD** ..... **1**
**2. Cíle práce** ..... **3**
**3. Teoretická část** ..... **4**
3.1 Žížaly ..... 4
3.1.1 Taxonomické zařazení ..... 5
3.1.2 Popis ..... 5
3.1.2.1 Žížala hnojní (eisenia fetida, Savigny, 1826) ..... 6
3.1.2.2 Žížala kalifornská (eisenia andrei, Bouché 1972) ..... 6
3.1.3 Metabolismus a enzymatický aparát ..... 6
3.2 Odpadová legislativa ..... 7
3.3 Mikropolutanty /Endokrinní disruptory ..... 8
3.3.1 Výskyt a mechanismus účinků ..... 12
3.4 Hormony ..... 14
3.4.1.1 Hormonální antikoncepce ..... 14
3.5 Pesticidy ..... 15
3.6 Těžké kovy ..... 15
3.7 Další mikropolutanty ..... 16
3.7.1 Polychlorované bifenyly ..... 16
3.7.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU) ..... 17
5.4.2.1. Pokus o odstranění PAU pomocí vermikompostu ..... 17
3.8 Kompostování a vermikompostování ..... 18
3.8.1.1 Procesy při kompostování či vermikompostování ..... 20
3.8.2 Kompostování ..... 20
3.8.3 Vermikompostování ..... 22
3.8.3.1 Vermikompostér ..... 24
3.8.3.2 Výsledek ..... 25
3.8.3.3 Metody pro zjištění stavu vermikompostu ..... 26
3.8.4 Vermifiltrace ..... 26
3.8.5 Poměr uhlíku a dusíku ..... 27
3.9 Čistírenské kaly ..... 28

3.9.1 Termický rozklad .....31
3.9.2 Aplikace kalů v zemědělství .....31
3.9.3 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech.....32
3.10 Diskuze .....36
3.10.1 Přehledové tabulky .....37
**4. Praktická část.....38**
4.1 Metodika.....38
4.1.1 Desing vermikompostéru.....38
4.2 Sběr dat .....39
4.3 Respirace - AT4.....40
4.3.1 Popis metody .....40
4.3.2 Vyhodnocení .....40
4.4 Ekotoxicita na semenech sinapis alba.....41
4.4.1 Popis .....41
4.4.2 Vyhodnocení .....43
4.4.3 Vliv žížal na rozklad nežádoucích látek z kalů.....44
**5. Závěr .....48**

## Seznam tabulek:

Tabulka č. 1: Mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů v půdě, směrnice EU 86/278/EHS, strana 17

Tabulka č. 2: Odvádění a čištění odpadních vod z kanalizací v letech 1989, 2009 a 2014–2019 (Vodovody a kanalizace ČR, 2019), strana 23

Tabulka č. 3: Ukazatele a kapacity kanalizací (Vodovody a kanalizace ČR, 2019) strana 23

Tabulka č. 4: Přírůstek kořínků u sinapis alba po 72 hodinách, strana 51

Tabulka č. 5: Znaky jakosti pro použití v zemědělství, ČSN 46 5735 a ČSN 46 5736, strana 52

Tabulka č. 6: Hodnoty odebraných vzorků získané z certifikované laboratoře, strana 53

Tabulka č. 7: Analýza rozptylu dat měřených parametrů, strana 53

Tabulka č. 8: Analýza rozptylu dat AT4, strana 54

Tabulka č. 9: Technologie vhodné k odstraňování polutantů, citace, strana 55

## Seznam obrázků (a grafů):

Obrázek č. 1: Stavba těla žížaly © Zuzana Blahová, 2021, strana 3

Obrázek č. 2: Žížala eisenia andrei v pozadí vermikompostér © Zuzana Blahová, 2021, strana 7

Obrázek č. 3: Schéma vermikompostéru, Hanč a Plíva, (2013), strana 31,

Obrázek č. 4: Design experimentálního vermikompostéru, (Innemanová, 2020), strana 40,

Obrázek č. 5: Odběr vzorku vermikompostu Foto: © Zuzana Blahová, strana 41

Obrázek č. 6: Měření respirace přístrojem OxiTop® OC 110, Foto: © Zuzana Blahová, 2021, strana 43

Obrázek č. 7: Přírůstek kořínku sinapis alba; Foto: © Zuzana Blahová, strana 47

Obrázek č. 8: Založení pokusu klíčívosti Foto: © Zuzana Blahová, strana 50

Obrázek č. 9: Délka kořínků sinapis alba; Foto: © Zuzana Blahová, strana 50

Graf č. 1: Spotřeba $O_2$/1000ml a přepočet na objem vzorku, strana 47

## Seznam zkratek použitých v práci:

AMPA = 2-amino-3-(3-hydroxy-5-methyl-1,2-oxazol-4-yl) propanová kyselina

AOB = bakterie oxidující amoniak

AOP = pokročilé oxidační procesy

BPA = Bisfenol A

ČOV = čistírna odpadních vod

DDT = Dichlordifenyltrichlorethan

DEHP = (bis(2-ethylhexyl) ftalát)

DOC = rozpuštěný organický uhlík

EDTA = Disodium edetate

ES = Evropské společenství

GHG = emise skleníkových plynů

CHSK = chemická spotřeba kyslíku

K = kompost

KK = klasický kompost

MBR = membránový bioreaktor

OP = Octylfenol

PAU = polycyklické aromatické uhlovodíky

PCB = polychlorované bifenyly

PFOS = Perfluoroktansulfonan

PPCP = produkty osobní péče

PVC = polyvinylchlorid

SPES = kalů ze zpracování hedvábí (anglicky)?

TCOD = celková spotřeba kyslíku

TN, TON = celkové množství dusíku

TOC = celkový organický uhlík

TOD = celkové množství kyslíku

VF, VP = vermifiltr

VK = vermikompost

# 1. ÚVOD

V současnosti jsou známy miliony různých chemických látek a každý den jsou syntetizovány další a další. Chemizace nejrůznějších odvětví průmyslu je příčinou masové kontaminace prostředí cizorodými látkami. Mezi nejzávažnější projevy vystavení člověka cizorodým látkám patří: výskyt nádorových onemocnění, množství vrozených vad, počet alergických onemocnění (Šuta, 2008). Zároveň zpřísňující se legislativa zavádí opatření k postupnému snižování množství nežádoucích látek, vypouštěných do životního prostředí, a také omezování skládování na nejnutnější minimum, v důsledku čehož také vzrůstá poptávka po efektivních technologiích na zpracování a čištění odpadu, potažmo čistírenských kalů. Jako nejpalčivější problémy se jeví množství vyprodukovaného kalu a jiného odpadu, a také jeho dostatečné vyčištění od nežádoucích mikropolutantů: endokrinních disruptorů, reziduí léčiv, polyaromatických uhlovodíků, polychlorovaných bifenylů či těžkých kovů. Při vhodném designu by mohla být v budoucnu použita technologie vermikompostování. Pokud jde o hodnocení ekonomiky daného postupu při hospodaření s kaly, jeví se jako nejlepší technologie v poměru cena/výkon.

Řadou studií již bylo vyzkoumáno, že vermikompostování lze v praxi uplatnit k různým činnostem, je však stále poměrně novým, avšak v poslední době velmi rychle se rozvíjejícím odvětvím. Technologie využívá žížaly ke stabilizaci organického odpadního materiálu, vytváří prostředí bohaté na mikroorganismy, a tím zrychluje a zlepšuje proces kompostování (Quaik a kol., 2012). V této souvislosti bylo publikováno mnoho článků, například certifikovaná metodika Hanč a Plíva 2013, a zároveň se dostalo do povědomí lidí do takové míry, že nyní funguje i na komunitní úrovni.

Vermikompostování pomocí žížal by mohlo být řešením, dostupným pro většinu domácností i firem, jelikož je levné a variabilní, a může se jednat o odpady v malém či větším měřítku řádech gramů, kilogramů, či dokonce tun za jeden vermikompostovací cyklus, důležité je správné rozvrstvení a předem také provést dostatečný výzkum této problematiky. Pro správnou funkčnost je potřeba zachování ideální vnitřní teploty vermikompostéru a doplňování vhodného objemu potravy. (Hanč a kol., 2019)

Člověk uvolňuje do životního prostředí látky, které byly dlouhodobě uloženy v zemi, kde neohrožovaly jeho zdraví (např. těžké kovy, jako olovo, rtuť či kadmium). Nyní jsme vyrobili množství látek, které se v přírodě běžně nevyskytovaly (např. DDT, PVC,

PCB, freony aj.). Tyto látky mají někdy velmi zajímavé vlastnosti pro speciální využití (např. hubí hmyz, odolávají vysokým teplotám atd.), ale zároveň mohou ohrozit nejen životní prostředí, ale i zdraví nebo životy lidí, ať už přímo (jsou jedovaté), nebo tím, že mají na prostředí člověkem nepředpokládaný účinek (např. vytvářejí tzv. ozonovou díru) (Šuta, 2008).

Nově byly nastaveny povolené limity pro rizikové prvky a látky v kalu a také v půdě, na kterou má být kal použit. Byla zakotvena povinnost zpracovat „Program využití kalu“ a řadu dalších. To vše v souladu se směrnicí Rady č. 86/278/EEC „O ochraně životního prostředí a zvláště půdy při používání čistírenských kalů v zemědělství“ z 12.6.1986, která umožňuje členským státům danou problematiku upravit i přísněji, což také Česká republika udělala (Budňáková, 2017). Stále však není dostatečně vyřešeno, jak a jestli žížaly mohou být vhodnými pomocníky při odstraňování endokrinních disruptorů z kalů, zda výsledný produkt může mít takovou kvalitu, aby byl po procesu vhodný k následnému použití v zemědělství. Také nejsou dostatečně vyzkoumány možnosti dlouhodobého opakování experimentu se stejnými nebo lepšími výsledky.

Působením enzymů ve vermikompostu rostliny lépe využívají minerální látky již obsažené v půdě. Vermikompost podporuje též tvorbu kořenového systému a celkové biomasy, zvyšuje vitalitu a znásobuje množství květů a plodů, urychluje dozrávání a zvyšuje obsah cukrů a vitamínu C v plodech, a naopak snižuje hladinu dusičnanů (Filip, 2019). Výsledky ukazují, že výluhy z vermikompostu vykazují vyšší hodnotu měrné elektrické vodivosti, která je 1,66 ± 0,02 DS M-1 (Quaik a kol., 2012). Exkrementy žížal mají též oproti půdě vyšší obsah auxinových látek stimulujících růst rostlin a zvyšují dostupnost prostorů pro příjem živin rostlinami (Pižl, 2018).

# 2. Cíle práce

Cílem teoretické části bude shrnout stávající poznatky o fyziologii žížal a funkci jejich enzymatického aparátu ve vztahu k eliminaci antropogenní zátěže, prezentované v diskusi, z čistírenského kalu a odpadních vod. Dále rešeršní sběr postupů a metod, vztahujících se k tomuto tématu a jejich technologického uspořádání z odborných článků zahraniční literatury.

Následně určit optimální podmínky pro odstraňování specifických mikropolutantů z odpadních vod a čistírenských kalů s využitím aktivity žížal. Pozornost bude věnována zejména možnostem odstraňování hormonů, ale i jiných endokrinních disruptorů, reziduí léčiv, polyaromatických uhlovodíků, polychromovaných bifenylů, a těžkých kovů.

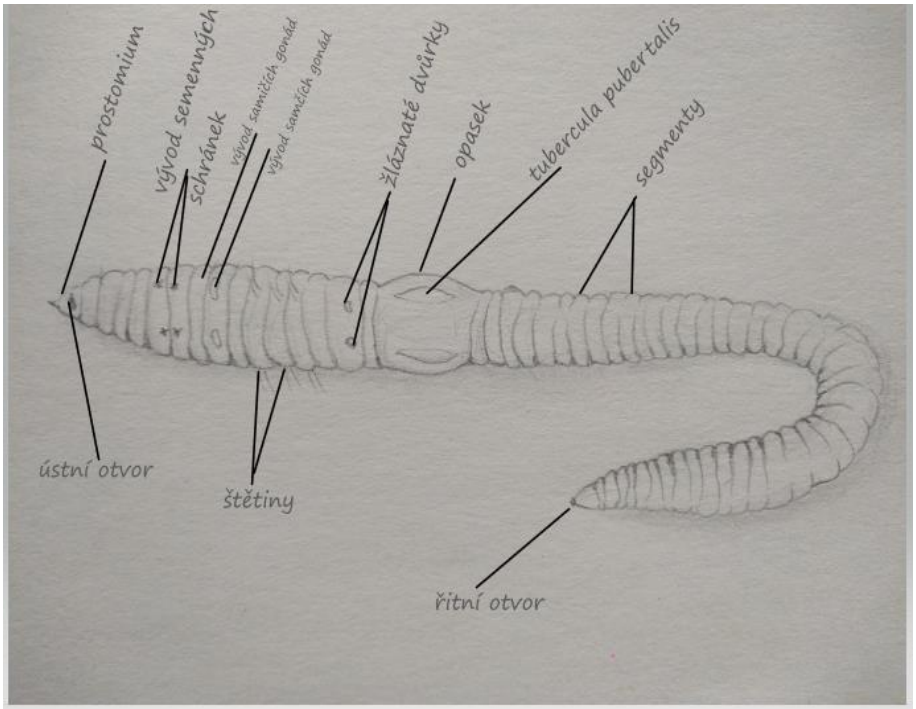
Podstatná část bude věnována legislativnímu rámci, danému zákonem, vyhláškami a normami, týkajícího se nakládání s odpady a vermikompostem.

Cílem praktické části bude zaměřit se na výzkum degradace nežádoucích látek za použití vermikompostéru, z odebraných vzorků vyzkoumat stav výstupní suroviny, případně navrhnout možnosti zlepšení.

Cílem práce bude také výzkum toho, zda a jakým způsobem lze efektivně rozkládat čistírenské kaly pomocí žížal eisenia andrei, ve vermikompostéru, případně vermireaktoru, aby bylo možné výstupnou surovinu legálně použít v zemědělství.

# 3. Teoretická část

## 3.1 Žížaly




Obrázek č. 1: Stavba těla žížaly © Zuzana Blahová, 2021

Žížaly jsou nejvýznamnější složkou půdní fauny, neboť, zejména tvorbou chodeb, produkcí výkalů a vzájemnými vztahy s rostlinami, mikroorganismy a ostatními půdními živočichy, výrazně ovlivňují půdní strukturu a mikrostrukturu, přeměnu organické hmoty a koloběhy živin. Žížaly dokážou významně přeměnit půdní prostředí, ve kterém žijí, a jsou proto řazeny mezi tzv. ekosystémové inženýry (Pižl, 2014). Použití žížal je příslibem levnějšího řešení některých sociálních, ekonomických a environmentálních problémů, které sužují lidskou společnost. Lze díky nim efektivně snižovat množství odpadů, které by jinak končily na skládkách, rozkládat všechny komunální a průmyslové organické odpady včetně kanalizačních kalů. Jejich tělo funguje jako "biofiltr" a mohou vyčistit a také hygienizovat a detoxikovat obecní a několik průmyslových odpadních vod, dokonce mohou odstranit EDC (endokrinní disruptory) z odpadních vod, které nejsou odstraněny běžnými čističkami (Sinha a kol., 2010 a). Žížaly jsou saprofágní živočichové a představují nejvýznamnější skupinu půdní makrofauny, některé druhy však mohou obývat i sladkovodní ekosystémy či nadzemní části suchozemských ekosystémů. K nejdůležitějším požadavkům žížal na prostředí patří dostatek a kvalita potravních zdrojů, vhodná vlhkost, teplota, půdní reakce a půdní textura (Pižl, 2018). Jsou hermaphrodité, ale samooplození bývá raritou (Adhikary, 2012). Hermafroditické druhy čeledi žížalovitých eisenia sp. jsou všudypřítomné a vysoce odolné vůči řadě environmentálních stresorů, včetně těžkých kovů (Jaskulak a kol., 2020). Mohou je bioakumulovat a biotransformovat včetně mnoha chemických kontaminantů. Obnovují a zlepšují plodnost půdy jejich sekretem (s růstovými hormony) a výměšky (s prospěšnými půdními mikroby) a zvyšovat produktivitu plodin. Mají potenciál nahradit ekologicky destruktivní chemická hnojiva ze zemědělské výroby (Sinha a kol., 2010 a). Nedávné výzkumy uvedly rostoucí zájem mezi výzkumnými pracovníky k prozkoumání jejich biochemických a molekulárních markerů jako ukazatele akumulace znečišťujících látek (a zejména pesticidů) v půdě. Bylo objeveno, že žížaaly mají na různných místech těla biomolekuly, které indikují citlivost organismu vůči různým xenobiotikům (Tiwari a kol., 2016).

Na celém světě se nachází asi 3000 druhů žížal, z nichž většina je všežravá (Adhikary, 2012). Základním zdrojem jejich potravy je odumřelá organická hmota rostlinného (a někdy i živočišného) původu a půdní mikroorganismy, méně významnou složku potravy tvoří drobní půdní živočichové. Z hlediska potravních zvyků můžeme rozlišit dvě skupiny žížal - detritofágní a geofágní. Detritofágní druhy se živí rostlinnými zbytky, případně exkrementy savců, na půdním povrchu a v nejsvrchnějších horizontech

půdy, zatímco druhy geofágní pohlcují velká množství půdy a tráví v ní obsažené organické zbytky a mikroflóru (Pižl, 2018). Odpady jsou díky nim degradovány rychleji (o více než 75% oproti konvenčním systémům), vyrobený kompost je hygienizován, detoxikován, celkově bohatší na živiny a prospěšné půdní bakterie; PAH z kontaminovaných půd byly odstraněny o více než 80% za pouhých 12 týdnů; dokonce podpořily růst plodin o 30-40% více, než chemická hnojiva (Sinha a kol., 2010).

Abundance, tedy množství, a biomasa žížal dosahují v ekosystémech severního mírného pásma asi 30-400 jedinců/$m^2$ a 2-50 g/$m^2$ a podobné hodnoty byly zjištěny i u původních společenstev žížal v tropech a subtropech. Evropské druhy žížalovitých, které byly člověkem zavlečeny na jižní polokouli, však mohou na tamních loukách a pastvinách dosahovat hustoty výskytu vyšší než 2 000 jedinců/$m^2$ a biomasy až 350 g/$m^2$ (Pižl, 2018). Biomasa bohatá na proteiny se používá k výrobě nutričních krmných surovin pro rybářství, mlékárny a drůbeží průmysl. Jsou také používány jako "surovina" pro pryžové, mazivové a detergentní průmysly. Bioaktivní sloučeniny izolované z žížal nalézají nová použití ve výrobě léků, zachraňujících lidské životy, například při kardiovaskulárních onemocněních a léčbě rakoviny (Sinha a kol., 2010).

Přestože jsou žížaly rozšířeny na všech kontinentech, většina čeledí obývá tropické či subtropické oblasti, případně mírné pásy mimoevropských kontinentů. Ve střední Evropě se téměř výhradně vyskytují jen zástupci čeledi žížalovitých, Lumbricidae, s více než 150 druhy (Pižl, 2018).

### 3.1.1 Taxonomické zařazení

Kmen: Kroužkovci (Annelida)
Třída: Opaskovci (Clitellata)
Podtřída: Máloštětinatci (Oligochaeta)
Řád: Žížaly (Opisthopora)
Čeleď: Žížalovití (Lumbricidae)
Rod: Eisenia (Žížaly) (Biolib, 2021)

### 3.1.2 Popis

Jejich tělo je válcovité, zadní část však může být hranatá či zploštělá (Pižl, 2018). Trávicí trubice prochází celým tělem žížaly. Začíná ústy a končí řitním otvorem na

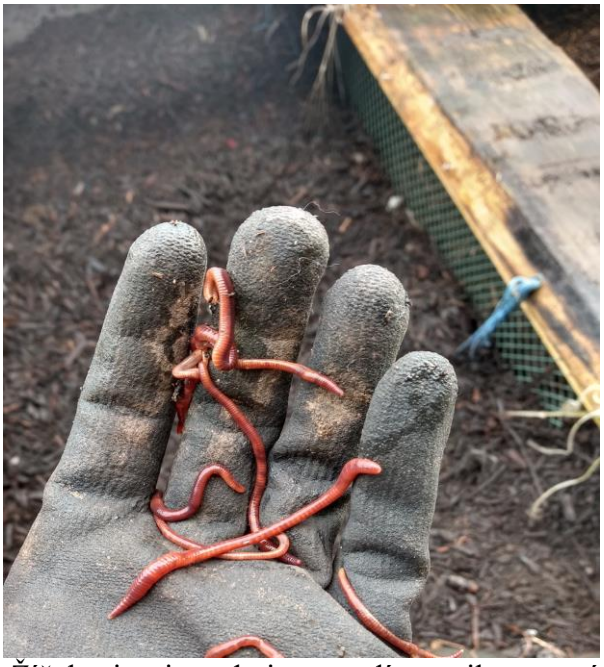
posledním tělním článku. Po stranách žláznatého žaludku (volete) má zřetelné vápenaté žlázy. Ty slouží k neutralizaci huminových kyselin, obsažených v tlejícím listí, které je podstatnou složkou žížalí potravy (Jelínek a Zicháček, 2007). Žížaly mají unikátní trávicí systém, jsou odolné vůči většině polutantů, mají možnost jejich akumulace a přeměny, některé mají v těle dokonce kryoprotektanty (Calderon a kol., 2009). Širokou trávicí soustavou žížaly může projít v krátké době poměrně mnoho potravy, která má nízkou výživnou (nutriční) hodnotu (živí se např. listy). Její dokonalejší využití umožňuje prokrvená epiteliální řasa tyflosolis, čnějící do dutiny střeva po celé délce jeho hřbetní části. Střevo žížaly je obaleno exkrečním, tzv. chloragogenním epitelem, jehož buňky mají schopnost hromadit v sobě tělu škodlivé látky. Po odloupnutí opouštějí tělo metanefridiemi (Jelínek a Zicháček, 2007).

Jen v předních článcích se z jejich základu vyvinuly vývodné pohlavní cesty (chámovody a vejcovody). V každém článku je metanefridium jako obrvená nálevka a prostupuje vinutým kanálkem do článku následujícího. Z něj pak ústí na povrch. Žížala má typickou gangliovou nervovou soustavu žebříčkovitého typu, která prostupuje břišní částí jejího těla (Jelínek a Zicháček, 2007). Ve věku 6 týdnů začíná žížala klást kokony, které inkubují zhruba 3 - 5 týdnů (Adhikary, 2012).

#### 3.1.2.1 *Žížala hnojní (eisenia fetida, Savigny, 1826)*

Jedná se o epigeický druh žížal (Pižl, 2018). Svou činností provětrává a převrstvuje půdu, sama je součástí potravního řetězce. Je činitelem přispívajícím k zúrodňování půdy s mimořádným ekologickým významem. Jelínek a Zicháček (2007), dále sdělují, že je používána k ekologickému zpracování komunálních odpadů (Vermikompost). Adhikary (2012) říká, že epigeickým druhem, používaným ve velkém měřítku pro vermikompostování je e. fetida, která má vysoký potenciál pro biologickou přeměnu organického odpadu.

#### 3.1.2.2 *Žížala kalifornská (eisenia andrei, Bouché 1972)*



Obrázek č. 2: Žížala eisenia andrei v pozadí vermikompostér © Zuzana Blahová, 2021

Jedná se o epigeický druh žížal (Pižl, 2018). Byly vyšlechtěny v Kalifornii z obyčejné žížaly hnojní (eisenia fetida). Vyžadují vysoký teplotní komfort – nepřežijí pod 4 °C a nad 42 °C. Potřebují také poměrně velký přísun pouze organické hmoty. Dožívají se vysokého věku (až 16 let), rychle se množí, ale nemigrují, takže ze zpevněné plochy nebo kompostéru neutečou (Krása, 2014).

Žížaly jsou poměrně malé, dobře zpracovávají biologický odpad, rychle se množí a rostou. Řadí se mezi povrchové druhy žížal, které se živí čerstvě odumřelou organickou hmotou (Honzová a Poklembová, 2014).

### 3.1.3 Metabolismus a enzymatický aparát

Žížaly obsahují mnoho zažívacích a terapeutických enzymů, které jsou prospěšné pro naše zdraví a užitečné pro využití biomasy. Konkrétně obsahují účinné fibrinolytické enzymy zvané lumbrokinázy, které jsou vysoce stabilní i při teplotě místnosti a zůstávají aktivní i v sušeném žížalím prášku (Akazawa a kol., 2018). Aktivita žížal ovlivňující chemické složení půdy a distribuci živin zahrnuje především začlenění částečně rozložené

organické hmoty z povrchu do hlubších vrstev půdy, její rozmělnění a promíchávání s anorganickými frakcemi (jedná se o tzv. bioturbaci). Průchod střevním traktem žížal pak ovlivňuje počty a složení mikroorganismů, a tím i dekompoziční neboli rozkladné procesy v exkrementech. Řada studií ukázala, že rychlost mineralizace organické hmoty, denitrifikace - tedy přeměny dusičnanů na elementární dusík a dalších procesů je v exkrementech žížal podstatně vyšší než v okolní půdě (Pižl, 2018).

Je však možné, že účinky teploty a tlaku se navzájem kompenzovaly pod 100 mPa. na 50 ° C. Bylo prokázáno, že glukosidáza je enzym citlivý na teplotu a teplotě a lipáza vykazuje toleranci tepla a vysokého tlaku (Akazawa a kol., 2018).

Ektotermická zvířata obývající subarktické a mírné oblasti vyvinula strategie pro řešení období nepřetržitého mrazu v zimním období. Žížala Dendrobaena Octaedra je odolná vůči dlouhodobému zmražení díky akumulaci velké koncentrace glukózy (Calderon a kol., 2009). Výsledky potvrzují, že u aerobních organismů probíhá značná akumulace kyseliny mléčné v jejich těle (Sen a Chandra, 2009).

Humusovité látky hrají klíčovou roli v globálním koloběhu uhlíku a sekvestraci mikropolutantů v půdě. Transformace těchto látek žížalami, dominantními půdními makroobratlovci mnoha suchozemských ekosystémů, a mechanismy, které se jich týkají, jsou stále nevyjasněné. Shan a kol., (2010) v tomto článku popisují, že při absenci žížal byly aromatické i proteinové složky mineralizovány podobně nízkou rychlostí (58% po 9 dnech inkubace). Díky přítomnosti žížal v půdě byla silně stimulována rychlost mineralizace bílkovinné složky.

Přítomnost chodeb žížal pak je, zejména v těžkých půdách, zásadním faktorem pro tvorbu kořenového systému rostlin. Aktivita žížal též zamezuje vytváření krusty na půdním povrchu a tím napomáhá vzcházení a rozvoji mladých rostlin. Je rovněž doloženo, že vysoká aktivita žížal vede ke zřetelné redukci počtů fytoparazitických háďátek, přezimujících housenek a zimních forem fytopatogenních hub (Pižl, 2018).

Jsou nutné další studie k objasnění dopadů průchodu škodlivin střevami geofágních žížal na stabilitu proteinových sloučenin, a vliv mikropolutantů na životní prostředí s ohledem na změnu huminových látek (Shan a kol., 2010).

## 3.2 Odpadová legislativa

V České republice ji upravuje zákon 541/2020 Sb. (Zákon o odpadech), jehož účelem je zajistit vysokou úroveň ochrany životního prostředí a zdraví lidí a trvale udržitelné využívání přírodních zdrojů předcházením vzniku odpadů a nakládáním s nimi v souladu s hierarchií odpadového hospodářství za současné sociální únosnosti a ekonomické přijatelnosti tak, aby bylo dosaženo cílů odpadového hospodářství (stanovených v příloze č. 1 tohoto zákona) a umožněn přechod k oběhovému hospodářství.**(Doplnit kaly a odpadní vody)?** Tento zákon definuje nebezpečný odpad, který:

*a) vykazuje alespoň jednu z nebezpečných vlastností uvedených v příloze přímo použitelných předpisů Evropské unie o nebezpečných vlastnostech odpadů3),*

*b) se zařazuje do druhu odpadu, kterému je v Katalogu odpadů přiřazena kategorie nebezpečný odpad, nebo*

*c) je smísen s některým z odpadů uvedených v písmenu b) nebo je jím znečištěn.*

*(2) Pro účely tohoto zákona se dále rozumí*

*b) biologicky rozložitelným odpadem odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu,*

*e) malým zařízením zařízení pro úpravu a využití biologicky rozložitelného odpadu, které zpracovává biologicky rozložitelný odpad pro jednu zakládku v množství nepřekračujícím 20 tun, pokud celkové roční množství zpracovaného biologicky rozložitelného odpadu nepřekračuje 150 tun,*

*(1) Každý je povinen při své činnosti předcházet vzniku odpadu, omezovat jeho množství a nebezpečné vlastnosti.*

*(3) Každý může kompostovat biologicky rozložitelný materiál vznikající při jeho činnosti jako předcházení vzniku odpadu, pokud vzniklý kompost použije v rámci své činnosti nebo jej předá v souladu se zákonem o hnojivech a pokud během kompostování nedojde k ohrožení životního prostředí nebo zdraví lidí. Právnická nebo podnikající fyzická osoba musí řídit kompostování tak, aby byl zajištěn aerobní mikrobiální rozklad organické hmoty bez vzniku zápachu nebo emisí metanu. Kompostování biologického materiálu živočišného původu smí být prováděno pouze v zařízení splňujícím požadavky na zpracování vedlejších produktů živočišného původu4). Kompost, který osoba nepoužije*

*v rámci své činnosti nebo jej nepředá v souladu se zákonem o hnojivech, je odpadem. Jiné výstupy z kompostování jsou odpadem (zákon 541/2020 Sb.).*

## 3.3 Mikropolutanty a endokrinní disruptory

Unie je vážně znepokojena pokračujícími úniky perzistentních organických znečišťujících látek (dále jen „POP) do životního prostředí. Uvedené chemické látky jsou přenášeny přes mezinárodní hranice daleko od svých zdrojů a přetrvávají v životním prostředí, probíhá jejich bioakumulace prostřednictvím potravního řetězce a představují riziko pro lidské zdraví a životní prostředí. Proto je nutné přijmout další opatření k ochraně lidského zdraví a životního prostředí před zmíněnými znečišťujícími látkami (EU, 2019).

Aby se zajistilo soudržné a účinné provádění závazků Unie vyplývajících z protokolu a úmluvy, je nezbytné stanovit společný právní rámec, který by umožnil přijímat opatření sloužící zejména k vyloučení výroby, uvádění na trh a používání záměrně vyráběných POP. Kromě toho by měly být vlastnosti POP zohledňovány v rámci odpovídajících programů Unie pro posuzování a povolování látek (EU, 2019).

Přítomnost mikropolutantů v povrchových vodách je znepokojující jev, protože povrchová voda je obvykle používána v úpravnách vod k produkci pitné vody. Současné čistírny odpadních vod (ČOV) většinou nejsou speciálně navrženy tak, aby eliminovaly mikropolutanty (Luo a kol., 2014). Mnohé z těchto mikropolutantů je tedy schopno projít přes procesy čištění odpadních vod a dostat se až do vody kohoutkové. Zvláště farmaka a endokrinní disruptory jsou příklady mikropolutantů, které jsou detekovatelné v pitné vodě (Moon-Kyung a Kyung-Duk, 2016), (Luo a kol., 2014).

Endokrinní disruptory lze identifikovat jako látky vzbuzující mimořádné obavy, vedle chemických látek, o nichž je známo, že vyvolávají rakovinu, mutace a jsou toxické pro reprodukci. Cílem je omezit jejich používání, a nakonec je nahradit bezpečnějšími alternativami (MŽP, 2021). Zbytky farmaceutických výrobků se mohou v průběhu výroby, používání a následně likvidace uvolňovat do životního prostředí (EUC, 2019).

Hormony ve všech organismech propojují nervovou soustavu a tělesné funkce, jako je růst a vývoj, imunita, metabolismus, reprodukce a chování. Chemické látky, které jsou „endokrinními disruptory", mohou hormonální systém narušovat, a tím škodlivě

působit na člověka i volně žijící živočichy (MŽP, 2021). Endokrinní disruptory narušují fungování systému s vnitřní sekrecí (endokrinního systému) minimálně třemi možnými způsoby: napodobují působení přirozeně produkovaných hormonů, např. estrogenu nebo testosteronu, čímž vyvolávají podobné chemické reakce v těle; blokují v buňkách receptory hormonů, čímž zamezují působení běžných hormonů; ovlivňují syntézu, transport, metabolismus a vylučování hormonů, čímž mění koncentrace přirozených hormonů (MZE, 2017).

Existují dvě skupiny látek, které fungují jako endokrinní disruptory: přirozené hormony (estrogen, progesteron, testosteron, fytoestrogeny), látky uměle vyrobené člověkem (jde o nové i existující chemické látky) určené k využití v průmyslu, např. průmyslové čisticí prostředky, v zemědělství, v některých pesticidech a ve spotřebitelském zboží, např. aditiva v plastech. Patří sem i chemikálie vzniklé jako odpadní produkty průmyslových výrob, např. dioxiny, o kterých se předpokládá, že narušují činnost endokrinního systému člověka i zvířat žijících ve volné přírodě (MZE, 2017). Patří mezi ně léčiva, produkty osobní péče, steroidy, průmyslové chemikálie, pesticidy a mnoho dalších nově vznikajících sloučenin (Luo a kol., 2014). Také 4 - Nonylfenol (4-NP), Octylfenol (OP) a Bisfenol A (BPA) patří do skupiny xenoestrogenních sloučenin zvaných endokrinní disruptory (Li a kol., 2007).

Zdroje znečištění, které se v posledních letech objevují, jako mikropolutanty, vyskytující se ve vodě, představují velkou výzvu pro regulátory, inženýry a vědeckou komunitu (Abreham Tesfaye Besha et. al., 2017). Díky vzrůstu množství mikropolutantů je nezbytné, abychom jim lépe porozuměli, a uměli předpovídat jejich vliv na životní prostředí skrze vodní prostředí, ve kterém se koncentrují (Luo a kol., 2014).

Pokročilé procesy jako: reverzní osmóza a membránový bioreaktor (MBR), mohou zajistit efektivnější a lepší způsob odstraňování znečištění mikropolutanty. Díky mnoha výhodám, kterými MBR oplývá, se řadí mezi novou generaci ve zlepšování kvality při úpravě vody. Navzdory výhodám, úspěch této metody je limitován výskytem mikropolutantů, které mohou snižovat průtok membránou a způsobovat její dodatečné znečištění (Besha a kol., 2017). Bez ohledu na použitou technologii, odstranění mikropolutantů závisí na jejich fyzikálně-chemických vlastnostech a způsobu odstraňování (Luo a kol., 2014).

Nejvíce endokrinních disruptorů se objevuje v okolí ústí řek do moře a v přístavech, zkrátka v místech vyšší koncentrace lidské činnosti, ať již v souvislosti s námořní činností (únik ropných olejů apod.), nebo v souvislosti s ústím odpadních vod. Tato exponovaná místa mají díky ED negativní vliv na lidi a také mořskou biotu (Arditsoglou a Voutsa, 2012). Mohou však být škodlivé i pro suchozemské živočichy.

Přítomnost mikropolutantů ve vodních zdrojích, dokonce i v proudech podzemní vody a vodovodních útvarech, se stala předmětem velkých diskusí a zájmu na celém světě. Strategickým řešením tohoto problému může být kontrola mikropolutantů u zdroje, aplikace technologií jako součásti procesu manufaktury; tento způsob pomůže minimalizovat množství znečištění pozorované v životním prostředí. I když potřeba tohoto přístupu není projednána, vhodné úpravy nejsou možné v krátkém časovém horizontu. Tudíž zlepšení v oblasti koncových technologií je založeno na jeho nezbytnosti (Trapido a kol., 2014). Farmaceutický sektor je vzkvétající průmysl, s potenciálem pro inovace. Může podporovat "zelený design", například vývoj produktů, které představují nižší environmentální riziko nebo usnadnit recyklaci odpadních vod a podporovat použití zelenějších výrobních metod. Inovace se však mohou týkat také vodárenství a zemědělství (EUC, 2019). Stejně tak upozorňuje Trapido a kol., že je důležité vyvinout pokročilé technologie čištění pro zlepšení odstraňování mikropolutantů v pitné vodě nebo v odpadních vodách. Jako poslední krok před vypuštěním vody do oběhu bude použito její vhodné ošetření dočišťovacím procesem.

V oblasti čištění odpadních vod je kladen velký důraz na takové technologie, které jsou provozně a finančně nenáročné a zároveň mají dobrou účinnost. Tyto požadavky mohou splňovat tzv. pokročilé oxidační procesy (AOP), které zahrnují kombinaci chemického oxidantu a ultrafialového záření za účelem vytvoření hydroxylového radikálu (·OH). Hydroxylové radikály reagují s jakoukoliv sloučeninou schopnou oxidace, přičemž následuje sled oxidačních a degradačních reakcí. Technologie AOP jsou vhodné na odstranění organických i anorganických polutantů z odpadních vod (Burešová a kol., 2016). Zde se shodly kolektivy autorů (Luo a kol., 2014, Besha a kol., 2017) na pokročilých metodách oxidace, které se jim jeví jako nejlepší metoda... Pokročilé metody oxidace jsou nejvhodnější technologie, neboť jejich hlavní výhodou je rapidní chemická oxidace kontaminantů (Trapido a kol., 2014).

Přítomnost přírodních mikropolutantů v povrchové vodě, a tedy v potencionálně pitných vodních zdrojích, zvyšuje zájem o bezpečnost pitné vody. Potencionálně nejlepší technologií při odstraňování mikropolutantů se zdá být nanofiltrace. Schopnost odstraňování těchto částic nanofiltrací závisí na molekulární váze a hydrofobicitě těchto sloučenin (Moons a Van Den Bruggen, 2006). Zbytky mnoha léčiv se nacházejí v povrchových a spodních vodách, půdách a živočišných tkáních napříč celou Evropskou Unií v koncentracích v závislosti na druhu farmaka, jeho povaze a blízkosti zdrojů znečištění. Obvykle jsou nalezeny některé léky proti bolesti, antiparazitika, antidepresiva, antikoncepce a antimikrobiální léky. Stopy některých farmaceutik byly také nalezeny v pitné vodě (EUC, 2019).

Mikropolutanty jsou vypouštěny do povrchových vod z neupravených odpadních vod ČOV. Některé vstupují do ČOV po vypuštění do povrchových vod. Konvenční procesy ČOV, jako je koagulace, srážení, chlorace a adsorpce, mohou odstranit i stopová množství mikropolutantů (Moon-Kyung a Kyung-Duk, 2016).

Účinnost odstraňování se však liší v závislosti na fyzikálně-chemických vlastnostech mikropolutantů. Alternativně lze AOP použít ke zvýšení množství odstraněných mikropolutantů z ČOV. Ačkoli se ukázalo, že pokročilé techniky úpravy vody jsou slibnou alternativou k odstranění mikropolutantů, s aplikací jsou spojeny dva problémy; vysoké provozní náklady a tvorba nežádoucích vedlejších produktů. Komplexní porozumění škodlivosti a toxicitě mikroorganismů a jejich vedlejších produktů v povrchových a pitných vodách je tedy nezbytné pro efektivní předpovídání účinků mikropolutantů na životní prostředí. (Moon-Kyung a Kyung-Duk, 2016)

Studie Kui a kol. (2020), naznačuje, že přidání biocharu může s pomocí kalového vermikompostu snížit znečištění antibiotiky a geny vůči nim rezistentními v závislosti na typu a koncentraci biocharu.

### 3.3.1 Výskyt a mechanismus účinků

Vědci zjistili, že některé pesticidy (podobně jako jiné průmyslové chemikálie) mohou správnou funkci hormonů v lidském těla narušit různými způsoby. Pesticidy mohou hormony v těle napodobovat (imitovat), např. DDT nebo endosulfan a také účinek ženských pohlavních hormonů (estrogenů). Ale mohou funkci hormonů i blokovat, jako např. vinclozolin, linuron nebo jeden z metabolitů DDT, které jsou schopné bránit

buňkám přijímat signály androgenů – mužských pohlavních hormonů (Šuta, 2008). Estrogenní hormony, progesteron a testosteron jsou chemikálie narušující endokrinní systém a jejich přítomnost ve vodním prostředí představuje potenciálně nepříznivý dopad na životní prostředí a veřejné zdraví (Vymazal a kol., 2015).

Pesticidy také mohou bránit tvorbě hormonů v těle nebo jejich přirozenému rozkladu. Například atrazin narušuje v mozku tvorbu gonadoliberinu, což je hormon podílející se na regulaci tvorby pohlavních hormonů. Doposud bylo prokázáno riziko endokrinních disruptorů zejména v době vývoje plodu v těle matky a raném dětství, kdy pohlavní hormony a hormony štítné žlázy hrají klíčovou roli. Lékařům je např. už dlouhou dobu známo, že nedostatek hormonů štítné žlázy může mít za následek těžké poškození vyvíjejícího se mozku dítěte, a vznik tzv. kretenismu (Šuta, 2008).

Výsledky monitoringu pevných matric v roce 2016 potvrzují význam sledování jejich chemického stavu pro celkové hodnocení vodního ekosystému. V plaveninách a sedimentech se kumuluje většina ze sledovaných prioritních látek. Kontaminovány jsou zejména toky regionů s vysokou koncentrací průmyslu a dlouhodobou antropogenní zátěží – Bílina, Ohře a dolní Labe s výskytem vysokých koncentrací těžkých kovů, arsenu, DDT, hexachlorbenzenu, hexachlorbutadienu, dioxinů, dále Lužická Nisa (těžké kovy, tributylcín, PFOS, chloralkany), střední Labe (chlorbenzeny, rtuť, DEHP, hexabromcyklododekany, hexachlorbenzen), střední Morava a dolní Odra s vysokými obsahy zejména polyaromatických uhlovodíků. (MZE, 2017)

Analýza trendů naznačuje lokální zlepšování imisní situace zejména v obsazích rtuti a některých látek skupiny PAU, vzestupný trend byl vyhodnocen lokálně u olova, antracenu, chloralkanů C10-13 a hexachlorbenzenu. Plošný pokles nebo vzestupný trend nebyl u žádné ze sledovaných látek vyhodnocen. Lokální trendy odpovídají závislosti na typu dlouhodobé zátěže. (MZE, 2017)

Vedle prioritních polutantů jsou ve sledovaných tocích prokazatelně přítomny také další chemické látky s pravděpodobnými toxickými a endokrinními účinky (triclosan, bisfenol A, galaxolid, tonalid), organochlorované insekticidy DDT a aktuálně používané pesticidy (AMPA, glyfosát). Jejich přítomnost, kumulace a vzájemný účinek může představovat pro vodní ekosystém potenciální riziko. Často jsou v nejvyšších koncentracích měřeny na menších tocích s nižšími vodnostmi pod velkými městskými a průmyslovými aglomeracemi (Lužická Nisa, Svratka, Bílina, Dřevnice). (MZE, 2017)

Celkově lze shrnout, že jako nejvýraznější ukazatele znečištění podzemních vod porovnáním s referenčními hodnotami vyhlášky MŽP a MZE č. 5/2011 Sb. se jeví anorganické látky (amonné ionty a dusičnany), stanovení organických látek souhrnně (CHSK a DOC), kovy (baryum, mangan, arsen, kobalt a nikl), TOL (chloretheny, toluen, tetrachlormethan a suma m-xylenu a p-xylenu), PAU (fenantren, chrysen, pyren, fluoranthen a benzo(a)pyren), pesticidy (převážně metabolity herbicidů používaných v přípravcích na ochranu rostlin, zejména pro ošetření energetických plodin jako je řepka a kukuřice) a EDTA (MZE, 2017).

## 3.4 Hormony

#### 3.4.1.1 *Hormonální antikoncepce*

Obecně je velká část estrogenních sloučenin vylučovaných člověkem původně přítomna v konjugovaných formách (tj. glukuronidy a sulfáty), které vykazují méně estrogenní aktivitu ve srovnání s jejich nekonjugovanými (nebo volnými) formami. Stávají se však konjugovanými díky mikroorganismům a přeměňují se na volné estrogeny během přeměny v čističkách odpadních vod (Belhaj a kol., 2014).

Ve vodních ekosystémech pocházejí progesteron (P4) a syntetické progestiny (gestageny) z vylučování lidí a hospodářských zvířat. Syntetické progestiny se používají při výrobě antikoncepce a progesteron také pro lékařské účely. Navzdory rozšířenému využití jsou jejich ekotoxikologické důsledky dosud málo prozkoumány. Pouze asi 50 % používaných progestinů bylo analyzováno z hlediska výskytu v přírodě a účinků na životní prostředí a vodní organismy (Fent, 2015).

Estrogenní sloučeniny byly po dobu jednoho roku sledovány v městské čistírně odpadních vod v Tunisku, aby bylo možné vyhodnotit jejich transformaci a sezónní výkyvy. Koncentrace těchto sloučenin byly stanoveny ve fázích odpadních vod i kalu plynovou chromatografií ve spojení s hmotnostní spektrometrií. Výsledky ukázaly, že nejvyšší míra odstranění všech estrogenů (-80 %) bylo pozorováno v létě (Belhaj a kol., 2014).

Analýza hmotnostní bilance odhalila, že biodegradace byla převládajícím mechanismem při jejich odstraňování. Výsledky studie navíc ukázaly, že účinnost při

odstraňování vznikajících mikropolutantů a jejich koncentrace v pevné fázi zpětného čistírenského kalu byla mnohem vyšší v zimě a na jaře než v létě a na podzim. Tato zjištění úzce souvisela s mikrobiální aktivitou a koncentrací suspendovaných pevných látek ve směsném roztoku. Závěry lze použít jako vzorec pro další výzkumy, které by mohly být provedeny s vyšší efektivitou při odstraňování estrogenních kontaminantů z odpadních vod (Belhaj a kol., 2014).

Estrogenní hormony, progesteron a testosteron jsou chemikálie narušující endokrinní systém a jejich přítomnost ve vodním prostředí představuje potenciálně nepříznivý dopad na životní prostředí a veřejné zdraví. Existuje značné množství informací o odstraňování estrogenů, progesteronu a testosteronu v konvenčních čistírnách odpadních vod, zejména v systémech aktivovaného kalu. Informace o odstraňování těchto sloučenin v uměle vybudovaných mokřadech jsou však velmi omezené (Vymazal a kol., 2015).

Syntetické progestiny působí prostřednictvím progesteronových receptorů, ale také interagují s jinými receptory steroidních hormonů. Působí na ose hypothalamus – hypofýza - pohlavní žlázy, vedou ke zrání oocytů u samic a motility spermií u rybích samců. Kromě toho ovlivňují i další aktivity, včetně cirkadiánního rytmu (Fent, 2015).

Ukázalo se, že uměle vybudované mokřady s horizontálním podpovrchovým tokem jsou slibnou technologií pro eliminaci estrogenu, progesteronu a testosteronu z komunálních odpadních vod, ale je potřeba více informací k potvrzení tohoto zjištění (Vymazal a kol., 2015).

Výsledky naznačují, že míra odstranění všech estrogenů, progesteronu a testosteronu z uměle vybudovaných mokřadů byla vysoká a pouze estron byl nalezen v odtoku u jedné z nich v koncentracích nad mezí kvantifikace (Vymazal a kol., 2015).

## 3.5 Pesticidy

Název pesticidy se používá jako souhrnné označení pro látky používané k ničení, zabíjení organismů, které člověk z určitého důvodu chce zničit nebo potlačit. Liší se jak svým chemickým složením, tak cílovými skupinami organismů, proti kterým jsou určeny. Pesticidy využívají rozmanitých mechanismů, kterými na cílový organismus působí. Světová zdravotnická organizace pesticidy třídí podle nebezpečnosti (Šuta, 2013).

## 3.6 Těžké kovy

Dle směrnice EU 2009/292/ES

*„těžkými kovy“ se rozumí olovo, kadmium, rtuť a šestimocný chrom;*

Podle směrnice EU 86/278/EHS upravuje:

Mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů v půdě (mg/kg sušiny v hodnotě pH 6-7)

| Ukazatele | Mezní hodnoty (1) |
|---|---|
| kadmium | 1-3 |
| měď (2) | 50-140 |
| nikl (2) | 30-75 |
| olovo | 50-300 |
| zinek (2) | 150-300 |
| rtuť | 1-1,5 |
| chrom (3) | – |

Tabulka č. 1: Mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů v půdě, směrnice EU 86/278/EHS

*Členské státy mohou povolit překročení mezních hodnot, které stanovily, v případě použití kalu na pozemky, které jsou v době oznámení této směrnice určeny k nakládání s kalem, ale na kterých se pěstují pro obchodní účely krmné plodiny určení výlučně pro živočišnou spotřebu. Členské státy sdělí Komisi informace o počtu a druhu příslušných lokalit. Dále zajistí, aby nedocházelo k následnému ohrožení lidského zdraví nebo životního prostředí.*

*Členské státy mohou povolit u těchto ukazatelů překročení mezních hodnot, které stanovily, pro půdy s hodnotou pH trvale vyšší než 7. V žádném případě nesmí maximální povolená koncentrace těchto těžkých kovů přesáhnout výše uvedenou hodnotu o více než 50 %. Členské státy dále zabezpečí, aby nedocházelo k ohrožování lidského zdraví, životního prostředí a zejména podzemních vod.*

Z vypouštěných odpadů, ze vzdušných imisí a splachy z půdy i ze sládek jsou těžké kovy vyplavovány do vody. Zde působí značné problémy jak svým toxickým působením na organismy, tak i při úpravě pitné vody. Část se jich dostává do usazenin

na dně vodních toků a nádrží. Působením člověka se ročně do světových moří dostává 2 330 000 tun olova a 7 000 tun rtuti.

Těžké kovy jsou nebezpečné i proto, že se většinou mohou kumulovat v těle ryb, vodních ptáků a savců. Na konci potravních řetězců přitom často stojí člověk, do jehož organismu se tak s potravou mohou dostávat značná množství těžkých kovů. Klasickým příkladem byla tzv. minamatská nemoc v Japonsku (Kislinger a kol., 2002).

Testy fytotoxicity jsou významným ekotoxikologickým ukazatelem stupně znečištění životního prostředí, říkají Duraisamy a kol. (2021). Pro posouzení vlivu rizikových sloučenin na vegetaci byla na základě podkladů US EPA (U.S. Environmental Protection Agency) a OECD (Organisation for Economic and Cooperative Development) vyvinuta metodika kořenového elongačního testu. Modelovou rostlinou je Lactuca sativa L. Kritériem vlivu toxikantu na klíční rostlinu je míra elongace seminálního kořene. Růst seminálního kořene je kritickou etapou ve vývoji rostliny a vykazuje citlivou odezvu na expozici chemickými sloučeninami. Metoda je určena k posouzení vlivu těžkých kovů a perzistentních organických sloučenin na rostliny.

Duraisamy a kol., (2021), prováděli test fytotoxicity těžkých kovů (test elongace kořene). Test lze použít pro látky rozpustné ve vodě a při použití vhodného netoxického rozpouštědla také pro látky lipofilní povahy, např. pro polyaromatické uhlovodíky (PAHs). Testované sloučeniny nesmí být v průběhu testu významně degradovány nebo eliminovány. Semena salátu (Lactuca sativa L.) jsou kultivována za standardních laboratorních podmínek ve zvyšujících se koncentracích testovaných roztoků. Hodnocení testu je založeno na procentuálním vyjádření inhibice (stimulace) elongace seminálního kořene rostlin salátu ve srovnání s kontrolou.

## 3.7 Další mikropolutanty

### 3.7.1 Polychlorované bifenyly

Podle Zákona č.541/2020 Sb. se rozumí:

a) polychlorovanými bifenyly – polychlorované bifenyly, polychlorované terfenyly, monometyltetrachlordifenylmetan, monometyldichlordifenylmetan, onometyldibromdifenylmetan a veškeré směsi obsahující jednu nebo více z uvedených látek v celkové koncentraci těchto látek vyšší než 50 mg/kg,

(4) Ministerstvo stanoví vyhláškou metody pro stanovení celkové koncentrace polychlorovaných bifenylů v látkách, které je obsahují.

§ 82

(4) Odstranění polychlorovaných bifenylů je možné pouze v zařízeních k tomu určených a provádí se způsoby uvedenými v příloze č. 6 k tomuto zákonu pod kódy D8, D9, D10, D12 a D15.

### 3.7.2 Polycyklické aromatické uhlovodíky (PAU)

Jde o skupinu látek vznikajících během nedokonalého spalování. Významným zdrojem PAU jsou průmyslové podniky (chemičky, hutě, elektrárny, teplárny), ale také doprava a lokální topeniště. V domácnosti může být významným zdrojem PAU kouření, pálení rozmanitých svíček, vonných tyčinek, ale také nevhodná tepelná úprava potravin (grilování, smažení). Platí, že zplodiny dieselových motorů obsahují nižší koncentrace některých plynných emisí, ale vyšší koncentrace částic nesoucích koncentrát organických látek zahrnujících PAU. Existují stovky PAU, z nichž nejlépe byl prozkoumán benzo(a)pyren (BaP). Polycyklické aromáty jsou absorbovány v plicích a trávicím traktu a metabolizovány cestou polyfunkčního systému oxidáz (Šuta, 2008).

Česká vyhláška o aplikaci kalů na zemědělskou půdu byla novelizována v roce 2016 (Vyhláška MŽP č. 437/2016 Sb.). Vyhláška byla, kromě jiných změn, rozšířena o stanovení polycyklických aromatických uhlovodíků – sumu 12 PAU. Právě skupina PAU byla dle našich šetření (projekt NAZV) v kalech nejvíce problematická. V připomínkovém řízení jsme uplatnili požadavek na zvýšení limitní hodnoty pro PAU z navržených 6 mg/kg na 10 mg/kg. Při řešení uvedeného projektu jsme zjistili, že hodnotu 6 mg/kg (navržena ve „Working Document on Sludge“ a u nás platí jako limitní hodnota pro sedimenty) by nesplnilo cca 50 % kalů z námi odebraného souboru vzorků. Přitom zvýšení limitní hodnoty na 10 mg/kg není z pohledu potenciálních rizik při aplikaci kalů v povolených dávkách problematické (ověřeno v projektu) (Vácha 2017). V roce 2020 byla však legislativa zpřísněna, zákonem 541/2020 Sb.

## 3.8 Čistírenské kaly

Podle směrnice EU (86/278/EHS) se:

*„zemědělstvím“ rozumí pěstování všech typů plodin určených k obchodování a k výživě, včetně plodin pro chov dobytka;*

*„používáním“ rozumí rozprostírání kalu na půdě nebo některé jiné využívání kalu v půdě nebo na jejím povrchu.*

*„kalem“ rozumí:*

*i) zbytkový kal z čistíren městských odpadních vod nebo odpadních vod z domácností, popřípadě z jiných čistíren zpracovávajících jiné odpadní vody složením podobné městským odpadním vodám nebo odpadním vodám z domácností;*

*ii) zbytkový kal ze septiků a jiných podobných zařízení určených k nakládání s odpadními vodami;*

*iii) zbytkový kal z čistíren jiných než je uvedeno v bodech i) a ii);*

*„upraveným kalem“ rozumí kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě, byl dlouhodobě skladován nebo jinak zpracován tak, že došlo k významnému snížení jeho schopnosti zkvasitelnosti a následně snížena možnost ohrožení zdraví jeho využíváním;*

*S výhradou odstavce 4 se rozbory týkají těchto ukazatelů:*

*— sušina, organické látky,*

*— hodnota pH,*

*— dusík a fosfor,*

*— kadmium, měď, nikl, olovo, zinek, rtuť, chrom.*

Podle Zákona č. 541/2020 Sb. rozděluje kaly do dvou základních kategorií:

Pro účely tohoto zákona se rozumí:

*a) kalem*

*1. kal z čistíren odpadních vod zpracovávajících městské odpadní vody nebo odpadní vody z domácností a z jiných čistíren odpadních vod, které zpracovávají odpadní vody*

*stejného složení jako městské odpadní vody a odpadní vody z domácností, a to i v případě, že čistírny odpadních vod zpracovávají také biologicky rozložitelný odpad na základě povolení provozu zařízení podle § 21 odst. 2 nebo biologicky rozložitelný odpad spadající do působnosti nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/20094),*

*b) upraveným kalem*

*1. kal, který byl podroben biologické, chemické nebo tepelné úpravě nebo jakémukoliv jinému vhodnému procesu tak, že se významně sníží obsah patogenních organismů v kalu, a tím zdravotní riziko spojené s jeho aplikací na základě ověření účinnosti technologie úpravy kalů, pro který byl vypracován program použití kalů, nebo*

*2. kal, který splňuje mikrobiologická kritéria stanovená vyhláškou ministerstva.*

Již podle přechodného ustanovení ve vyhlášce č. 437/2016 Sb. se kaly, které splňují alespoň požadavky na kaly kategorie II, považují za upravené až do konce roku 2022 a v nové vyhlášce bude tento termín přejat. Lze dovodit, že na kaly z čistíren odpadních vod v současné době běžně produkované na území ČR se žádné nové požadavky vztahující se v zákoně specificky k neupraveným kalům v letech 2021 a 2022 neuplatní. Novou povinností, která se vztahuje i na upravené kaly, je povinnost označení. Povinnost označit kal ve smyslu § 67 odst. 2 bude od 1. ledna 2021 až do účinnosti nové vyhlášky splněna, pokud bude v dostupné vzdálenosti jakýkoliv údaj o tom, že se jedná o kal z čistíren odpadních vod s uvedením čistírny odpadních vod, ze které pochází. V případě, že kal prošel zařízením na úpravu kalů, uvede se místo čistírny odpadních vod toto zařízení. Tato povinnost bude do účinnosti vyhlášky splněna například i jakýmkoliv nákladním listem, který bude uvedené údaje obsahovat (MŽP, 2020).

Historicky byly kaly z ČOV využívány v zemědělství ve velké míře, a to bez legislativní úpravy. Prvním legislativním předpisem, který upravil využívání kalů, byla vyhláška č. 382/2001 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Na přípravě této vyhlášky se podíleli odborníci z různých rezortů s cílem vytvořit předpis, který by umožnil bezpečné využití kalů v zemědělství, v co nevyšší míře (Budňáková, 2017).

Objektivně je potřebné přiznat známé skutečnosti, které mohou i ověřené technologie hygienizace čistírenských kalů stavět do jiného světla. Jako příklad lze uvést právě vápnění kalů a jejich sušení. Vápnění kalů po vydání vyhlášky č. 437/2016 Sb., se začalo zvýšeně využívat, protože tato technologie vede velmi rychle ke snížení

mikrobiologické kontaminace, ale snižuje hnojivou hodnotu kalů. Technologie vápnění není dotahována do konce a má mnoho faktorů, které negativně ovlivňují jak kvalitu výsledného produktu, tak životní prostředí. Nelze opomenout produkci amoniaku, který volně uniká do ovzduší a v důsledku toho je bezvýznamný (pod 25 % původního množství) konečný obsah využitelného dusíku v kalech. Fosfor je v důsledku vyvápnění navázaný do formy těžko využitelného apatitu, místo aby byl využit (Matějů a kol., 2018). Tato vyhláška byla transponována do nového zákona 541/2020 Sb.

Vzhledem k současným možnostem hygienizace kalů u původců kalů, byla zachována do roku 2020 původní kritéria mikrobiální kontaminace kalů. U kalů II. kategorie platí nadále zákaz jejich používání při pěstování zeleniny, brambor (mimo brambor pro výrobu škrobu) a v intenzivně plodící ovocné výsadby. Kaly II kategorie je možné použít pouze na zemědělské půdě určené k pěstování technických plodin nebo v podzimním období na půdě určené k pěstování běžných plodin. Budňáková (2017), dále sděluje, jak zkušenosti a výsledky rozborů ukazují, že je pro řadu ČOV splnění limitů mikrobiální kontaminace u upraveného kalu mnohdy nereálné.

V roce 2019 žilo v domech napojených na kanalizaci 9,120 mil. obyvatel, tj. 85,5 % z celkového počtu obyvatel v ČR. Do kanalizací bylo vypuštěno (bez zpoplatněných srážkových vod) celkem 461,1 mil. $m^3$ odpadních vod. Z tohoto množství bylo čištěno 97,7 % odpadních vod (bez zahrnutí vod srážkových), což představuje 450,3 mil. $m^3$. Meziroční nárůst množství vody odpadní vypouštěné do kanalizace (bez zpoplatněných vod srážkových) v roce 2019 byl 3,8 mil. $m^3$ (MZE, 2019).

Objem vypouštěných odpadních vod do kanalizace bez vod srážkových poklesl v roce 2019 o 47,5 % oproti roku 1989. Tento pokles koresponduje s poklesem spotřeby pitné vody. Zatímco však bylo v roce 1989 čištěno jen 71,5 % odpadních vod, v roce 2019 bylo vyčištěno 97,7 % odpadních vod, což představuje nárůst o 26,2 %. Vysoký nárůst podílu čištěných odpadních vod je dán intenzivní výstavbou nových ČOV a intenzifikací stávajících ČOV, která byla vyvolána potřebou naplnění zákonných požadavků v oblasti kvality vypouštěných odpadních vod, především pak Směrnicí Rady 91/271/EHS, o čištění městských odpadních vod (MZE, 2019).

Tudíž můžeme pozorovat výrazné zlepšení po roce 1989, za kterým následuje postupně další zlepšování, dnes se hodnoty čím dál tím více blíží 100 % vyčištěných odpadních vod.

| Ukazatel | Měrná jednotka | Rok | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | 1989 | 2009 | 2014 | 2015 | 2016 | 2017 | 2018 | 2019 |
| Obyvatelé (střední stav) | tis. obyv. | 10 364 | 10 491 | 10 525 | 10 543 | 10 565 | 10 584 | 10 626 | 10 669 |
| Obyvatelé trvale bydlící v domech napojených na kanalizaci | tis. obyv. | 7 501 | 8 530 | 8 828 | 8 882 | 8 944 | 9 052 | 9 090 | 9 120 |
| | % | 72,4 | 81,3 | 83,9 | 84,2 | 84,7 | 85,5 | 85,5 | 85,5 |
| Vypouštěné odp. vody do kanalizace (bez zpoplatněných vod srážkových) celkem | mil. m³ | 877,8 | 496,4 | 446,1 | 445,5 | 446,9 | 453,3 | 457,3 | 461,1 |
| | % k 1989 | 100,0 | 56,6 | 50,8 | 50,8 | 50,9 | 51,6 | 52,1 | 52,5 |
| Čištěné odpadní vody včetně vod srážkových | mil. m³ | 897,4[*)] | 842,9 | 812,2 | 779,0 | 803,4 | 826,2 | 743,6 | 792,6 |
| Čištěné odpadní vody celkem bez vod srážkových | mil. m³ | 627,6 | 472,7 | 432,3 | 432,0 | 434,9 | 442,2 | 446,3 | 450,3 |
| | % k 1989 | 100,0 | 75,2 | 68,9 | 68,8 | 69,3 | 70,5 | 71,1 | 71,7 |
| Podíl čištěných odpadních vod (bez zpoplatněných vod srážkových) z vod vypouštěných do kanalizace | % | 71,5 | 95,2 | 96,9 | 97,0 | 97,3 | 97,5 | 97,6 | 97,7 |

Tabulka č. 2: Odvádění a čištění odpadních vod z kanalizací v letech 1989, 2009 a 2014–2019 (Vodovody a kanalizace ČR, 2019)

| Ukazatel | Měrná jednotka | Rok | | Index % 2019/2018 |
|---|---|---|---|---|
| | | 2018 | 2019 | |
| Počet obyvatel trvale bydlících v domech napojených na kanalizaci | tis. | 9 090 | 9 120 | 100,3 |
| Počet obyvatel trvale bydlících v domech napojených na kanalizaci ukončenou ČOV | tis. | 8 759 | 8 818 | 100,7 |
| Délka kanalizační sítě | km | 48 756 | 49 149 | 100,8 |
| *Počet ČOV celkem | ks | 2 652 | 2 709 | 102,1 |
| Kapacita ČOV celkem | tis. m³ · den⁻¹ | 4 274 | 4 283 | 100,2 |
| Celkové množství čištěných odpadních vod (včetně srážkových, průmyslových a ostatních vod) | mil. m³ | 743,6 | 792,6 | 106,6 |
| Množství odpadních vod vypouštěných do kanalizace (bez zpoplatněných srážkových vod) | mil. m³ | 457,3 | 461,1 | 100,8 |
| - z toho splaškových | mil. m³ | 310,7 | 316,7 | 101,9 |
| - z toho průmyslových a ostatních | mil. m³ | 146,6 | 144,4 | 98,5 |

Tabulka č. 3: Ukazatele a kapacity kanalizací (Vodovody a kanalizace ČR, 2019)

Michalová (2010) se domnívá, že kaly z komunálních ČOV jsou jako odpady výstupem z technologie čištění. Laboratorní sledování a zjišťování koncentrací vybraných mikropolutantů (zbytků léčiv a prostředků osobní péče) v pevné matrici kalů je však u nás teprve v začátcích, i když ve světě tento výzkum pokročil. V první řadě je třeba stanovit prioritní polutanty pocházející ze zbytků léčiv a prostředků osobní péče (PPCPs), tj. látky, které představují největší potenciální riziko.

Kal z ČOV je cennou surovinou, jejíž protierozní a hnojivá hodnota je nesporná a v současné době velmi žádaná a v důsledku toho je třeba hledat cesty a technologie, které

umožní využívat kal na zemědělské půdě. Je nutné důkladně zvážit, pro jaký způsob a pro jakou technologii úpravy kalů se původci kalů rozhodnou, aby nebylo ohroženo zdraví lidí a životní prostředí (Matějů a kol., 2018).

## 3.9 Kompostování a vermikompostování

Vyhláška č. 273/2021 Sb. upravuje podrobnosti komunitního kompostování, nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, nakládání s kaly a polychlorovanými bifenyly.

Filip (2019), přišel na to, že hnojivo obsahuje kvalitní huminové kyseliny, enzymy. Je vhodný i jako substrát pro očkování sterilních půd, např. při rekultivacích, po chemických zásazích, po záplavách nebo při projevech půdní únavy.

Podle směrnice EU:

„biologickým odpadem“ se rozumí biologicky rozložitelné odpady ze zahrad a parků, potravinářské a kuchyňské odpady z domácností, restaurací, stravovacích a maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu;

„biomasou“ se rozumí biologicky rozložitelná část výrobků, odpadů a zbytků biologického původu ze zemědělství (včetně rostlinných a živočišných látek), lesnictví a souvisejících odvětví, včetně rybolovu a akvakultury, jakož i biologicky rozložitelná část průmyslového a obecního odpadu.

Vermikompost dokázal ve srovnání s obyčejným kompostováním dosáhnout jemnějšího a homogennějšího konečného produktu. U kompostu byla nejjemnější frakce získána z nejvyššího bloku produktů, pocházejících z kuchyňského odpadu, obsahujícího použitý papír, následovaného digestátem se slámou a nakonec z čistírenských kalů se zahradním bioodpadem. Ve většině případů vykazovaly částice kompostu menší než 5 mm lepší zemědělský potenciál než hrubší kompost. Agrochemické vlastnosti nejjemnějšího vermikompostu převyšovaly klasický kompost (Hanč a Dreslová, 2016).

V následující studii se Košnář a kol., (2019) zabývali odstraňováním PAU v popelu ze spaloven. Z realizovaného experimentu na ověření vlivu přídavku vermikompostu na obsah PAU v popelu bylo zřejmé, že vermikompost má prokazatelný vliv na snižování obsahu PAU, pokud se jedná o působení žížal minimálně 150 dnů, avšak

suma PAU je i po ukončení pokusu stále vysoká. Podnětem k dalšímu výzkumu je zjistit, jaký je účinek po přidání dalšího vermikompostu po 150 dnech, nebo pokud se zbývající směs využije pro následné nádobové experimenty s vegetací. V rámci pokusů s rostlinami pak můžeme sledovat chování obsahu PAU v půdě a zjistit případnou extrakci PAU z půdy do rostlin.

Košnář a kol. (2019), dále zjistili, že kompostování bylo dle tohoto pokusu efektivnější k odstraňování PAU než vermikompostování.

Aktivita dehydrogenázy a bakteriálního společenství indikovaly stálý pokles biologické aktivity a taktéž populace během kompostování, zatímco u vermikompostování vykazovaly vyšší aktivitu již třicátý den experimentu, a snížení počtů bakterií již po desátém dni pokusu. Tyto výsledky indikovaly rozdíly ve funkční reakci a genetické struktuře mikroorganismů při kompostování a vermikompostování, i přes podobnost jejich fyzikálně-chemických parametrů (Sen a Chandra, 2008).

Mikroorganismy mají primární odpovědnost za biologický rozklad organických látek. Proto byla vyšší stabilizace organických látek ve vermikompostu (VK) než v klasických kompostech (KK), a ukázalo se, že mikrobiální komunita vyvinutá ve VK byla optimalizována aktivitou žížal ve srovnání s KK. Proces degradace organických materiálů během kompostování/vermikompostování byl ukončen z důvodu účinku mikrobiálního metabolismu, který vyžadoval synergii mnoha druhů mikrooranismů. Projevovala se vyšší rozmanitost mikrobiální komunity, pozitivní environmentální působení a účinnější degradace komplexních organických látek v substrátech. Proto vedla diverzifikovaná mikrobiální komunita ve VK k vyšší stabilizaci přebytečného kalu než v KK. Na druhou stranu je obecně známo, že degradace organických látek má vyšší účinnost při vhodných podmínkách dostatečného provzdušňování půdy. Distribuce a přítomnost žížal zvyšuje provzdušňování v substrátu, což zvyšuje organickou složku při degradace a zpracování přebytečného kalu vermikompostováním (Zhao a kol., 2018).

S výše uvedeným částečně koresponduje, že kompostování a vermikompostování se často používá k přeměně organického odpadu na dále využitelná hnojiva, či látky přidávané do půdy k jejímu zlepšení. Jinak je kompostování definováno jako řízená aerobní přeměna organických látek. Vermikompostování zahrnuje biooxidaci a stabilizaci organických látek společným působením žížal a mikroorganismů. I když jsou to mikroorganismy, které biochemicky degradují organickou hmotu, žížaly jsou rozhodujícími faktory procesu, protože podporují podmínky provzdušňování a

fragmentují substrát, čímž se ohromně zvyšuje mikrobiální aktivita (Dominguez a Edwards, 2011).

Působení biocharu na stabilizaci kompostu různých biologických odpadů si získává značnou pozornost kvůli environmentálním, agronomickým a ekonomickým výhodám. Dosavadní výzkum vykazuje příznivé fyzikálně-chemické vlastnosti, např. větší provzdušněnost, jemmnozrnný povrch, množství funkčních skupin a kationtovou výměnnou kapacitu (KVK), a zvýšení reprodukce žížal během vermikompostování. Biochar během kompostování a vermikompostování biologických odpadů zlepšuje fyzikálně-chemické vlastnosti kompostovací směsi, mikrobiální aktivitu a degradaci organických látek; a snižuje ztráty dusíku a emise skleníkových plynů (GHG) (Khan a kol., 2019).

Zlepšuje také kvalitu konečného kompostu zvýšením koncentrace rostlinných živin, zvýšením jeho zralosti, zkrácením doby trvání kompostování a snížením toxicity kompostu. Díky těmto vlastnostem lze biochar považovat za prospěšné aditivum pro stabilizaci různých bioodpadů během procesů kompostování a vermikompostování (Khan a kol., 2019).

### 3.9.1 Kompostování

Podle zákona č.241/2020 Sb. se jedná o kompost, pokud je:

b) rostlinnými zbytky z údržby zeleně, zahrad a domácností ovoce a zelenina ze zahrad a kuchyní, drny se zeminou, rostliny a jejich zbytky neznečištěné chemickými látkami.

„Tok látek v ekosystémech je v současnosti narušen – bioodpad často nekončí zpět v půdě, nýbrž ve spalovnách či na skládkách směsného odpadu, čímž dochází ke zničení organické hmoty. Naproti tomu kompostování bioodpadu je proces, který vrací živiny zpět do půdy," uvádí Oušková (2019).

Technika kompostování má již velmi dlouhou historii, prakticky byla objevena již prvními zemědělci, před válkou sice pozbyla popularity, avšak po ní se díky své jednoduchosti a užitečnosti (dobré hnojivo) opět dostává na scénu. V éře minulého režimu, zhruba od 60. let minulého století bylo využívání živin z biologicky rozložitelného materiálu poněkud opomíjeno, i když docházelo k rozmachu zahradničení. Nyní se k němu opět navracíme díky větší informovanosti z hlediska ekologické

udržitelnosti a také z důvodu celkového narůstání odpadu a nutnosti jeho likvidace (MŽP, 2020).

„Bioodpad má vůbec mezi odpady výjimečnou pozici. Takřka u každého druhu odpadu sledujeme při jeho materiálové recyklaci jistou degradaci. Plast vyrobený z plastu už není tak kvalitní jako plast původní, papír také nelze recyklovat donekonečna, jedině u bioodpadu vzniká po jeho materiálové recyklaci něco hodnotnějšího než co do něj vstupuje. Také proto by mělo být o kompostování více slyšet a celý ten obor by měl mít schopnost hájit své zájmy“ (Šmída, 2019).

Na přeměnu organické hmoty působí:

a) voda – vyluhování, vzduch (O2) – oxidace – tlení, fermenty – enzymy z těl živočichů, vznikající oxidací, které mění třísloviny a pryskyřice, to má za následek tmavnutí listů, plodů, nebo vznikají syntetické enzymy – monosacharidy + aminokyseliny

b) působením činností půdních živočichů (žížaly) biodynamická přeměna – promíchání, rozdrobení, konzumace

c) působení mikroflóry – bakterie, houby a řasy

(Mužák a Klášterecká, 2007)

Byl proveden průzkum vlivu metod inokulace na kompost s organickou frakcí tuhého komunálního odpadu. Byly použity tři druhy bílých hub (phanerochaete chrysosporium, trametes versicolor a fomes fomentarius) a konsorcium těchto hub. Studie hodnotila jejich vliv na mikrobiální enzymatické aktivity a kvalitu hotového kompostu. Bylo zjištěno, že přidání hnilobných hub do tuhého komunálního odpadu (po 37 dnech kompostování) může být užitečnou strategií pro zlepšení vlastností konečného kompostovaného produktu (Voběrková a kol., 2017).

Ve srovnání s kontrolním vzorkem (kompost bez naočkování) urychluje degradaci tuhého odpadu, což je indikováno změnami C:N, elektrické vodivosti a pH. Účinnost degradace odpadu a zrání kompostu však závisí na typu mikroorganismu použitého k inokulaci. Voběrková a kol. (2017), dále uvádí, že: „Přítomnost inokulačních látek z hub, jako je trametes versicolor a fomes fomentarius, vedla k vyššímu degradačnímu poměru a lepšímu stupni zralosti. To mělo za následek zvýšení enzymatických aktivit (zejména dehydrogenázy a proteázy) a indexu klíčení ve srovnání s inokulací pomocí phanerochaete chrysosporium nebo konsorcii hub“.

Také Lukashe a kol. (2019), zkoušeli podobnou techniku: „vzhledem k zásadní roli, kterou hrají mikrobi během vermikompostování, bylo záměrně navrženo očkování

kompostů specializovanými mikroby, jako způsob zlepšení optimalizace procesu vermikompostování.“

### 3.9.2 Vermikompostování

Vermikompostování je biooxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který na rozdíl od klasického kompostování využívá interakce mezi intenzivní činností žížal s pomocí mikroorganismů a nezahrnuje termofilní fázi rozkladu (Dominguez a Edwards, 2011).

Technologické požadavky na proces vermikompostování Podle vyhlášky 273/2021 Sb. jsou následující:

*Teplota vermikompostových zakládek vyšších než 2 m se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu zakládky; teplota nižších vermikompostových zakládek se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 0,5m od povrchu zakládky,*
*nejvyšší teplota během vermikompostování může být 35 °C, v zakládce je přítomen dostatečný počet žížal pro průběh procesu, v průběhu procesu je vlhkost zakládky v rozmezí od 40 % do 80 %, vlhkost a teplota surovin v zakládce se měří třikrát týdně v pracovní den; zjištěné hodnoty musí být evidovány včetně údajů o době měření, součástí procesu vermikompostování může být fáze předkompostování, při které nejsou využívány žížaly.*
*Pokud je do vermikompostárny přijímán odpad katalogového čísla 02 01 06 nebo neodpadní suroviny stejného původu, musí být provedeno jejich zpracování předkompostováním podle technické normy ČSN 46 5736 - Vermikomposty nebo musí být technologie vermikompostárny ověřena z hlediska účinnosti hygienizace a prováděno pravidelné ověřování limitních hodnot indikátorových organismů podle přílohy č. 27 k této vyhlášce v četnosti podle přílohy č. 30 k této vyhlášce* (Vyhláška 273/2021).

Technologie je plně přátelská k životnímu prostředí (Hanč a Plíva, 2013).
Další možností využití vermikompostu je jeho použití jako adsorbentu k imobilizaci těžkých kovů v půdě nebo v jiných materiálech, k odstranění kovových iontů z odpadních vod nebo jako náplň do filtrů k filtraci vzduchu – např. možno použít i na bioplynových stanicích (Mikeš, 2008). Avšak toto je pouze předpokládané řešení, které by bylo žádoucí více vyzkoumat v praxi.

Zhao a kol. (2018), zmiňují, že vermikompostování může do určité míry dezinfikovat a sterilizovat patogenní mikroorganismy. To také znamená, že existence žížal zlepšila stabilizaci a kvalitu výsledného kompostu.
Podle dalších autorů lze vermikompostování využít i za účelem rozkladu organických polutantů (Contreras-Ramos et al., 2008).

Zde je však na místě dodat, že je nutné vyrovnat poměr polutantů a půdy, kdy organická hmota musí být zastoupena v mnohonásobně vyšším poměru, aby nedošlo k úhynu žížal, jež jsou citlivé vůči vysokému množství nežádoucích látek v půdě, aplikace polutantů musí být tedy nejlépe v menších dávkách, nebo se může dávkovat průběžně.

Lukashe a kol. (2019), se domnívají, že: „zahrnutí e. fetida s nebo bez p. fluorescens nemělo významný vliv na mikrobiální růst, nicméně tato dvě ošetření měla relativně vyšší počet kolonií ve srovnání s kontrolou. Byl vyvozen závěr, že interakce žížal e. fetida s p. fluorescens může optimalizovat vermidegradaci, uvolňování živin a biologickou aktivitu během vermikompostování hnoje s popílkem z odpadního papíru.“

Žížaly jsou považovány za klíčové hybné síly vermikompostování a zdravý stav (a přírůstek) žížal odráží úspěšný proces vermikompostování (Zhao a kol., 2018). Stejně se stalo také ve vermikompostu z variant A a B, kde byly žížaly doslova přemnoženy.

„Jednou z účinných a zároveň levných cest eliminace mikropolutantů, která je šetrná k životnímu prostředí, může být vermikompostování, které je považováno za nejpokročilejší metodu kompostování. Vermikompostování je biooxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který na rozdíl od klasického kompostování využívá interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů a nezahrnuje termofilní fázi rozkladu. Překopávání, fragmentaci a aeraci zabezpečují z větší míry žížaly, díky čemuž je možno vermikompostování zařadit mezi nízkonákladové systémy zpracování odpadů. Technologie je zcela přátelská k životnímu prostředí.“ (Hanč a kol., 2019). Dobře fungující systém vermikompostování biologického odpadu z domácností, kalu ze sladovny a výlisků z hroznů je téměř bezúdržbový, levný a ekologický, což přispívá k čistší výrobě (Hřebečková a kol., 2019).

Díky vermikompostování se zvýšila diverzita mikroorganismů. Procentuální zastoupení hub a prvoků se v důsledku působení žížal zvýšilo. Prokypření vermikompostováním napomáhá lepšímu provzdušnění půdy. Na tomto se shodli Zhao

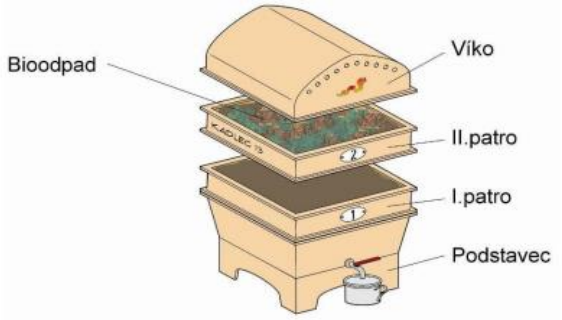
(2018) i Hřebečková (2019). Žížaly modifikovaly mikrobiální komunitu a rozšířily potravní síť VF, a tak zvýšily redukci kalu (Xing a kol., 2014).

Jedná se o způsob rozkládání odpadu pomocí žížal, jež půdu zároveň aktivně provzdušňují, na rozdíl od obyčejného kompostování se biomasa pohybuje, a tím degraduje efektivněji. ???

#### 3.9.2.1 *Vermikompostér*

Podle metodiky Hanče a Plívy (2013) se vermikompostér obvykle skládá z víka a tří nádob, které jsou od sebe odděleny, zároveň však mají otvory, kterými žížaly mohou podle potřeby putovat mezi příčkami, nedostanou se však ven. Na velikosti příliš nezáleží, i malé nádoby mohou plnit svou funkci dokonale, je však třeba si dopředu uvědomit, nebo lépe spočítat, kolik organického odpadu je třeba zvermikompostovat, aby jej nebylo málo, ani příliš a podle toho uzpůsobit velikost nádob, jednotlivé nádoby lze podle potřeby přeskupovat nebo i přidávat a odebírat.

Důležitý je spíše tvar, kompost by neměl být příliš vysoký, je lepší jej rozprostřít do vrstvy vysoké kolem 15 cm, ale široké například 30x30cm říkají Hanč a Plíva, (2013), kteří dále doporučují: Minimálně jednou za týden obsah promícháme, abychom zajistili jeho homogenitu a umožnili větší prokypření. Když nám vznikne dobrý humus, do spodní části se oddělí kejda, která je dobrá na přihnojování plodin či květin. Ve střední části se nám objeví hlína, která je díky žížalám skvěle prokypřená a tím vhodná pro vysypání na zahradu, kde nám zlepší růst plodin a kvalitu zbylé půdy, jelikož je plná živin a zbavena velkého množství nežádoucích látek. Pokud vermikompostovací proces probíhá na otevřeném prostranství, je potřeba zabezpečit zakládku proti úniku látek, nebo i žížal.




Obrázek č. 3: Schéma vermikompostéru, Hanč a Plíva, (2013)

Pro zpracovávání větších množství je využíváno vermikompostování, které je prováděno pomocí jednoduchých technologických systémů, kam lze zahrnout vermikompostování plošné či vermikompostování v ohraničeném prostoru, tzv. boxové vermikompostování anebo pomocí složitějších technologických systémů, kam patří např. vermireaktory s kontinuálním procesem, či kompostování v dvoumodulovém vermireaktoru (Hanč a kol., 2018).

Na farmě Králov používají jako vstupní surovinu vedle slámy nebo sena také výlisky z hroznů a ovoce, zelené odpady, odpady z pivovarů, výpalky z palíren, digestát (odpad z bioplynových stanic) nebo kaly z čistíren odpadních vod (max. 75 % zakládky). Naproti tomu nevhodný je čerstvý hnůj (musí se nechat alespoň dva týdny vyvětrat a pak vyplavit čpavek a močovinu). Čerstvá tráva se musí nechat aspoň dva týdny ležet „vyhřát“ a do vstupních surovin se nesmí dávat hlína, kterou žížaly nesnášejí a poškozuje jejich trávicí ústrojí (Krása, 2014). ???

#### 3.9.2.2 *Vermikompost*

Vyrobený vermikompost slouží jako hnojivo a podle provozovatelů vysoce převyšuje běžné produkty kompostování – snadno se vstřebává do půdy, má vysoké pH a retenční schopnost. Obsahuje vysoce kvalitní humus, růstové hormony, enzymy a látky, které jsou schopné chránit rostliny před škůdci a chorobami a umožňují lépe využít minerální látky již obsažené v půdě (Krása, 2014).

Ve všech hromadách vermikompostování byly mezi vrstvami výrazné rozdíly (Hanč a kol., 2019).

#### 3.9.2.3 *Zjišťování parametrů vermikompostu*

"Fluorescenční spektroskopie je relativně jednoduchou a efektivní technikou při zjišťování stability a zralosti produkovaného vermikompostu" (Hřebečková a kol., 2019).

DNA metabarcodingová analýza bakteriálních komunit byla provedena během celého cyklu vermikompostování tuhého komunálního odpadu pomocí žížal eisenia fetida. Bylo pozorováno stálé zvyšování diverzity bakteriální komunity, což odpovídá 2,5 krát vyšší bohatosti taxonů (Srivastava a kol., 2020).

V přehledové tabulce je znázorněn rozpis technologií od různých autorů, kteří se zabývali vermikompostováním nebo jiným způsobem rozkládání odpadních látek. Viz příloha č. 2

### 3.9.3 Vermifiltrace

„Čištění odpadních vod pomocí žížal, zvané vermifiltrace, je intenzivně zkoumané téma. Touto problematikou se komplexně zabývali Singh a kol. (2017), kteří ve své souhrnné práci poskytli komplexní přehled o použitelných mechanismech, faktorech ovlivňujících proces a účinnost a také se zabývali využitelností této metody v praxi.“ (Hanč a kol., 2019).

Tento biofiltrační systém je nízkonákladová a efektivní alternativa pro dekontaminaci domácí užitkové vody (Wang a kol., 2011).

Systém vermi-biofiltru (VF) by mohl být efektivní pro zpracování kalu, pokud jde o rychlosti a rozsahy celkové spotřeby kyslíku (TCOD), zejména při prvních 10 dnech za pomoci žížal (Zhong a kol., 2017).

Schopnost redukce kalu vermifiltrem byla o 14,7% vyšší než u konvenčního biofiltru kvůli skutečnosti, že při prodloužení potravinového řetězce ve VF došlo k čisté ztrátě biomasy a energie (Xing a kol., 2014).

Do reaktorů se přiváděl kal přes vodní nádrž a odpadní vody se odebíraly přímo ze dna reaktoru. Pokusy byly prováděny při pokojové teplotě (20 ± 3 °C). Všechny kontejnery byly v provozu po dobu 60 dnů s následnou separací žížal a rýžových slupek. Vzorky ošetřeného kalu byly shromažďovány z BF a VF nádob každých 10 dní pro další analýzy. Zhong a kol. (2017), dále říkají, že provoz systému VF přednostně degradoval

karboxylové, alifatické, uhlovodíkové a sacharidové složky. Systém VF je považován za vylepšený digestor kalu s dalšími možnostmi hydrolýzy a degradace substrátu.

Vermifiltrace v jiném výzkumu účinně snížila chemickou spotřebu kyslíku, a obsah amoniakálního dusíku (NH3-N) z kontaminovaného přítoku. Změny dusíku v odpadních vodách byly pozitivně ovlivněny vlastnostmi půdy a aktivitou žížal. Jejich interakce s přidaným dusíkem napomáhala jeho distribuci v půdě. Profily denaturační gradientové gelové elektroforézy navíc odhalily ve vrstvách půdy velmi různorodé společenství bakterií, která pomáhají oxidovat amoniak a bakterie nitrospira. Mezi Shannonovým indexem biodiverzity pro amoniak a klesající koncentrací NH3-N byla pozitivní korelace, což naznačuje, že půdní mikrobi hráli hlavní roli při odstraňování a přeměně NH3-N a dusíku (Wang a kol., 2011).

### 3.9.4 Termický rozklad

Termický rozklad je optimální metoda na recyklaci uhlíkatých odpadů jako jsou plasty a pneumatiky, ale používá se stále častěji také na jiné druhy odpadu jako jsou čistírenské kaly. Technologie termického rozkladu jsou běžně používány v zemích EU. Výstupem termického rozkladu může být aktivní uhlí, hnojivo, fosfor nebo pyrolýzní olej k dalšímu zpracování v chemickém průmyslu, vše podle vstupního odpadu a parametrů procesu, jako je teplota a rychlost rozkladu. V ČR není v současné chvíli žádná schválená technologie termické depolymerizace, všechny jsou buď ve zkušebním provozu nebo v laboratorních centrech. Důvodem, proč není tato technologie více rozšířena, je především legislativa, která zařazuje termickou depolymerizaci mezi spalovny a samozřejmě také levné skládkování odpadu (Hořeňovský, 2019).

Jak již bylo uvedeno výše, nový zákon č.541/2020 Sb. však upravuje odklon od skládkování.

### 3.9.5 Poměr uhlíku a dusíku

Přístup autorů ohledně poměru C:N se liší, například Hřebečková a kol. (2019), se domnívá, že nejvhodnějším produktem pro aplikaci na pole (jako hnojivo), je bioodpad z domácností, který má výsledný poměr nejvyšší z celého jejich experimentu, 26,7. Avšak proti tomu Lukashe a kol. (2018), sdělují, že výsledný produkt, který má poměr C:N <15, se nejlépe hodí pro aplikaci na zemědělskou půdu, protože nejlépe podporuje růst plodin.

Jako nejlepší doporučili vermikompost s e.fetida, nebo variantu vermikompostu s e.fetida a p.florescens.

Vermikompost má optimální poměr uhlíku a dusíku 15-10:1, obsahuje stopové prvky, hlavně mangan, bór a zinek (Jakub Filip, 2019).

„Nebyla významná signifikantní interakce mezi ošetřeními a časem, což naznačilo, že pozorovaný pokles poměru C:N byl způsoben převážně díky různým způsobům ošetření vermikompostu.“ tvrdí Lukashe a kol., (2018).

„Proces vermikompostování je považován za snadný praktický postup i metodu přeměny odpadních materiálů na organická hnojiva. Výsledky C:N této studie ukázaly, že délka procesu 75 dnů je vhodnou dobou pro zrání všech částí vermikompostu. Na základě vztahu NH4 / NO3 doba zrání prvního a třetího vzorku připadla na 50. den, pro druhý a čtvrtý vzorek byla doba zrání určena na 75. den. Podle ukazatele ligninu fáze zrání začala u všech ošetření od 50. dne. Na rozdíl od fosforu, který byl na dobré úrovni pouze u prvního zpracování, hladina dusíku byla vhodná při všech, míní Alidadi a kol. (2016).

Začlenění E. fetida a P. fluorescens urychlilo proces biodegradace, jak je naznačeno významným poklesem poměru C:N (P = 0,0012), což vedlo ke konečnému poměru C:N 11 ve srovnání s kontrolou, která měla poměr C:N 18." (Lukashe a kol., 2019).

Proces vermikompostování zvýšil podíl celkového dusíku a fosforu. Nejlepším zpracováním byl poměr 50:50 kompostu a dalších materiálů s příměsí uhlíku (Alidadi a kol., 2016).

### 3.9.6 Využití kalů v zemědělství

„V posledních pěti letech došlo k úpravě legislativy týkající se nakládání s kaly z ČOV i v České republice. Jednak bylo novelizováno znění zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech a dále byla vyhláška č. 382/2001 Sb., o podrobnostech použití upravených kalů na zemědělské půdě nahrazena vyhláškou č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady a změně vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách

ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady“ (Jarolímová, 2019).

Velvyslanci členských států EU potvrdili předběžnou dohodu o opětovném využívání vyčištěné městské odpadní vody pro zavlažování v zemědělství. Nové opatření má pomoci k omezení rizika nedostatku vody pro zavlažování plodin. Odpadní vody se tak kvůli klimatickým změnám a postupujícímu suchu stávají stále cennější komoditou (Soldatová, 2020).

Význam žížal v zemědělských postupech je již z historie dobře znám. Rostoucí aplikace pesticidů a chemikálií na farmách nepříznivě ovlivnily flóru a faunu, přítomnou v půdě. Žížaly však nesmírně přispívají ke zvyšování kvality a plodnosti zemědělské půdy. (Tiwari a kol., 2016).

### 3.9.7 Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech

Nově byl vytvořen zákon o odpadech č. 541/2020, který upravuje především zastaralý přístup ke skládkování a také upravuje možnosti aplikace kalů v zemědělství, zpřísňuje použití pouze upraveného kalu pro přímou aplikaci na pole.

*(2) Provozovatel zařízení smí provozovat zařízení určené pro nakládání s biologicky rozložitelným odpadem pouze v souladu s technickými požadavky na vybavení a provoz a technologickými požadavky na zpracování biologicky rozložitelných odpadů stanovenými vyhláškou ministerstva a musí splnit požadavky na ověření účinnosti technologie úpravy stanovené vyhláškou ministerstva. Odpady vstupující do technologie materiálového využití biologicky rozložitelných odpadů musí splňovat kvalitativní požadavky stanovené vyhláškou ministerstva. Při využití biologických odpadů metodou vermikompostování nesmí roční kapacita zařízení přesáhnout 1000 tun odpadu.*

*Povinnosti při používání kalů na zemědělské půdě:*

*(1) Na zemědělské půdě smí být použity pouze upravené kaly s ohledem na nutriční potřeby rostlin a v souladu se schváleným programem použití kalů tak, aby použitím kalů nebyla zhoršena kvalita zemědělské půdy a kvalita povrchových a podzemních vod. Upravený kal smí na zemědělské půdě použít pouze právnická nebo podnikající fyzická osoba, která tuto půdu užívá.*

*(2) Upravené kaly smí být na zemědělské půdě používány pouze při splnění technických podmínek, přípustného množství kalů použitých na jeden hektar a mezních hodnot koncentrací vybraných rizikových látek v kalech stanovených vyhláškou ministerstva. Při použití upravených kalů na zemědělské půdě musí být dále splněny mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v zemědělské půdě, mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů, které smí být přidány do zemědělské půdy za období 10 let, a mikrobiologická kritéria pro použití kalů. Splnění podmínek pro použití kalu na zemědělské půdě se posuzuje samostatně pro kal z jedné čistírny odpadních vod nebo zařízení na úpravu kalů ve vztahu ke konkrétnímu půdnímu bloku.*

*(3) Použití kalů je zakázáno*

*a) na zemědělské půdě, která je součástí chráněných území přírody a krajiny podle zákona o ochraně přírody a krajiny,*

*b) na půdách lesních porostů běžně využívaných k hospodaření v lese,*

*c) v ochranných pásmech vodních zdrojů, na zaplavených půdách a na zamokřených plochách,*

*d) v ochranných pásmech přírodních léčivých zdrojů a zdrojů přírodních léčivých vod podle lázeňského zákona,*

*e) na trvalých travních porostech a travních porostech na orné půdě v průběhu vegetačního období až do poslední seče,*

*f) v intenzivních plodících ovocných výsadbách,*

*g) na pozemcích využívaných k pěstování polních zelenin v kalendářním roce jejich pěstování a v předcházejícím kalendářním roce,*

*h) v průběhu vegetace při pěstování pícnin, kukuřice a při pěstování cukrové řepy s využitím chrástu ke krmení,*

*i) jestliže z půdních rozborů vyplývá, že obsah vybraných rizikových látek v průměrném vzorku překračuje jednu z hodnot stanovených vyhláškou ministerstva,*

*j) na půdách s hodnotou výměnné půdní reakce nižší než pH 5,6,*

*k) na plochách, které jsou určené k rekreaci a sportu nebo veřejným prostranstvím,*

*l) na zemědělské půdě, kde bylo zjištěno překročení preventivní hodnoty podle zákona o ochraně zemědělského půdního fondu, nebo*

*m) jestliže kaly nesplňují mikrobiologická kritéria stanovená vyhláškou ministerstva; použití mikrobiálně kontaminovaných kalů smí být provedeno pouze po úpravě kalů.*

*(4) Ministerstvo stanoví vyhláškou*

*a) mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek v zemědělské půdě podle odstavce 2,*

*b) mezní hodnoty koncentrací těžkých kovů, které smí být přidány do zemědělské půdy za období 10 let, podle odstavce 2 a*

*c) postupy analýzy kalů a půdy, včetně metod odběru vzorků. Moderní čistírny mají různé druhy nádrží s rozdílnými typy bakterií a chemickými podmínkami, které umožňují snížit znečištění. Na čistírně odpadních vod se může snižovat obsah polutantů sorpcí do kalu, uvolňování těkavých látek a konečně biotransformací, která má potenciál snížit koncentraci chemikálií během doby zdržení v nádrži.*

Další podmínkou pro použití kalů je obsah rizikových prvků, jejichž množství je zásadní pro aplikaci na zemědělskou půdu. Byly stanoveny limity pro obsah rizikových prvků (mg/kg) a také limit pro aplikaci kalů (t/ha), který nesmí být překročen, aby bylo vyloučeno nebezpečí kontaminace orné půdy. Nesmí být překročena koncentrace stanovených rizikových prvků ani v samotné půdě, na kterou mají být kaly aplikovány. Tyto limity jsou stanoveny v zákoně č. 185/2001 Sb., o odpadech (dále jen zákon o odpadech) a vyhlášce č. 437/2016 Sb., o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě (Jarolímová, 2019).

Hodnoty enzymů ukazují, že nejaktivnější vermikompostovaný materiál byl domácím bioodpadem, kvůli jeho heterogenitě. Proto se tento odpad zdá být nejvhodnější pro aplikaci v zemědělství (Hřebečková a kol., 2019).

Byl zaznamenán progresivní pokles aktivity ß-glukosidázy, kyselé fosfatázy a ureázy, zatímco proteáza a dehydrogenáza vykazovaly mírný nárůst, následovaný prudkým poklesem. Byla pozorována silná pozitivní korelace mezi kanonickými funkcemi fyzikálně-chemických atributů a enzymových aktivit (Srivastava a kol., 2020).

„Zajištění dostatečného množství organické hmoty v půdě je jedním ze základních předpokladů její ochrany proti erozi a podpory schopnosti zadržovat vodu. Obsah organické hmoty v půdě je závislý na dodržování pravidel správné zemědělské praxe a na jejím doplňování formou organických hnojiv. Jednou z možností organického hnojení, které může doplnit nebo částečně nahradit tradiční, v České republice nedostatečné zdroje (hnůj, kejda), jsou kaly z čistíren odpadních vod nebo komposty vyrobené z biologicky rozložitelných odpadů. Je však nezbytné dodržovat nastavená legislativní pravidla pro jejich použití na zemědělské půdě“ (Hanč a kol., 2019).

K přednostem aplikace čistírenských kalů na zemědělskou půdu patří přísun organické hmoty a živin v nich obsažených. Podle Statistické ročenky ČSÚ (2018) bylo na území ČR v rámci provozu čistíren odpadních vod (ČOV) v roce 2017 vyprodukováno 178 tis. tun sušiny čistírenského kalu. Z toho 75,5 tis. tun bylo využito přímou aplikací na půdu (Hanč a kol., 2019). Čistírenský kal se na půdu nemůže aplikovat bez předchozí úpravy, a hygienizace. Až tehdy, je-li zbaven většiny nežádoucích látek, splňuje náležitosti dle norem 46 5736 a 46 5735 podle zákona, je legální jej využít pro zemědělské účely.

Dále Hanč a kol. (2019), říkají, že v současné době jsou však možnosti agronomického využití čistírenského kalu silně limitovány přísnými požadavky na obsah rizikových látek a patogenních mikroorganismů v něm obsažených. Tyto limity mohou být navíc v blízké budoucnosti rozšířeny o přítomnost v současnosti tolik diskutovaných mikropolutantů.

V minulosti docházelo k vypouštění velkých objemů kalů bez úpravy na zemědělskou půdu, dnes se však z hlediska množství škodlivých látek, které obsahují, od tohoto řešení odstoupilo.

Dle dostupných údajů je v současné době na území ČR provozováno cca 2 500 – 2 600 objektů ČOV. Významná část objektů ČOV spadá do velikostní kategorie do 500 EO (cca 1300–1400 objektů), respektive do 2 000 EO (cca 600 – 700 objektů). Zejména pro tyto kategorie ČOV se jeví jako účelné uvažovat o alternativním přístupu, který spočívá ve využití žížal pro kompostování čistírenského kalu. Cílem je zvýšení kvality (a tržní hodnoty) aplikovaného hnojiva společně s eliminací vybraných mikropolutantů“ (Hanč a kol., 2019).

Ve srovnání s předchozími studiemi o vermikompostování, které používaly různé druhy žížal (eisenia andrei) a různé substráty, výsledky odrážejí značnou míru

specificity substrátu pro použité druhy žížal a nabízejí vodítka pro optimalizaci vermistabilizace organické frakce spolu s jeho potenciálním využitím v zemědělství, aby se podpořila lepší úroveň oběhového hospodářství (Srivastava a kol., 2020).

### 3.9.8 Norma ČSN 46 5736

*Odběr a označování vzorků*

*Odběr vzorků hotového vermikompostu se vzorkuje po vizuálním posouzení struktury, barvy a případné přítomnosti nerozpojitelných částic spirálovým vzorkovačem, lopatou, rýčem nebo jiným vhodným vzorkovačem.*

*V případě, že vermikompost neodpovídá požadavkům na vermikompost podle 4.4, nebo že byla nedodržena technologie, vzorky se neodebírají a sepíše se protokol o neodebrání vzorků;*

*Odběr dílčích vzorků vermikompostu*

*Dílčí vzorky se odebírají:*

*a) při nakládání nebo vykládání v pravidelných časových intervalech během celé nakládky nebo vykládky (dynamická metoda);*

*b) z naloženého dopravního prostředku s volně loženým VK po odstranění asi 20 cm vrchní vrstvy.*

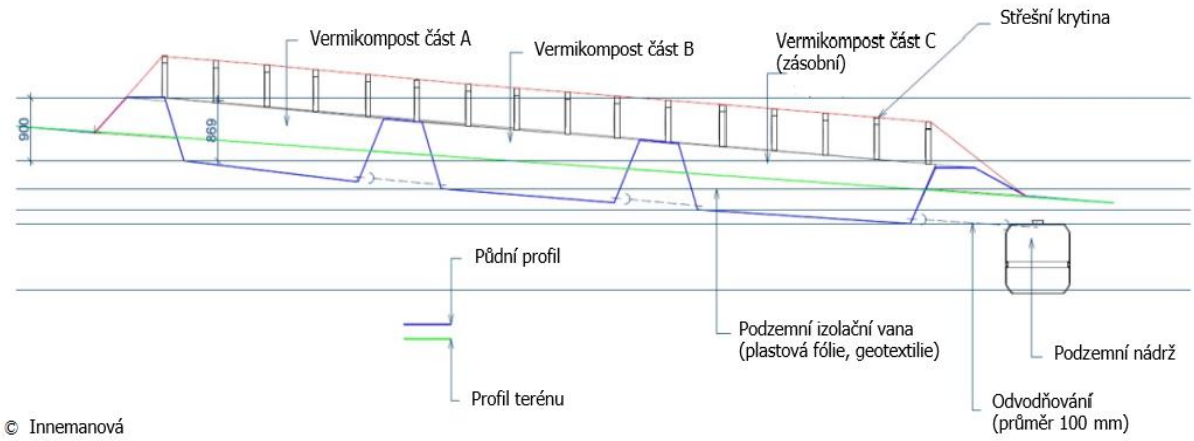
*Jednotlivé dílčí vzorky se odebírají z různých míst rovnoměrně rozmístěných po celém ložném prostoru (statická metoda);*

# 4. Praktická část

## 4.1 Metodika

Mezi varianty vermikompostování na volném prostranství patří vermikompostování v ohraničených záhonech, provozované ve většině případů pod přístřeškem. Při tomto způsobu dojde k určitému ochránění hromad před povětrnostními vlivy a k prodloužení vermikompostovacího procesu i v chladnějším období. Nevýhodou tohoto způsobu je nutnost vlhčení chovu při vyšších venkovních teplotách (Hanč a Plíva, 2013). Takový způsob probíhal i v rámci tohoto experimentu.

### 4.1.1 Design experimentálního vermikompostéru




Obrázek č. 4: Design experimentálního vermikompostéru, Innemanová (2020)

## 4.2 Sběr dat

Všechny odběry (cca 3 kg od každého druhu vzorku) proběhly 2. 11. 2021, biomasa žížal byla ve vermikompostu i vzorcích patrná, také jejich vysoká diverzita (od juvenilů po dospělce). Výsledný vermikompost po cca půl roce ještě nebyl zcela vyzrálý, stále v něm bylo relativně mnoho potravy pro žížaly, jejich markantní úhyn nebyl v důsledku přemíry nežádoucích látek v rámci žádné fáze experimentu zaznamenán. Odběry proběhly rýčem, dle normy ČSN 46 5736.

Obrázek č. 5: Odběr vzorku vermikompostu Foto: © Zuzana Blahová

Na směsi slámy se po dobu jednoho roku množilo inokulum, dokonce bylo i zazimováno a použito na zakládku tohoto nového vermikompostu. V Prachaticích se dne 6.5.2021 zahájilo kompostování 3m$^3$ štěpky s kalem (v plastovém kontejneru o rozměrech 1,5x1x1,5). Z něj se odebralo 1,5m$^3$ směsi, která byla ihned odvezena do Hrbova (část B). Po 4 týdnech, kdy kompostovaná směs v Prachaticích prošla řízeným procesem provzdušňování a termofilní fází, byl proces 3.6.2021 ukončen. Část výsledné směsi (1m$^3$) byla odvezena do Hrbova na část A-2, kde byla ponechána žížalám takzvaným „Wedge systémem“, kdy jsou žížaly volně položeny vedle kompostu a samy si díky perforované přepážce postupně přelezou za potravou (migrují horizontálně). Tedy obě části byly rozděleny na dvě další části (A1, A2; B1 a B2), kdy v čísle 1 se vždy nacházelo inokulum. Zbylá část (0,5 m$^3$) byla ponechána v Prachaticích jako kontrola, probíhalo tam již pouze kompostování (v plastovém kontejneru o obsahu 1m$^3$). První část zakládky v Hrbově byl tedy stabilizovaný kal se štěpkou v poměru 1:1,5 (B-2), druhou variantou byla předkompostovaná směs kalu se štěpkou v poměru opět 1:1,5 (A-2), (technologie vermikompostování v pásech), oba druhy byly ponechány ve fázi vermikompostování po dobu půl roku. Třetí část (Prachatice) byl pouze kompost s čistírenským kalem a se štěpkou v poměru 1:1,5; následně zrající ještě také cca půl roku. Štěpka byla získána z BRO kompostárny. Kal byl získán ze středně velké čistírny odpadních vod (30 tis. ekvivalentních obyvatel), byl stabilizovaný, a proto již vhodný pro aplikaci v zemědělství,

přesto došlo ještě k větší redukci obsahu nežádoucích látek, u některých dokonce k úplnému odstranění. Cca po půl roce došlo díky vermikompostování i k jeho hygienizaci.

Pro provedení experimentu s vermikompostem byly vybagrovány tři zemní vermikompostéry – A a B o objemu 3 $m^3$ a C o objemu 3,5 $m^3$. První dva – A a B sloužily jako experimentální, poslední C jako kontrolní. Vzorky se vždy odebíraly v 5 variantách, aby se zajistila dostatečná homogenita výsledného odběru.

Vany byly izolovány jezírkovou fólií a na dně je položena drenáž z perforované trubky. Když nebyl kontrolován obsah nebo odebírány vzorky, byly zakryty dřevěným roštem a perforovanou banerovinou, aby se zajistila optimální vlhkost a teplota. Vermikompost byl dálkově sledován kvůli nastaveným pravidlům v zákoně, a také z důvodu obav o jeho přehřátí a možný následný úhyn žížal. V suchých a velmi teplých letních dnech byly zakládky pokropeny pitnou vodou, později s klesajícími teplotami náležitě zazimovány.

*V roce 2020 bylo namnoženo inokulum žížal na směsi slámy a čistírenského kalu. Do každé vany byly umístěny 2 perforované boxy s násadou žížal a v průběhu sezóny došlo k jejich pomnožení. Na konci roku 2020 byl vzniklý vermikompost uspořádán z vrstvy do figury kompaktního tvaru, aby bylo zajištěno bezpečné přezimování. Na jaře 2021 byl stav žížal zkontrolován a každá z van A a B byla rozdělena perforovanou přepážkou na 3 segmenty. V segmentu 1 vany A a B bylo inokulum z roku 2020. Do segmentu 2 byl umístěn materiál pro vermikompostování v roce 2021 směs kalu a štěpky (recyklovaná přesátá štěpka z kompostárny BRO). Segmenty č. 3 budou naplněny v roce 2022. Část se převezla do Hrbova hned (pole B, segment 2), část kompostovala při řízené aeraci v areálu vermikompostárny Prachatice. Po 1 měsíci, kdy proběhla termická fáze, se 1$m^3$ převezl do Hrbova do pole A, segmentu 2 a zbytek (cca 0,5$m^3$) kompostu se nechalo dozrávat přímo ve vermikompostárně jako kontrola bez přítomnosti žížal, vzorek Prachatice, který byl rozdělen na varianty a, b, c; kvůli homogenitě vzorku (Zdroj dat: Innemanová, 2021.*

Tento pilotní experiment je realizován v rámci řešení projektu QK1910095: Využití vermikompostování k eliminaci mikropolutantů za účelem bezpečné aplikace čistírenského kalu na zemědělskou půdu (Hnátková, Program aplikovaného výzkumu Ministerstva zemědělství na období 2017–2025).

## 4.3 Respirace – AT4

Obrázek č. 6: Měření respirace přístrojem OxiTop® OC 110, Foto: © Zuzana Blahová, 2021

### 4.3.1 Popis metody

*Jedná se o manometrickou metodu měření spotřeby kyslíku v průběhu oxidace organického substrátu. Výsledek se udává v miligramech spotřebovaného $O_2$ na sušinu vzorku. Výsledek je vztažen na časový interval, nejčastěji 4 dny (AT4), nebo např. na 7 dnů (AT7). Stanovení AT4 slouží jako nástroj ukazující míru aerobní mikrobiální aktivity. Intenzita respirace AT4 se využívá k posouzení mikrobiální stability materiálů pocházejících z mechanicko-biologické úpravy, k posouzení kompostů a jiných pevných matric. Tato metoda stanovení není vhodná pro matrice, které pochází přímo z anaerobního zpracování, dále pro matrice, jejichž fyzikálně-chemická povaha inhibuje biologickou aktivitu mikroorganismů (např. úprava hydroxidem vápenatým, nebo naopak okyselení velmi reaktivního materiálu) a obecně u materiálů, jejichž hodnoty pH jsou nižší než pH 6 nebo vyšší než pH 9.*

*Pro pokus se použijí následující chemikálie: hydroxid sodný – adsorbent oxidu uhličitého – je možné použít granulovaný, pro zeminy je doporučeno používat 3M roztok NaOH, siřičitan sodný (sušený při 105 °C, pro zkoušení těsnosti reakčních nádob), demineralizovaná voda.*

*V průběhu stanovení se používá silně zásaditý hydroxid sodný. Při práci se používají ochranné rukavice, ochranný oděv, případně ochranné brýle – může způsobit závažné poškození kůže a očí.*

*Definice pojmů a zkratek:*

*AT4 = Parametr pro stanovení biologické stability pevné matrice za aerobních podmínek. Je definován jako spotřeba O2 na 1 g sušiny vzorku po dobu 4 dnů.*

*lag fáze = Časový interval mezi začátkem měření a počátkem exponenciálně stoupající mikrobiální aktivity. Mikrobiální aktivita je uvažována jako míra spotřeby kyslíku.*

*Respirace = Oxido-redukční proces za účasti kyslíku; měřitelný jako spotřeba kyslíku, resp. produkce oxidu uhličitého.*

*Přístroje a vybavení:*

*Zařízení OxiTop® OC 110: měřící jednotka Oxi Top® C: měřící hlavice*
*Zábrusové reagenční lahve 1000 ml s polypropylenovým modrým uzávěrem*
*Váhy s přesností měření 0,1 g Laboratorní sušárna na 105 °C ± 3 °C*
*Laboratorní termostat: přesnost/ kolísání teploty je ±1 °C*

*Kalibrace: Veškeré zařízení používané v rámci stanovení AT4 musí být schopno dosahovat požadované přesnosti a musí být ve shodě se specifikacemi, které se vztahují k příslušným zkouškám. Pravidelné kalibraci podléhají automatické pipety, laboratorní váhy, termostaty, teploměry aj.*

*Duplicitní stanovení: 10 % všech vzorků je stanovováno duplicitně. Data jsou vyhodnocena a uložena v elektronické podobě. Slouží k případné úpravě nejistoty stanovení a odhalení chyb v postupu stanovení.*

*Zkouška těsnosti měřícího systému pomocí Na2SO3 (Siřičitan sodný) má přesně definovanou spotřebu kyslíku. 393,875 mg Na2SO3 spotřebuje přesně 50 mg O2 během 24 h. Na2SO3 vysušíme při 105°C. Definované množství Na2SO3 dáme do reakční nádoby s magnetickým míchadlem a přidáme demineralizovanou vodu dle nastavení přístroje (measuring range) – doporučený rozsah pro tuto zkoušku je 100 mg/l. Celý systém je nutné temperovat na 20 °C. Po smíchání demineralizované vody a Na2SO3 je třeba ihned zahájit měření. Měřící systém vyhodnotí výsledek v mg/l. Výsledek je třeba přepočítat skutečný objem proměřovaného roztoku. Měření probíhá v režimu „BOD special“. Zkouška těsnosti se provádí dle potřeby, minimálně však jednou měsíčně.*

*Postup zkoušky:*

*Příprava vzorku: Vzorky zemin, příp. jiných pevných materiálů, se podrobují analýze v nejbližším možném termínu, pokud se nemohou analyzovat okamžitě po převzetí, uchovávají se v chladničce při teplotě 4 °C ±2 °C.*

*Ve výluhu (vysušený vzorek : voda = 1 : 10) stanovíme pH. Pokud je pH nižší než 6 nebo vyšší než 9, upraví se pH matrice tak, aby hodnoty byly v rozmezí pH 6–9. Stanovíme sušinu vzorku v sušárně při 105 °C ±3 °C. Zkontrolujeme vlhkost vzorku. Ta by se měla pohybovat mezi 40–50 % sorpční schopnosti zeminy. Pozn.: Zkoušenou zeminu, pevnou matrici, zmáčkneme v pěst a uvolníme. Zemina se nesmí ihned rozdrobit. Zaťatá dlaň v rukavicích nesmí být příliš čistá (příliš vysoká sušina), ani nesmí z pěsti vytékat přebytečná voda (příliš nízká sušina). Je-li potřeba, zemina se buď navlhčí vodou nebo se nechá volně vysušit za laboratorní teploty. Před vlastním stanovením je potřeba vzorek temperovat na laboratorní teplotu. Tím omezíme zahrnutí lag fáze do výsledků stanovení. Lag fáze se do výsledku měření nezapočítává.*

*Před zahájením měření se veškeré vzorky a činidla temperují na laboratorní teplotu. Vlastní měření je zahájeno spuštěním přístroje OxiTop® OC 110.*

*Přesná metodika ovládání přístroje a měřících hlavic je uvedena v Operačním manuálu WTW, Systém OxiTop® Control. Provozní režim v zařízení OxiTOP® controll OC 110 pro stanovení AT4 je „BOD special“. Objem vzorku se odvíjí od nastaveného rozsahu měření (measuring range) v operačním módu „BOD special“ přístroje OxiTop® OC 110.*

*U vzorků, u kterých je předpoklad zvýšené respirace, je třeba nastavit vyšší rozsah měření. Objem vzorku měříme co nejpřesněji v odměrném válci, zeminu zvážíme a zapíšeme. Standardně dávkujeme 100 ml homogenního vzorku s výše uvedenou sorpční kapacitou (40–50 %). Minimální množství vzorku je 10 ml, maximální množství 500 ml. Do nádobky na adsorbér dáme 30 ml 3M NaOH. Nádobu těsně uzavřeme! Zapneme start na měřící jednotce OxiTop® OC 110, načteme hlavice dle pokynů přístroje. Reakční lahve dáme do termostatové skříně nastavené na 20 °C ± 1°. Zajištění dostatku kyslíku a výměna sorbentu NaOH: V závislosti na typu vzorku a na nastavení přístroje je potřeba zajistit dostatečný přísun kyslíku a neustálý nadbytek sorbentu. Nedostatek kyslíku poznáme zploštěním respirační křivky. Pro zajištění dostatku kyslíku lahve 1x denně otvíráme. U vzorků s velkou mikrobiální aktivitou vyměníme i roztok hydroxidu sodného za čerstvý. Poté opět těsně uzavřeme měřící hlavice a reakční lahve vrátíme do termostatu. Na přístroji nic neměníme, stanovení stále běží. Otevření reakční nádoby se projeví změnou*

*respirační křivky a zohlední se ve výpočtu. Po 4 dnech načteme výsledek stanovení z měřících hlavic do přístroje a výsledky vyhodnotíme.*

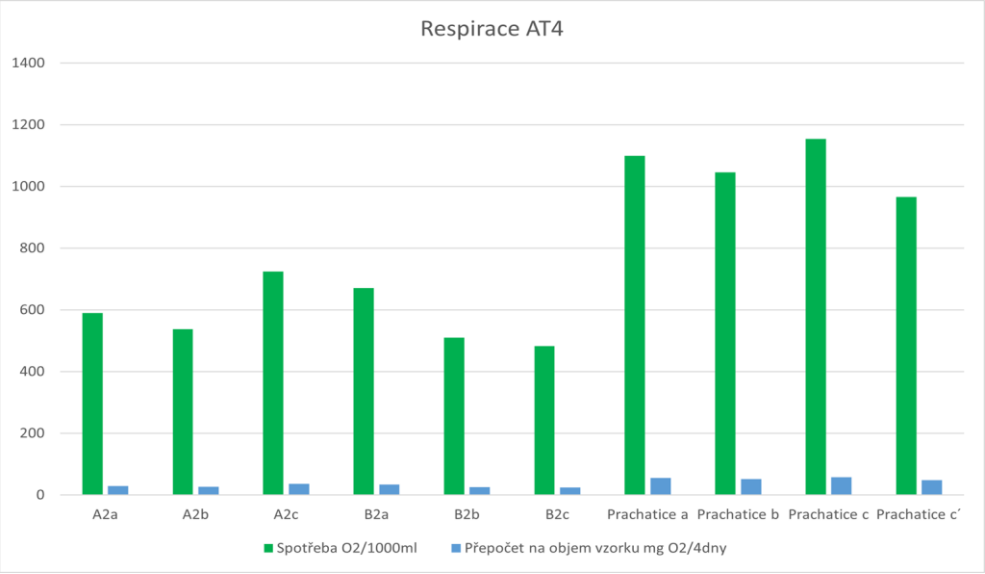
### 4.3.2 Vyhodnocení

*Z měřící jednotky získáme údaj spotřeby kyslíku v mg/l. Hodnotu přepočteme na objem vzorku. Spotřebu vztaženou na objem vzorku přepočteme na 1 g sušiny vzorku. Jestliže byla reakční lahev v průběhu měření otevřena, ve výsledném grafu se objeví jednotlivé přerušované rostoucí křivky. Do vyhodnocení použijeme součet všech těchto maxim. Jestliže křivka po otevření nezačíná od nuly, je třeba počáteční hodnotu této křivky odečíst. Vyhodnocení závislé na změně spotřeby kyslíku je shodné.*

*Postupy uvádění a vyjadřování výsledků*

*Výsledky respirace jsou udávány v mg kyslíku na gram sušeného vzorku při dané teplotě a po stanovenou dobu (dny). Např. AT4 (20°C) = 3,60 mg O2/g sušiny. Výsledek uvádíme na 1 desetinné místo. Nejistota stanovení je uvedena na samostatném verifikačním protokolu. (SOP DEKONTA)*

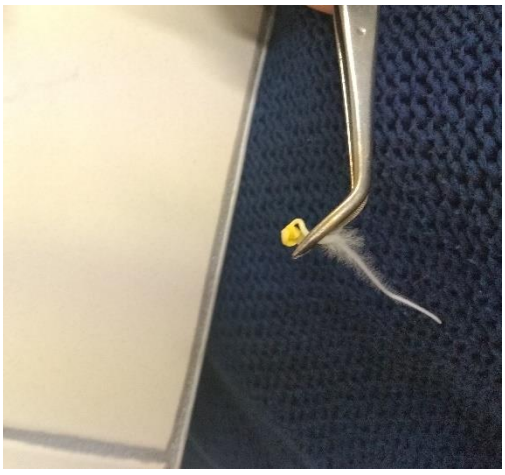
K hodnocení respirace byl použit přístroj OxiTop® OC 110, použitá metoda AT4, dle metodiky došlo po 72 hodinách k vyhodnocení u všech tří druhů odebraných vzorků, kdy každý byl vzorkován ve třech variantách. Již v průběhu experimentu nedocházelo k přílišné expiraci u žádného ze vzorků, pouze u samotného kompostu se křivka jevila významnější, tedy došlo k větší respiraci. Rozdíly v hodnotách vzorků byly ve výsledcích markantní, oproti vermikompostu respiroval kompost mnohdy dvakrát více, což je velice pravděpodobně způsobeno tím, že nebyl ještě tak vyzrálý, jako VK, potřeboval by tedy delší dobu zrání. Vermikompostování zřejmě dobu zrání urychluje, hodnota navíc nikdy nepřesáhla 50%, tudíž všechny vzorky byly stále v normě, aplikovatelné v zemědělství podle zákona, jeden vzorek dokonce splňoval hranici 85%, byl tedy doporučen k další distribuci, například jako hnojivo.




Graf č. 1: Spotřeba $O_2$/1000ml a přepočet na objem vzorku

Průměrná spotřeba kyslíku byla u VK vypočítána na hodnotu 585 $O_2$/1000 ml , u K na 1066 $O_2$/1000 ml, v přepočtu na objem vzorku byla průměrná spotřeba $O_2$/1000 ml u VK 25,04 a 53,32 u K. Průměrná hodnota sušiny byla 31,7 g. Průměrná hodnota sušiny měla hodnotu 31,7 g. K průměrnému vzorku o hmotnosti 31,3 g byla doplněná destilovaná voda, tak aby celkový objem nádoby byl vždy 50 ml.

## 4.4 Ekotoxicita na semenech hořčice bílé (sinapis alba)



Obrázek č. 7: Přírůstek kořínku sinapis alba; Foto: © Zuzana Blahová

### 4.4.1 Popis

*Test je navržen pro stanovení toxického vlivu různých druhů vod (pitných, povrchových, odpadních, podzemních) a výluhů na klíčivost semen a růst kořene rostliny hořčice bílé (sinapis alba) v počátečních stadiích vývoje rostliny. Samotný test spočívá v porovnání délky kořínků narostlých po 72 hodinách kultivace semen hořčice bílé ve zkoušených roztocích oproti kořínkům kultivovaným v kontrolních roztocích. Kultivace probíhá na Petriho miskách s vloženým filtračním papírem přelitým 10 ml zkoušeného roztoku v temnu při teplotě 20˚C. Metoda je vhodná pro stanovení toxicity vůči růstu kořene rostliny hořčice bílé u vodných vzorků a vzorků vodných suspenzí. Zejména je pak vhodná pro testování toxicity vodných výluhů pevných vzorků.*

*Vodný vzorek se uvedenými čtyřmi zásobními roztoky obohacuje následujícím způsobem. Odměrná nádoba potřebného objemu se částečně naplní vodným vzorkem, poté se do ní dávkuje po 2,5 ml každého z výše uvedených zásobních roztoků na 1 litr požadovaného objemu vodného výluhu (testovaného roztoku) a na tento požadovaný objem se nádoba doplní vodným vzorkem. Vodný vzorek (testovaný roztok) je třeba před každým použitím důkladně protřepat, aby byla zaručena jeho homogenita. V případech, kdy je nevhodné vzorek ředit je možné do vzorku přímo navážit potřebná množství chemikálií a rozpustit je v něm.*

*Odběr vzorků se provádí dle PP 03.0 a norem: ČSN EN 25667-1, ČSN EN 25667-2, ČSN EN ISO 5667-3 a ČSN ISO 10381-6. Test probíhá za teploty 20±2°C v temnu.*

*Z filtračního papíru se vystřihnou kruhy podle velikosti dna použitých Petriho misek. Ty se vloží na dna Petriho misek a nasytí se vodným vzorkem s přídavkem solí nebo ředící vodou s přídavkem solí. Na navlhčené filtrační papíry se pinzetou rovnoměrně rozmístí po 30 semenech. Takto připravené Petriho misky se umístí do termostatu s teplotou 20 °C bez přístupu světla. Množství vodného vzorku s přídavkem solí či ředící vody s přídavkem solí použité pro vlhčení filtračního papíru závisí na průměru použitých Petriho misek. Pro misky o průměru 10 cm se použije 10 ml, při průměru 9 cm 8 ml a při průměru 8 cm 6,5 ml vodného vzorku či ředící vody s přídavkem solí. Pro stanovení relativní inhibice vzorku je nutné vodný vzorek do testu nasadit minimálně ve dvou opakováních a porovnat ho s kontrolním stanovením, které je vždy nutné provést souběžně, a to minimálně ve 2 opakováních. Ze stanovených relativních inhibic různých koncentrací vzorku je v případě dodržení všech podmínek možné spočítat EC50.*

*Po 72 hodinách kultivace se změří a zaznamená délka všech kořenů semen testovaných v neředěném vodném vzorku či různých koncentracích vodného vzorku i nasazených v kontrole.*

*Určení relativní inhibice H: Základním sledovaným parametrem pro hodnocení testu je průměrná délka kořene. Hodnota stanovená v neředěném vodném vzorku či testovaných koncentracích vodného vzorku se porovnává s kontrolou a vypočítává se procento inhibice (zkrácení) či stimulace (prodloužení kořene). Do aritmetického průměru se nevyklíčená semena započítávají jako semena s nulovou délkou kořene. Jestliže semeno vyklíčí, ale nevytvoří kořínek, započítává se tato hodnota do aritmetického průměru rovněž jako nulová. V testech s více paralelními stanoveními, nesmí být variabilita výsledků v jednotlivých miskách u příslušného roztoku větší než 30 %.*

*Pro úspěšné stanovení EC50 je nutné minimálně u jedné z testovaných koncentrací vzorku zaznamenat vyšší relativní inhibici než 50 % a u 5 různých koncentrací relativní inhibici jinou než 0 a 100 %. Pro stanovení EC50 se výsledky buď zpracují pomocí probitové analýzy v programu PriProbit. Program umožňuje výpočet hodnoty EC50 i jiných efektivních koncentrací spolu s určením 95 % intervalu spolehlivosti pomocí metody vyvinuté společností SAS (SAS equivalent method). Popřípadě se EC50 určí pomocí programu Microsoft Excel. Do grafu v aplikaci Microsoft Excel se proti logaritmům koncentrací vzorku vloží relativní inhibice růstu kořene hořčice při daných koncentracích a poté se proloží lineární funkcí. Z této lineární funkce se následně vypočte log (EC50), který se přepočte na EC50.*

*Nejistota stanovení relativní inhibice klíčivosti hořčice H ve vzorku byla na základě kvalifikovaného odhadu stanovena na 20 %. Nejistota stanovení EC50 ve vzorku byla stanovena na základě kvalifikovaného odhadu na 25 %.*

(SOP Dekonta)

Obrázek č. 8: Založení pokusu klíčívosti Foto: © Zuzana Blahová

### 4.4.2 Vyhodnocení

Obrázek č. 9: Délka kořínků sinapis alba; Foto: © Zuzana Blahová

K hodnocení fytotoxicity byla použita semínka sinapis alba. Podle metodiky se hodnotil přírůstek kořínků v čase. Ve výluhu nebylo upravováno pH, kvůli zjištění, zda je možné vzorek použít pro zemědělské účely v původním stavu. Pokud by se upravoval, například vápněním, došlo by k prodražení experimentu. Po 72 hodinách došlo k vyhodnocení výsledků všech vzorků (které byly vždy ve dvou opakováních), ve srovnání s kontrolou (také ve dvou opakováních). Podle hypotézy u vzorků vermikompostu došlo k většímu přírůstku (větší délka kořínků), oproti vzorkům u samotného kompostu. Konkrétně se jednalo o průměrný přírůstek kořínků u kompostu 12,6 mm a u vermikompostu 13,5 mm oproti kontrole s průměrným přírůstkem 19 mm (s nejistotou

stanovení 25 %). Z výsledků lze říci, že vliv inhibice ve výluhu vermikompostu je nízký nebo minimální a nemá tedy výrazný vliv na růst rostlin (Quaik a kol., 2012). Výsledky byly dle tabulky většinou v normě (vždy pod 50 % inhibice), EC50 byl vypočítán na průměrnou hodnotu inhibice u kompostu 34,2; tedy 65,7 % klíčivosti. U vermikompostu byla hodnota inhibice jen 28,5; neboli 71,5 % klíčivosti. Tudíž by jejich aplikace byla vhodná v zemědělství, ne však například v zahrádkářství, kde je kladen větší důraz na kvalitu výsledného produktu a také vyzrálost kompostu (nad 85 %), mohlo by totiž docházet k nežádoucí inhibici růstu, navíc pravidla pro obsah nežádoucích látek mají také přísnější. Pouze dvě varianty z vermikompostu s fází předkompostování se přiblížily hodnotám dostatečné zralosti: u A-2-a inhibice jen 18,5; což odpovídá 81,5 % klíčivosti; a další A-2-b inhibice jen 26; což odpovídá 74 % klíčivosti, vše s nejistotou stanovení 20 %.

| | SL | | A2a | | A2b | | A2c | | B2a | | B2b | | B2c | | PR a | | PR b | | PR c | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 30 | 2,9 | 2,9 | 2,3 | 2,7 | 2,4 | 2,6 | 2,4 | 3 | 1,3 | 2,7 | 2,5 | 2,2 | 2,8 | 2,8 | 2,3 | 1,1 | 3,2 | 1,7 | 1,8 |
| 2 | 22 | 2,5 | 3,4 | 2,8 | 1,7 | 1,7 | 2,1 | 2,8 | 2 | 1,2 | 3,4 | 1,7 | 2,1 | 2,5 | 2 | 1,7 | 1,3 | 2,7 | 1,1 | 1,9 |
| 3 | 33 | 3,1 | 2,4 | 2,3 | 1,7 | 1,9 | 2,3 | 2,3 | 2,1 | 1,9 | 2,6 | 1,4 | 1,5 | 2,4 | 1,6 | 2 | 2,3 | 2,3 | 1,4 | 1,3 |
| 4 | 26 | 3 | 3,1 | 2,1 | 1,5 | 3,2 | 2,4 | 2 | 1,1 | 3,4 | 2,2 | 1,3 | 1,3 | 1,4 | 2,3 | 1,8 | 2 | 1,9 | 1,1 | 2 |
| 5 | 32 | 3,2 | 2,6 | 2,4 | 2 | 2,1 | 2,6 | 1,7 | 1,7 | 2,5 | 1,7 | 1,5 | 1,2 | 2,6 | 2,8 | 2,8 | 2,2 | 1,7 | 1 | 1,8 |
| 6 | 28 | 3,3 | 2,4 | 2,2 | 1,3 | 2 | 1,8 | 2,4 | 1,9 | 1,7 | 1,2 | 1,6 | 1,2 | 1,5 | 1,8 | 2,7 | 1,9 | 1,7 | 1,8 | 1,4 |
| 7 | 20 | 2,6 | 2,1 | 1,8 | 1,3 | 1,9 | 2,5 | 2,3 | 1,5 | 1,4 | 1,4 | 1,7 | 1,1 | 2,7 | 2,9 | 2,5 | 1,8 | 1,5 | 1 | 1 |
| 8 | 29 | 2,9 | 2,4 | 1,9 | 1 | 1,8 | 2,3 | 1,6 | 1,4 | 2,1 | 1,7 | 1,3 | 1,3 | 1,7 | 1,1 | 1,5 | 1,7 | 1,4 | 2 | 1,3 |
| 9 | 26 | 2,3 | 2,5 | 1,7 | 1 | 2,1 | 2,2 | 1,8 | 1,8 | 1,7 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,2 | 1,7 | 1,4 | 1,8 | 1,6 | 1,7 | 1,1 |
| 10 | 20 | 2,1 | 2,4 | 1,4 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,3 | 1,1 | 2,5 | 1,2 | 1,6 | 1 | 1,8 | 1,2 | 1,6 | 1,5 | 1,7 | 1,2 | 2 |
| 11 | 30 | 2,4 | 2,3 | 1,5 | 1,3 | 1,4 | 1,6 | 1,5 | 2,2 | 1,9 | 1 | 1,3 | 1 | 1,5 | 1,6 | 1,3 | 1,4 | 1,1 | 1,6 | 1,6 |
| 12 | 24 | 2,5 | 1,4 | 1 | 1 | 1,8 | 1,2 | 1,1 | 1,8 | 2 | 1 | 1,1 | 1 | 1,4 | 1,2 | 1,4 | 1,3 | 1 | 1,9 | 1,1 |
| 13 | 27 | 2,5 | 1,9 | 1,3 | 1,1 | 2 | 1,3 | 1,2 | 2 | 1,6 | 1 | 1,8 | 1 | 1,3 | 1,4 | 1,5 | 2 | 1 | 2,2 | 1,4 |
| 14 | 25 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1 | 1,9 | 1 | 2 | 1,4 | 1,9 | 1 | 1,3 | 1,2 | 1,9 | 1,3 | 1,2 | 2,2 | 1 | 1,1 | 1 |
| 15 | 22 | 2,3 | 1,4 | 1 | 1 | 1,2 | 1,5 | 1,2 | 1 | 1,8 | 1 | 1,7 | 1 | 1,6 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,7 | 1 |
| 16 | 23 | 2,8 | 1,6 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1,9 | 1 | 1,7 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | 18 | 2 | 1,2 | 1,2 | 1 | 1 | 1,5 | 1 | 1 | 1,7 | 1 | 1,5 | 1 | 1,8 | 1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | 24 | 2,4 | 1,2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,6 | 1 | 1,4 | 1 | 1,7 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | 12 | 2,1 | 1,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,4 | 1 | 1,2 | 1 | 1,1 | 1 | 1,1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | 11 | 1,4 | 1,5 | 1 | 1 | 1,1 | 1 | 1 | 1 | 1,7 | 1 | 1,3 | 1 | 2,5 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | 14 | 1,6 | 1,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,1 | 1 | 1,1 | 1 | 1,4 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | 10 | 1 | 1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | 10 | 1 | 1 | 1,3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 25 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 26 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | 10 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 28 | 10 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 29 | 0 | 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 30 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 1 |

Tabulka č. 4: Přírůstek kořínků u sinapis alba po 72 hodinách

## 4.5 Celkové vyhodnocení

Hlavním cílem pokusu bylo zjistit, zda se výsledný VK a K jeví vhodným pro další využití v zemědělství, respektive zda neobsahuje množství mikropolutantů nad rámec zákona, k tomu byly provedeny analýzy podle norem ČSN 46 5735 a ČSN 46 5736, v certifikované laboratoři.

| Znak jakosti | Hodnota |
|---|---|
| Vlhkost v % | min. 40 a max. 65 |
| Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v % | min. 25 |
| Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek v % | min. 0,6 |
| Poměr C:N | max. 30 |
| Hodnota pH | od 6,0 do 8,5 |

Tabulka č. 5: Znaky jakosti pro použití v zemědělství, ČSN 46 5735 a ČSN 46 5736

Jedním z nejdůležitějších faktorů ovlivňující vermikompostování je hodnota pH (Hanč a Plíva, 2013). Dle normy ČSN 46 5736 může variovat mezi hodnotou 6,0-9,0 (viz tabulka). Z tabulky hodnot mnou odebraných vzorků je patrné, že se jednalo o rozmezí 6,15-7,14; s nejistotou stanovení ± 0,05, kdy nejnižší hodnota byla zjištěna u kompostu se štěpkou a kaly (varianta Prachatice c). Zde byly další naměřené hodnoty téměř totožné (Prachatice a – 6,16 a Prachatice b – 6,19), což potvrzuje stejnorodost vzorku. U vermikompostu se slámou a kaly hodnoty kolísaly mezi pH 7,14; 6,91; a 6,62; kde zvýšené pH může být díky předkompostování, či odebráním vzorku s menším obsahem kalu. U vermikompostu se štěpkou a kaly byly hodnoty pH 6,52; 6,52; a 6,25. Zde se tedy potvrdilo, že vermikompost zlepšuje výsledné vlastnosti čistírenského kalu lépe, než kompost, přestože u K dochází v procesu k vyšším teplotám. Výsledné hodnoty byly podobné, jak u Hanče a Plívy (2013), kdy během vermikompostování směsi anaerobně stabilizovaného čistírenského kalu se zahradním bioodpadem došlo během procesu ke snížení pH na konečných 6,9 až 7,3. . Pokud bychom se zabývali jen hodnotami vyjma poměru C:N, platilo by, že: vyrobený vermikompost může být po oddělení části hromady „VERMI“ s kalifornskými žížalami přímo expedován jako volně ložený k aplikaci na zemědělsky obdělávanou půdu (Hanč a kol., 2018).

| Parametr | Jednotky | Hrbov - A-2-a | Hrbov - A-2-b | Hrbov - A-2-c | Hrbov - B-2-a | Hrbov - B-2-b | Hrbov - B-2-c | Prachatice - a | Prachatice - b | Prachatice - c |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| sušina | hmot. % | 35,0 | 32,0 | 31,5 | 30,3 | 29,2 | 31,5 | 38,7 | 37,3 | 45,3 |
| pH | - | 7,14 | 6,91 | 6,62 | 6,52 | 6,52 | 6,25 | 6,16 | 6,19 | 6,15 |
| spalitelné látky | hmot. % | 66,6 | 63,1 | 66,7 | 61,7 | 65,1 | 66,4 | 60,2 | 63,4 | 43,9 |
| N celkový | mg/kg suš. | 4 270 | 4 380 | 4 090 | 4 360 | 4 500 | 4 180 | 4 520 | 4 310 | 3 440 |
| poměr C:N | - | 77,9 | 72,0 | 81,5 | 70,8 | 72,3 | 79,4 | 66,6 | 73,5 | 63,8 |
| nerozložitelné příměsi | hmot. % | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 | <2 |
| P2O5=oxid fosforečný | mg/kg suš. | 53 800 | 49 000 | 58 200 | 58 900 | 59 300 | 61 900 | 64 600 | 62 300 | 45 400 |
| K2O=oxid draselný | mg/kg suš. | 10 420 | 9 410 | 9 730 | 10 520 | 11 130 | 10 110 | 11 500 | 12 010 | 8 850 |

Tabulka č. 6: Hodnoty odebraných vzorků získané z certifikované laboratoře

Grafické vyhodnocení výsledků se nachází v příloze č. 3-6

Nejistota ve stanovení dle metodiky certifikované laboratoře u sušiny byla ± 10%, u pH ± 0,05; u spalitelných látek ± 20%; celkový dusík ± 10%; u nerozložitelných příměsí ± 15%; u oxidu fosforečného ± 30%; a u oxidu draselného ± 15%.

### 4.5.1 Jednofaktorová ANOVA

Anova: jeden faktor

Faktor

| *Výběr* | *Počet* | *Součet* | *Průměr* | *Rozptyl* |
|---|---|---|---|---|
| Hrbov - A-2-a | 7 | 68676,64 | 9810,9485714286 | 391246349,48 |
| Hrbov - A-2-b | 7 | 62964,01 | 8994,8585714286 | 323731728,72 |
| Hrbov - A-2-c | 7 | 72206,32 | 10315,188571429 | 458971886,73 |
| Hrbov - B-2-a | 7 | 73949,32 | 10564,188571429 | 469614203,15 |
| Hrbov - B-2-b | 7 | 75103,12 | 10729,017142857 | 475807433,08 |
| Hrbov - B-2-c | 7 | 76703,55 | 10957,65 | 518490880 |
| Prachatice - a | 7 | 80791,66 | 11541,665714286 | 565563277,17 |
| Prachatice - b | 7 | 78800,39 | 11257,198571429 | 526174235,61 |
| Prachatice - c | 7 | 57849,15 | 8264,1642857143 | 278874884,7 |

ANOVA

| *Zdroj variability* | *SS=suma čtverců* | *Rozdíl* | *MS* | *F* | *Hodnota P* | *F krit* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezi výběry | 64567517,2407684 | 8 | 8070939,6550961 | 0,0181212204 | 0,9999986679 | 2,1152232787 |
| Všechny výběry | 24050849271,7865 | 54 | 445386097,62568 | | | |
| Celkem | 24115416789,0273 | 62 | | | | |

Tabulka č. 7: Analýza rozptylu dat měřených parametrů

AT4

Anova: jeden faktor

Faktor

| *Výběr* | *Počet* | *Součet* | *Průměr* | *Rozptyl* |
|---|---|---|---|---|
| A2a | 6 | 689,6283099047 | 114,9380516508 | 54296,3887611803 |
| A2b | 6 | 634,6133117753 | 105,7688852959 | 44758,4528711971 |
| A2c | 6 | 821,271835391 | 136,8786392318 | 82877,9194063654 |
| B2a | 6 | 794,2463113959 | 132,3743852327 | 69840,1406781025 |
| B2b | 6 | 617,5999619204 | 102,9333269867 | 39933,2204644831 |
| B2c | 6 | 582,9519114651 | 97,1586519109 | 35869,4606828197 |
| Prachatice a | 6 | 1235,3384214745 | 205,8897369124 | 192182,444528325 |
| Prachatice b | 6 | 1176,5818286098 | 196,096971435 | 173651,016696826 |
| Prachatice c | 6 | 1297,3041680434 | 216,2173613406 | 211416,53434526 |
| Prachatice c´ | 6 | 1091,0116676368 | 181,8352779395 | 147833,211962239 |

ANOVA

| *Zdroj variability* | *SS=suma čtverců* | *Stupně volnosti (Rozdíl)* | *MS* | *F* | *Hodnota P* | *F krit* |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Mezi výběry | 115878,257911734 | 9 | 12875,36199019 | 0,122312777 | 0,9989584 | 2,073351 |
| Všechny výběry | 5263293,95198399 | 50 | 105265,8790397 | | | |
| | | | | | | |
| Celkem | 5379172,20989573 | 59 | | | | |

Tabulka č. 8: Analýza rozptylu dat AT4

## 4.6 Diskuze

Žížaly svou tělesnou stavbou i uzpůsobením sice pomáhají snižovat toxicitu některých jedů, bohužel však dochází k hromadění některých zdraví škodlivých látek v jejich těle, které nedokážou přirozeně odbourat. Dobře vycházely například experimenty s vermikompostováním v pásech, tvrdí Hanč a Plíva, (2013). I přes veškeré snahy a jistě velký potenciál se pomoc žížal nejeví být dostatečná v případě likvidace PAU nebo jiných nežádoucích látek například v kalech. Experiment Košnáře a kol. (2019), který trval dva roky, ukázal, že za tu dobu se sice postupně podařilo rapidně snížit obsahy různých látek, hlavně naftalenu, chrysenu a benzapyrenu, právě díky dlouhodobému časovému horizontu a stejně se nepodařilo obsah těchto látek zcela eliminovat. Z toho vyplývá, že zkvalitňování půdy pomocí žížal má zřejmý a nezanedbatelný význam, avšak při manipulaci s průmyslovými kaly a odstraňování těžkých kovů se musí metoda zkombinovat s jinou, nebo vhodně upravit.

V jiných pokusech byla také zkoumána hodnota solí. Tento ukazatel by pro příště mohl být také sledován. Výluhy z vermikompostu vykazují vyšší hodnotu měrné elektrické vodivosti, která je 1,66 ± 0,02 DS M-1 (Quaik a kol., 2012). Ta může být způsobena vyšším obsahem solí ve VK. Jak zmiňují Huang a kol. (2018), umírající žížaly mohou způsobovat náhlé změny pH a elektrické vodivosti, hodnoty pH tedy nemusí být vždy signifikantní.

| Proces | Reference | Definice |
|---|---|---|
| Reverzní osmóza | (Besha a kol., 2017) | mohou zajistit efektivnější a lepší způsob odstraňování znečištění mikropolutanty |
| Membránový bioreaktor | (Besha a kol., 2017) | |
| Pokročilé oxidační procesy | (Burešová a kol., 2016) | Technologie AOP jsou vhodné na odstranění organických i anorganických polutantů z odpadních vod |
| | (Luo a kol., 2014, Besha a kol., 2017) | mají dobrou účinnost |
| | (Trapido a kol., 2014) | Pokročilé metody oxidace jsou nejvhodnější technologie, neboť jejich hlavní výhodou je rapidní chemická oxidace kontaminantů |
| Nanofiltrace | (Moons a Van Den Bruggen, 2006) | Potencionálně nejlepší technologií při odstraňování mikropolutantů se zdá být nanofiltrace. Schopnost odstraňování těchto částic nanofiltrací závisí na molekulární váze a hydrofobicitě těchto sloučenin |
| Koagulace, srážení, chlorace a adsorpce | (Moon-Kyung a Kyung-Duk, 2016) | Konvenční procesy ČOV, jako je koagulace, srážení, chlorace a adsorpce, mohou odstranit i stopová množství mikropolutantů |

Tabulka č. 9: Technologie vhodné k odstraňování polutantů

### 4.6.1 Vliv žížal na rozklad nežádoucích látek z kalů

Hřebečková a kol. (2019), říkají, že: „ve srovnání s původním koňským hnojem vermikompost snížil alifatické, proteinové a polysacharidové huminové složky, zintenzivnilo se množství zápachu a zvýšil počet funkčních skupin obsahujících kyslík. Nejpoužívanější huminová frakce rychle zmizela během ranných fází vermikompostování. Výsledky spektroskopie a termogravimetrických analýz naznačují, že stabilní a zralý vermikompost byl vyroben po 6-9 měsících vermikompostování, byla u něj zároveň indikována vyzrálost na biologické bázi.“

Každý týden bylo přidáváno 5 cm vrstvy zralého koňského hnoje, aby se zabránilo vysoké teplotě nad 35 °C, která je smrtelná pro žížaly (Hřebečková a kol., 2019).

V jiném pokusu byly žížaly eisenia fetida vloženy do půdy obohacené Sb a Cd a jejich směsí po dobu 30 dnů. Výsledky ukázaly, že Sb a Cd při vysokých úrovních aplikace inhibovaly aktivity ureázy, neutrální fosfatázy a proteázy výrazně, ale žížaly by mohly podporovat aktivity ureázy a neutrální fosfatázy až o 17,75 % - 121,91 % a 1,46 % - 118,97 %, resp. Žížaly však inhibovaly katalázu a neměly žádný účinek na proteázu. Vážený geometrický průměr naznačoval, že žížaly přispívaly k vyšší funkci biochemie půdy (Xu a kol., 2021).

Cílem první části experimentu Jaskulak a kol. (2020), bylo porovnat životní rysy a akumulaci kadmia v celém těle u dospělých žížal z geneticky definovaných Ea, Ef a jejich hybridů (Ha) vystavených po dobu čtyř týdnů působení půdy buď neznečištěné

(kontrolní) nebo kontaminované kadmiem, vedoucí ke střednímu (M) nebo vysokému (H) znečištění půdy (M = 425 a H = 835 mg kg-1 hmotnosti suché půdy). Taková expozice narušila produkci kokonů, ale neovlivnila životaschopnost žížal i přes masivní bioakumulaci Cd v celých tělech žížal dosahujících ve skupinách M a H 316–454, 203–338, 114–253 a 377–309 mg kg-1 hmotnosti suchého těla Ea, Ef1, Ef2 a Ha. U hybridů překvapivě dosáhly maximálních akumulačních množství.

Druhá část experimentu Jaskulak a kol. (2020), měla za cíl zkoumat obranné mechanismy související s kadmiem na transkriptomické úrovni v coelomocytech neinvazivně extrudovaných z coelomových dutin nových násad žížal Ea, Ef, Ha a Hf vystavených Cd v mikroklimatu po dobu 0 dnů, 2 dny a 7 dní (M = 425 mg kg-1).

Stručně řečeno, kapacita bioakumulačních a detoxikačních mechanismů kadmia je u mezidruhových hybridů účinnější než u druhů Ea a Ef. (Jaskulak a kol., 2020)

„Prvních dvacet dní procesu bylo adaptačním obdobím pro žížaly a jeho trend byl po této fázi absolutně vzestupný až do 75. dne procesu. Tento časový interval lze považovat za hydrolytickou fázi. Poté u všech ošetření, kromě prvního, zahájil klesající trend tohoto parametru fázi zrání procesu. Jeho zesílení může být způsobeno rozkladem snadno dostupných, biologicky odbouratelných organických látek přítomnými mikroorganismy v substrátu, nebo v gastrointestinálních systémech žížal. Množství tohoto poměru absolutně rostlo při prvním vzorkování a dále během celého procesu (Alidadi a kol., 2016).

Během vermikompostování mohou být organické odpady recyklovány do vysoce hodnotných produktů zprostředkovaných žížalami: skrz jejich trávicí systém, díky jejich přeskupování půdy, výměšky a vylučováním hlenu. Doposud však bylo provedeno pouze několik studií o roli žížalího hlenu ve vermikompostovacím systému ve srovnání s účinky ostatních činností. Následující studie Huang a Xia (2017), proto zkoumala potenciální roli hlenu žížal při rozkladu a humifikaci organických odpadů. Za tímto účelem byl hlen eisenia fetida extrahován a naočkován do tří vermikompostovacích substrátů s příměsí kravského hnoje, ovocného a zeleninového odpadu a čistírenského kalu. Výsledky získané po dvacetidenním experimentu ukázaly, že hlen může urychlit rychlost mineralizace a zvlhčování organických složek.

Rozpuštěný uhlík vykázal 9,8 % - 37,5 % nárůst u ošetření obsahujících žížalí hlen, vyšší než u substrátů bez hlenu. Kromě toho hlen významně stimuloval mikrobiální aktivitu a hojnost bakterií, což ukazuje nejvyšší nárůst v experimentu se zbytky ovocného

a zeleninového odpadu. Dále pozitivně stimuloval růst proteinů, avšak během rozkladu negativně ovlivňoval jejich stabilitu. Tento výsledek naznačuje, že žížalí hlen významně zrychlil rozklad a humifikaci vermikompostovaných materiálů a mohl by dokonce podpořit mikrobiální aktivitu, růst a zvýšit rozmanitost komunity ve vermikompostovacích systémech (Huang a Xia, 2017).

Sladový kal je odpad, který by mohl být po řádném zpracování použit jako dobrý půdní kondicionér. V následující studii byla ověřena proveditelnost vermikompostování matolinu a jeho směsí se slámovými peletami na základě fyzikálně-chemických a biologických vlastností. Byl použit vermikompostovací systém s kontinuálním krmením žížal eisenia andrei (Hanč a kol., 2020).

Největší počet a biomasa žížal byla nalezena ve variantě s 25 % kalem ze sladovny + 75 % slámy (průměrně ze všech vrstev: 320 žížal / kg, respektive 35 g / kg), následovanou variantou s 50 % kalu ze sladovny + 50 % pelety ze slámy (v průměru ze všech vrstev: 47 žížal / kg, respektive 13 g / kg), což naznačuje, že pro úspěšné vermikompostování sladového kalu je zapotřebí minimálně 50 % (objemových) slámy. Většina žížal žila v nejmladší horní vrstvě (42 % a 52 % z celkového počtu a žížaly biomasy). Naopak nejstarší spodní vrstvy, po 180 dnech vermikompostování, byly charakterizovány vysokou zralostí, na což poukazuje menší obsah mikroorganismů a aktivity enzymů. Tyto vermikomposty měly příznivé agrochemické vlastnosti (Hanč a kol., 2020).

V článku, zabývajícím se nanofiltrací hormonů a pesticidů z různých vodních zdrojů, autoři tvrdí, že nanofiltrace je propagována jako velmi efektivní metoda pro odstraňování mikropolutantů z pitné vody. Velmi úspěšné bylo odstraňování hormonů a pesticidů, kdy hodnoty dosahovaly i kolem 90%. Problém byl převážně u Pentachlorphenolu a Sodia, díky jejich odlišné vazebné struktuře. Při pokusu jako první provedli nanofiltraci, aby se zbavili nežádoucích větších těles, poté přešli na filtraci nanočástic. Zmiňují, že nejčastěji nalezenými xenobiotiky jsou: hormony (estron, 17β-estradiol, 17α-ethinylestradiol, progesteron, a estriol), pesticidy, polycyklické aromatické uhlovodíky, léky a odpad z produktů osobní péče (Sanches et al., 2012).

V současné době je stále obtížné snížit vysoký obsah antibiotik a genů, které jsou vůči nim rezistentní za pomoci kalového vermikompostu. Aby se snížilo environmentální riziko vermikompostu jako biohnojiva, zkoumala tato studie proveditelnost přidáním biocharu ke snížení hladiny antibiotik a genů, rezistentním vůči antbiotikům, během

vermikompostování odvodněného kalu. K dosažení tohoto cíle bylo do kalu přidáno 1,25 % respektive 5 % biocharu kukuřičného klasu a 5% rýžových slupek, které byly poté po dobu 60 dnů vermikompostovány žížalami eisenia fetida. Kal smíchaný s biocharem kukuřičného klasu vykazoval zvýšený rozklad a zvlhčování organické hmoty. Vyšší koncentrace biocharu podporovala jak počet, tak rozmanitost bakterií. Úroveň antibiotik se významně snížila v důsledku přidání biocharu a tetracyklin byl zcela odstraněn (Kui a kol., 2020).

Detoxikace odpadních vod a kalů ze zpracování hedvábí (SPES), prostřednictvím kompostovacích přístupů je nový nápad. Tato studie zkoumala potenciál biodegradace dvou epigeických žížal (eisenia fetida a eudrilus eugeniae) v různých směsích SPES a kravského hnoje ve srovnání s kompostováním. Dostupnost N, P, S, Fe a Mn se při vermikompostování významně zvýšila ve srovnání s aerobním kompostováním. Alkalické pH surovin bylo při vermikompostování uspokojivě neutralizováno. Dostupnost Ca-K a dynamika výměny kationů se díky vermikompostování snadno stabilizovala, říkají (Paul a kol., 2018).

Je zajímavé, že eisenia fetida vykazovala větší adaptabilitu vůči toxickým materiálům SPES než eudrilus eugeniae, což bylo doprovázeno 60–70% snížením hladin Cd, Cr, Zn a Pb v tělesném systému eisenia fetida, zatímco schopnost eudrilus eugeniae akumulovat kovy byla pozoruhodná. Kromě toho oba druhy stejně přispěly ke zvýšení prospěšných (N-fixujících a P-solubilizujících) mikroorganismů v surovinách. Celkově se projevilo obohacení živinami a čistící účinnost vermitechnologie (Paul a kol., 2018).

Je zapotřebí dalšího výzkumu koncentrací toxikantů v životním prostředí a účinků nedostatečně zkoumaných progestinů, způsobů působení a aktivity směsí progestinů a jiných steroidů, aby bylo možné plně posoudit jejich environmentální rizika (Fent, 2015). Přístupy a použité metody se různí, vliv žížal na kvalitu výsledného produktu je však nezanedbatelný.

# 5. Závěr

Celkově jsou žížaly vhodným druhem k nápravě a zlepšení ekologické funkce půdy znečištěné těžkými kovy. Specifický mechanismus a kauzální vztah, jak žížaly kontrolují aktivitu enzymů a bakteriální komunitu, ještě zbývá prozkoumat

(Xu a kol., 2021). Bylo by adekvátní, aby byl do vermikompostu vpravován odpad, který je již alespoň částečně vhodný pro aplikaci v zemědělství. Žížaly zlepší jeho vlastnosti, případně mohou odstranit některé nežádoucí látky, například endokrinní disruptory. Možným závažnějším problémem, který u tohoto způsobu ošetření může nastat, je bioakumulace nežádoucích látek v tělech žížal.

Z výzkumu se zdá, že metodu vermikompostování je vhodnější použít pro úpravu čistírenských kalů ve větších objemech, kdy by měla dosáhnout lepších výsledků. Respektive pro domácí použití, kdy dochází k rozkladu organických zbytků, ji lze bez problému použít, avšak v případě vermikompostování čistírenských kalů se jeví efektivnější zaměření na větší objemy, což je také ekonomičtější.

Zvýšená inhibice nemusí znamenat nezralost kompostu, avšak tento vermikompost byl ještě nezralý, zde se tedy vliv projevil. Fáze zrání probíhají s největší pravděpodobností kvůli úbytku snadno biologicky rozložitelných organických látek (Alidadi a kol., 2016). Inhibice může být způsobena vlivem mikropolutantů, jejich objemy sice již při vstupní aplikaci byly v normě, stále však nedošlo k jejich úplné redukci. Pro příští pokusy by bylo dobré se zabývat fytotoxicitou s již upraveným pH, aby se vyloučil vliv pH na přírůst kořínků. Zvýšení pH by se dalo docílit například povápněním půdy, avšak taková aplikace by pokus prodražila, navíc je nutné vědět, zda je výsledný produkt možno aplikovat v zemědělství bez úprav.

Dále je potřeba do VK nebo K vpravit i jiné materiály, jako je například kejda, aby se snížil poměr C:N na požadovaných 1:25-30. Tímto směrem by se měly ubírat budoucí výzkumy.

Kompostování a použití vermikompostéru, potažmo vermireaktoru v odpadovém hospodářství se jeví jako velmi přínosné technologie pro snižování výskytu nežádoucích toxikantů ve výsledném produktu, do budoucna je zde však nutnost dalších výzkumů. Pokus klíčivostí hořčice, metoda AT4 i výsledky z certifikované výzkumné laboratoře dokázaly, že tento výstup z vermikompostování čistírenského kalu se štěpkou i se slámou se zdá vhodný pro další použití v zemědělství, například aplikací na pole. Výsledné hodnoty se zlepšily, u nepředkompostovaného kalu by se kvůli mimořádně dobrým výstupním hodnotám dalo uvažovat i o další distribuci. Výstupy jen z kompostovaného kalu se štěpkou naznačují, že jejich aplikace v zemědělství je také možná, ovšem hodnoty poněkud zaostávají za VK, jak bylo zjištěno metodou AT4 i ekotoxicitou.

Dostupnost fosforu se díky vermikompostu někdy podstatně zvýší (Sinha a kol., 2010 b).

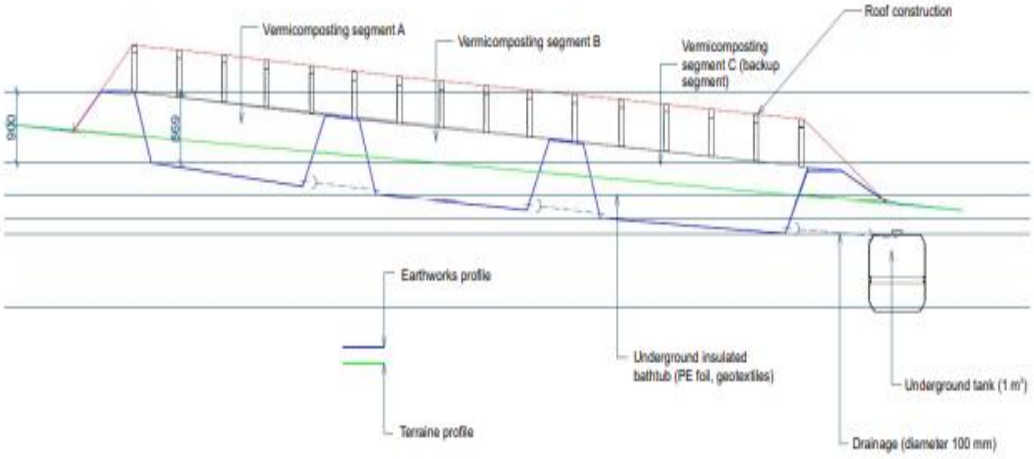
Z experimentu vyplývá, že vermikompost mnohonásobně zlepšuje kvalitu výstupní zeminy, avšak většinou z ní není možné takto odstranit všechny nežádoucí látky. Pokud by zemina díky toxicitě byla ze zákona neaplikovatelná na pole, ani po ročním vermikompostování by pravděpodobně nebyla tato možnost dostupná. Pro odstraňování endokrinních disruptorů se VK může jevit jako velmi dobré řešení v poměru cena/výkon. Další možnosti jsou dosud nevyjasněné, například funkce žížalích výměšků na rozklad mikropolutantů ještě není dostatečně prozkoumaná.

Přínosem práce může být zjištění, že tento zkoumaný vermikompost i kompost by bylo možné použít pro přímou aplikaci na pole, jelikož prošel fází hygienizace. Došlo tedy ke zlepšení kvality vstupního produktu i jeho hygienizaci, příští výzkum by bylo vhodné směřovat k vyrovnání poměru C:N, což je jediný ukazatel, který dle normy ISO ČSN 426 735 brání použití výsledného produktu v zemědělství. Existují však také vyjímky, proto je jeho aplikace na půdu, k tomu určenou, stále možná.

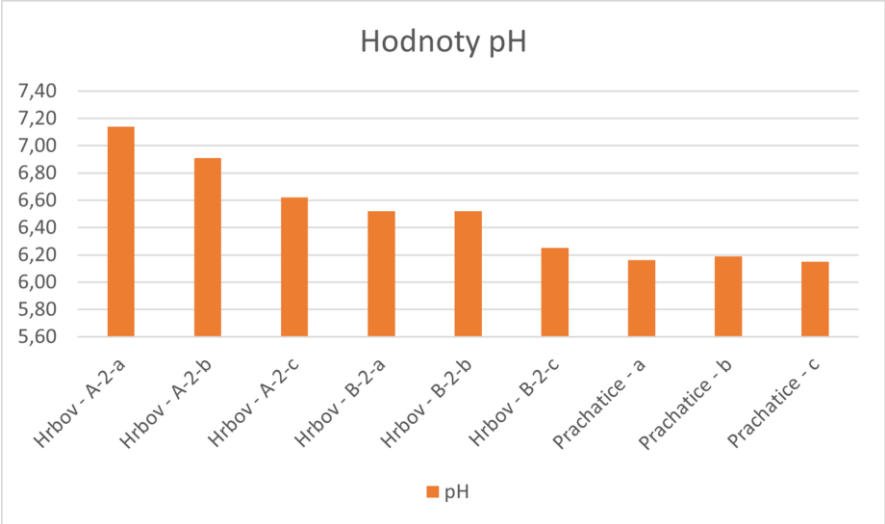
# Přílohy

## Seznam příloh:

Příloha č. 1 Design vermikompostérů na experimentální ploše




Příloha č. 2 Hodnoty pH

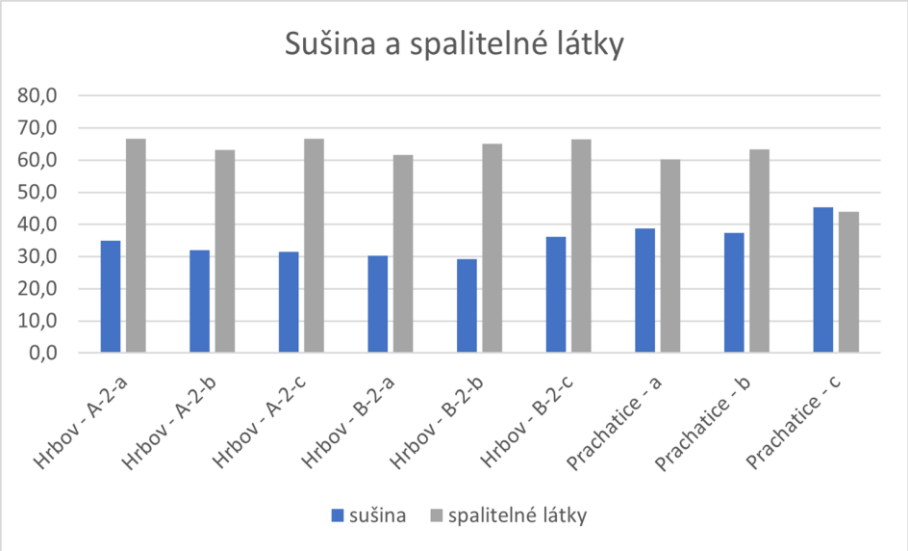


Příloha č. 3: Tabulkové zhodnocení metod dle zahraniční literatury

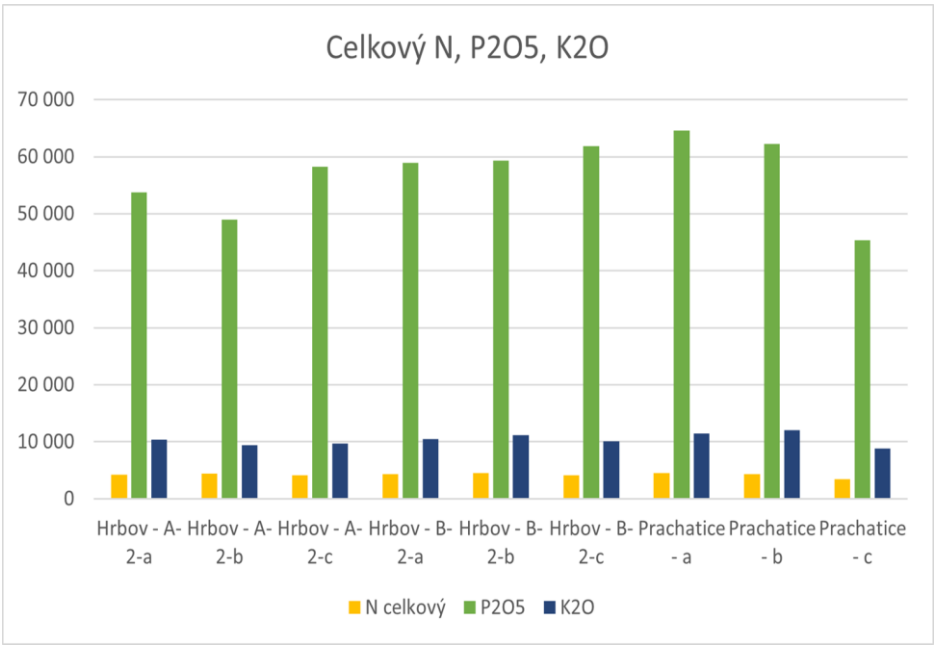
| Reference | Vstupní surovina | Cílový polutant | Počet; biomasa jedinců | Výsledky | C:N |
|---|---|---|---|---|---|
| Hanč a kol. 2020 | vermikompost; 100 % sladovnický mlat | mlat | 320/kg; 35 g/kg | nejvíce jedinců ve nejsvrchnější vrstvě, produkt vhodný pro aplikaci na pole | - |
| | vermikompost; 75 % sladovnický mlat; 25 % slámové pelety | | | | |
| | vermikompost; 50 % sladovnický mlat; 50 % slámové pelety | | | | |
| | vermikompost; 25 % sladovnický mlat; 75 % slámové pelety | | | | |
| | 50 % sladovnický mlat; 50 % slámové pelety - kontrola | | 0 | | |
| Huang a Xia 2017 | vermikompost | - | 600 a z toho 1000 ml hlenu | zvýšená mikrobiální aktivita, mineralizace a humifikace díky obsahu hlenu | - |
| | žížalí hlen | | | | |
| | dionizovaná voda | | | | |
| | bioodpad (ovoce, zelenina) | | | | |
| | vysušený kal | | | | |
| | kravský hnůj | | | | |
| Zhao a kol. 2018 | vermikompost | čistírenský kal | - | produkt vhodný pro aplikaci na pole, zvýšená mikrobiální aktivita | nejnižší |
| | kravský hnůj | | | | |
| | piliny | | | | |
| | destilovaná voda | | | | |
| | kompost - kontrola | | | | nejvyšší |
| Lukashe a kol. 2018 | vermikompost, popílek z odpadního papíru | - | 25 g/kg (eisenia fetida;pseodomonas florescens 50 ml/kg) | zvýšená mikrobiální aktivita a zvýšená biodegradace a zralost produktu; produkt vhodný pro aplikaci na pole | |
| | vermikompost, popílek z odpadního papíru | | 0 | | 18,2 |
| | vermikompost, popílek z odpadního papíru | | e.fetida | | 12,2 |
| | vermikompost, popílek z odpadního papíru | | e fetida, p. florescens | | 11,3 |
| | vermikompost, popílek z odpadního papíru | | p. florescens | | 21,3 |
| Zhong a kol., 2017 | vermifiltr, čistírenský kal, shnilá jablka | Cu, Zn, kal, | 32g/l->42g/l | rychlejší degradace organické hmoty; imobilizace Cu, Zn (akumulace v těle žížal) | 12,5 -> 17,6 |
| | vermifiltr, domácí splašky,shnilá jablka | | | | |
| | vermifiltr, odpadní voda z domácnosti, shnilá jablka | | | | |
| | vermifiltr, odpadní voda z chovu prasat, shnilá jablka | | | | |
| | biofiltr, čistírenský kal | | | | |
| Hřebečková a kol., 2019 | vermikompost | - | 50/l | nejvyšší počet jedinců i mikrobiální aktivita byla v nejsvrchnějších vrstvách | 21:1 - 30:1 |
| | vermikompost, bioodpad z domácnosti | | - | pH 5,4 - nejnižší; nejvyšší enzymatická aktivita; nejvhodnější pro aplikaci na pole | 26,7 |
| | vermikompost, sladovnický mlat se zemědělským odpadem | | | pH 8,3 - nejvyšší | 6 |
| | vermikompost, hroznové mláto | | 209/kg; 32,65 g/kg | pH 7,6; nejvyšší procento hub; nejvíce žížal a jejich biomasa | 21,4 |

| | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| Jaskulak a kol., 2020 | vermikompost, hlína | Cd | 54 (eisenia andrei; eisenia fetida; hybridi) | bioakumulační kapacita, ochranné a detoxikační mechnismy u hybridů účinnější než u dospělců | - |
| | vermikompost, hlína | | | | |
| | vermikompost, hlína, Cd | | | | |
| | | | | | |
| Vymazal a kol., 2015 | 3 uměle vytvořené mokřady s horizontálním podpovrchovým tokem | estrogen (estron, estriol, 17beta-estradiol, 17alfa etinylestradiol, progesteron, testosteron) | - | všechny mokřady - vysoká míra odstranění organických látek a usazenin (efektivní odstraňování polutantů) | - |
| | estron | estron | původní hodnota 28,1 ng/l - 56,2 ng/l -> 1 ng/l | | |
| | estriol | estriol | vstupní hodnota 100 ng/l -> 10 ng/l | vyšší míra odstranění v zimě | |
| | 17beta-estradiol | 17beta-estradiol | vstupní hodnota 50 ng/l -> 2 ng/l | | |
| | 17alfa-etinylestradiol | 17alfa-etinylestradiol | vstupní hodnota 10 - 400 ng/l -> 0 ng/l | vyšší míra odstranění v létě | |
| | progesteron | progesteron | vstupní hodnota 4,4 - 20,3 ng/l | | |
| | testosteron | testosteron | vstupní hodnota 2,8 - 10,5 ng/l | | |
| | odpadní voda z chovu prasat | - | | nejvyšší koncentrace mikropolutantů | |
| Belhaj a kol., 2014 | odpadní voda a aktivovaný kal z městské ČOV | estron, 17beta-etinylestradiol, estriol, 17alfa-etinylestradiol | - | větší aktivita mikroorgnismů = vysoká míra odstranění polutantů - min. 80 % (v létě), lepší odstranění mikropolutantů bylo dosaženo díky bioreaktorům | - |
| | bioreaktor | estron | | míra odstranění 80 %; 145 ng/l (maximum v zimním období) | |
| | TN | 17beta-etinylestradiol | | 19 ng/l (maximum v zimním období) | |
| | COD | estriol | | 25 ng/l (maximum v zimním období) | |
| | TP | 17alfa-etinylestradiol | | míra odstranění 19 - 100 %; 36,7 ng/l (maximum v zimním období) | |

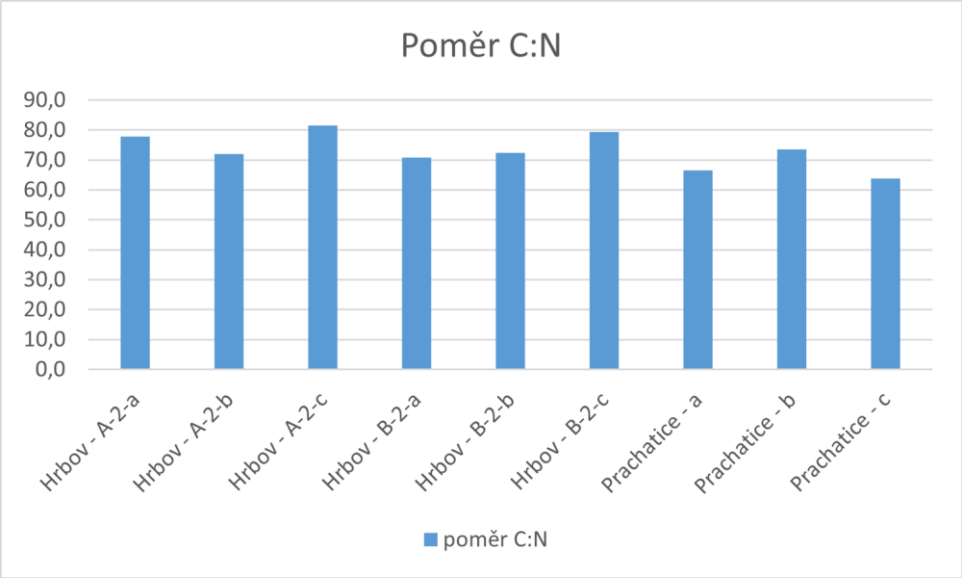
Příloha č. 4: Hodnoty sušiny a spalitelných látek




Příloha č. 5: Množství celkového dusíku, oxidu fosforečného a oxidu draselného



Příloha č. 6: Výsledný poměr C:N



# 6. Reference


Adhikary, S. (2012) Vermicompost, the story of organic gold: A review. Agricultural Sciences, 3, 905-917. doi: 10.4236/as.2012.37110.

Akazawa SI., Tokuyama H., Sato S., Watanabe T., Shida Y., Ogasawara W. 2018, High-pressure tolerance of earthworm fibrinolytic and digestive enzymes. J Biosci Bioeng. Feb;125(2):155-159. doi: 10.1016/j.jbiosc.2017.08.011. Epub 2017 Sep 12. PMID: 28916302.

Alidadi H., Hosseinzadeh A., Najafpoor A. A., Esmaili H., Zanganeh J., Takabi M. D., Piranloo F. G., 2016, Waste recycling by vermicomposting: Maturity and quality assessment via dehydrogenase enzyme activity, lignin, water soluble carbon, nitrogen, phosphorous and other indicators, Journal of Environmental Management, Volume 182, Pages 134-140, ISSN 0301-4797, https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2016.07.025.

Arditsoglou A., Voutsa D., 2012, Occurrence and partitioning of endocrine-disrupting compounds in the marine environment of Thermaikos Gulf, Northern Aegean Sea, Greece, Marine Pollution Bulletin, Volume 64, Issue 11, Pages 2443-2452, ISSN 0025-326X, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.07.048.

Belhaj D., Baccar R., Jaabiri I., Bouzid J., Kallel M., Ayadi H., Zhou J. L., 2015, Fate of selected estrogenic hormones in an urban sewage treatment plant in Tunisia (North Africa), Science of The Total Environment, Volume 505, Pages 154-160, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2014.10.018.

Besha A. T. et. al., Journal of Environmental Chemical Engineering, ELSEVIER 2017, Removal of emerging micropollutants by activated sludge process and membrane bioreactors and the effects of micropollutants on membrane fouling: A review, s.2395.

Biolib.cz, 2021, dostupné online: (https://www.biolib.cz/cz/taxon/id44035/ ), (https://www.biolib.cz/cz/taxon/id84011/ )

Burešová a kol., 2016, (http://www.odpadoveforum.cz/TVIP2016/prispevky/103.pdf).

Butkovskyi A., Ni G., Hernandez L. L., Rijnaarts H.H.M., Zeeman G., 2016. Mitigation of micropollutants for black water application in agriculture via composting of anaerobic sludge. Journal of Hazardous Materials 303, 41-47.

Carter L.J., Ryan J.J., Boxall A.B.A. 2016. Effects of soil properties on the uptake of pharmaceuticals into earthworms. Environmental Pollution 213, 922-931.

Duraisamy Tamilselvi, Vasanthy Muthunarayanan, Selvakumar Muniraj. Phytotoxic assessment of textile sludge extracts and sludge based vermicompost on the growth of mung bean (Vigna radiata) . International Journal of Botany Studies. 2021; 6(5): 169-173

Dvořáková-Březinová T., Vymazal J., Koželuh M., Kule L., 2018, Occurrence and removal of ibuprofen and its metabolites in full-scale constructed wetlands treating municipal wastewater, Ecological Engineering, Volume 120, Pages 1-5, ISSN 0925-8574, https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.020.

Earthworms: Charles Darwin's 'Unheralded Soldiers of Mankind': Protective & Productive for Man & Environment

Edwards C.A., Subler S., 2011. Human pathogen reduction during vermicomposting. In: Vermiculture Technology, (Eds Edwards C.A., Arancon N.Q., Sherman R.), Boca Raton: CRC Press, Taylor & Francis Group, 249-261.

European Union Strategic Approach to Pharmaceuticals in the Environment, 2019.

Fent K., 2015, Progestins as endocrine disrupters in aquatic ecosystems: Concentrations, effects and risk assessment, Environment International, Volume 84, Pages 115-130, ISSN 0160-4120, https://doi.org/10.1016/j.envint.2015.06.012.

Gusain R., Suthar S., 2020, Vermicomposting of duckweed (Spirodela polyrhiza) by employing eisenia fetida: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics, Bioresource Technology, Volume 311, 123585, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123585.

Gusain R., Suthar S., 2020, Vermicomposting of invasive weed Ageratum conyzoids: Assessment of nutrient mineralization, enzymatic activities, and microbial properties, Bioresource Technology, Volume 312, 123537, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123537.

Hanč A. a Dreslová M., 2016, Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions, Bioresource Technology, Volume 217, Pages 186-189, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.02.058.

Hanč A., Hřebečková T., Pliva P., Cajthaml T., 2020, Vermicomposting of sludge from a malt house, Waste Management, Volume 118, Pages 232-240, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.08.027.

Hanč A., Plíva P., 2013. Vermikompostování bioodpadů. Certifikovaná metodika, ČZU v Praze, 35 s., ISBN: 978-80-213-2422-0.

Hanč A., Švehla P., Hnátková T., Innemanová P., Cajthaml T., Odpadové fórum, číslo 7-8, 2019, strana 24, ročník 20, ISSN: 1212-7779 | MK ČR E 8344.

Hanč A., Tlustoš P., Száková J., Habart J., 2009, Changes in cadmium mobility during composting and after soil application, Waste Management, Volume 29, Issue 8, Pages 2282-2288, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2009.03.027.

Hanč, Enev V., Hřebečková T., Klučáková M., Pekař M., 2019, Characterization of humic acids in a continuous-feeding vermicomposting system with horse manure, Waste Management, Volume 99, Pages 1-11, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.08.032.

Hoekstra A. Y., 2015, The Water Footprint: The Relation Between Human Consumption and Water Use, © Springer International Publishing Switzerland 2015 M. Antonelli and F. Greco (eds.), The Water We Eat, Springer Water, DOI 10.1007/978-3-319-16393-2_3.

Hoekstra, A.Y., Ecological economy s. 1963 - Human appropriation of natural capital: A comparison of ecological footprint and water footprint analysis,

Honzová a Poklembová, 2014, Pozvěte žížaly domů, ZO ČSOP Veronica.

Hořeňovský R., Odpadové fórum, číslo 7-8, 2019, strana 34, ročník 20, ISSN: 1212-7779 | MK ČR E 8344.

Howarth, R. B., Ecological Economics, Dynamic modelling of water demand, water availability and adaptation strategies for power plants to global change, Hagen Koch, Stefan Vögele, s.2031, vol.68, NO. 7, 15 MAY 2009, ISSN 0921-8009.

Hřebečková T., Wiesnerová L., Hanč A., 2019, Changes of enzymatic activity during a large-scale vermicomposting process with continuous feeding, Journal of Cleaner Production, Volume 239, 118127, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118127.

Hřebečková T., Wiesnerová L., Hanč A., 2019, Changes of enzymatic activity during a large-scale vermicomposting process with continuous feeding, Journal of Cleaner Production, Volume 239, 118127, ISSN 0959-6526, https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118127.

Huang K., Xia H., 2018, Role of earthworms' mucus in vermicomposting system: Biodegradation tests based on humification and microbial activity, Science of The Total Environment, Volumes 610–611, Pages 703-708, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.08.104.

Chen W., Wang G., Gwo J., Chen C., 2012, Ultra-high performance liquid chromatography/tandem mass spectrometry determination of feminizing chemicals in river water, sediment and tissue pretreated using disk-type solid-phase extraction and matrix solid-phase dispersion, Talanta, Volume 89, Pages 237-245, ISSN 0039-9140, https://doi.org/10.1016/j.talanta.2011.12.020.

Innemanová P., 2021, e-mailová komunikace?

Jarolímová, 2019, Odpadové fórum 7-8, ročník 20, str.26-28, ISSN: 1212-7779 | MK ČR E 8344. 27.str., NAŘÍZENÍ KOMISE (EU) č. 651/2014 , Úřední věstník Evropské unie, 26.6.2014.

Jaskulak M., Rorat A., Kurianska-Piatek L., Hofman S., Bigaj J., Vandenbulcke F., Plytycz B., 2021, Species-specific Cd-detoxification mechanisms in lumbricid earthworms eisenia andrei, eisenia fetida and their hybrids, Ecotoxicology and Environmental Safety, Volume 208, 111425, ISSN 0147-6513, https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111425.

Jelínek J., Zicháček V., Biologie pro gymnázia, Olomouc, 2007. str.110 -112, 300 s.

Kislinger F., Laníková J., Šlégl J., 2002, Ekologie pro gymnázia, Fortuna, 80-7168-828-2.

Košnář Z., Bouček J., Tlustoš P., The Decrease of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons Content in Ash Using the Vermicompost Amendment, 2015, ČZU.

Krása, O., Kvalitu kalů ovlivňují i výrobky, které běžně používáme. *Odpady* [online]. 2014, 10.6.2014 [cit. 2021-02-03]. Dostupné z: https://www.odpady-online.cz/na-bioodpad-se-zizalami/

Lukashe N. S., Mupambwa H. A., Green E., Mnkeni P. N. S., 2019, Inoculation of fly ash amended vermicompost with phosphate solubilizing bacteria (Pseudomonas fluorescens) and its influence on vermi-degradation, nutrient release and biological activity, Waste Management, Volume 83, Pages 14-22, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.10.038.

Luo Y., Guo W., Ngo H. H., Nghiem L. D., Hai F. I., Zhang J., Liang S., Wang X. C., 2014, A review on the occurrence of micropollutants in the aquatic environment and their fate and removal during wastewater treatment. Sci Total Environ. 2014 Mar 1;473-474:619-41. doi: 10.1016/j.scitotenv.2013.12.065. Epub 2014 Jan 4. PMID: 24394371.

Matějů L., Boštíková Z., Zimová M., Státní zdravotní ústav, Odpadové fórum č.3/2018, online dostupné na: https://www.tretiruka.cz/news/rizika-a-vyhody-pri-vyuziti-cistirenskych-kalu-na-zemedelske-pude/.

Michalová, M. 2010, Kvalitu kalů ovlivňují i výrobky, které běžně používáme.*Odpady* [online]. 9.7.2010 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: https://www.odpady-online.cz/kvalitu-kalu-ovlivnuji-i-vyrobky-ktere-bezne-pouzivame/

Moon-Kyung K. and Kyung-Duk Z.: 2016, Occurrence and removals of micropollutants in water environment, Environ. Eng. Res. 2016; 21(4): 319-332 pISSN 1226-1025 http://dx.doi.org/10.4491/eer.2016.115).

Moons, K., Van der Bruggen, D., 2006, Removal of micropollutants during drinking water production from surface water with nanofiltration, Desalination, 199, 245-247s. Elsevier).

Mortazavi S., Bakhtiari A. R., Sari A. E., Bahramifar N., Rahbarizade F., 2012, Phenolic endocrine disrupting chemicals (EDCs) in Anzali Wetland, Iran: Elevated concentrations of 4-nonylphenol, octhylphenol and bisphenol A, Marine Pollution Bulletin, Volume 64, Issue 5, Pages 1067-1073, ISSN 0025-326X, https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2012.02.010.

MZE, 2017, Ministerstvo zemědělství, dostupné online: (https://www.vodarenstvi.cz/wpcontent/uploads/2017/12/Zprava_o_stavu_vodniho_hospodarstvi_2016_FINAL.pdf )

MZE, 2017, Ministerstvo zemědělství, dostupné online: (https://www.bezpecnostpotravin.cz/az/termin/92116.aspx).

MZE, 2019, Ministerstvo zemědělství, ČR, dostupné online z: http://eagri.cz/public/web/file/664902/Vodovody_kanalizace_2019_WEB.pdf)

MZE, 2019, Ministerstvo zemědělství, dostupné online: (http://eagri.cz/public/web/file/664902/Vodovody_kanalizace_2019_WEB.pdf)

MŽP, 2020 (Maršák), online dostupné: *https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_povinnosti_pokyn_odpady/$FILE/OODP_Pokyn_NZ_Prechodna_ust_Final-04012021.pdf* .

MŽP, 2020, Ministerstvo životního prostředí, online dostupné: (https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/odpady_podrubrika/$FILE/OODP-Produkce_kraje_2018-20191025.pdf).

MŽP, 2021, Ministerstvo životního prostředí, dostupné online: (https://echa.europa.eu/cs/hot-topics/endocrine-disruptors )

Nařízení Evropského parlamentu a Rady (EU) 2019/1021 ze dne 20. června 2019 o perzistentních organických znečišťujících látkách

Paul S., Das S., Raul P., Bhattacharya S. S., Vermi-sanitization of toxic silk industry waste employing eisenia fetida and Eudrilus eugeniae: Substrate compatibility, nutrient enrichment and metal accumulation dynamics, Bioresource Technology, Volume 266, 2018, Pages 267-274, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.06.092.

Pižl, V., 2014, Časopis Veronica, dostupné online:(http://www.casopisveronica.cz/clanek.php?id=1049).

Primack, R.B., Kindlmann, P., Jersáková J., Portál, 2011, Úvod do biologie ochrany přírody, s.140.

Quaik S., Embrandiri A., Rupani P. F., Singh R. P., Ibrahim M. H., 2012, Effect of Vermiwash and Vermicomposting Leachate in Hydroponics Culture of Indian Borage (Plectranthus ambionicus) Plantlets, Academia,11 th International Annual Symposium on Sustainability Science and Management, e-ISBN 978-967-5366-93-2.

Sanches S., Penetra A., Rodrigues A., Ferreira E., Cardoso V. V., Benoliel M. J., Crespo M. T. B., Pereira V. J., Crespo J. G., 2012: Nanofiltration of hormones and pesticides in different real drinking water sources, Separation and Purification Technology, Volume 94, Pages 44-53, ISSN 1383-5866, https://doi.org/10.1016/j.seppur.2012.04.003.

Sanches, S. a kol., Nanofiltration of hormones and pesticides in different real drinking water sources, Separation and Purification Technology, 94, 2012. Elsevier, online version, at http://dx.doi.org/10.1016/j.seppur.2012.04.003.

Shan J. et. al., 2010, Soil Biology & Biochemistry 42, Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms Metaphire guillelmi and Amynthas corrugatus, s.1455,

Shan J., Brune A., Ji R., 2010: Selective digestion of the proteinaceous component of humic substances by the geophagous earthworms Metaphire guillelmi and Amynthas corrugatus, Soil Biology and Biochemistry, Volume 42, Issue 9, Pages 1455-1462, ISSN 0038-0717, https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2010.05.008.

Singh, R., Bhunia, P., Dash, R.R., 2017: A mechanistic review on vermifiltration of wastewater: Design, operation and performance. Journal of Environmental Management, 197, 656-672.

Sinha R., Chauhan K., Valani D., Chandran V., Soni B. and Patel V., "Earthworms: Charles Darwin's 'Unheralded Soldiers of Mankind': Protective & Productive for Man & Environment," Journal of Environmental Protection, Vol. 1 No. 3, 2010, pp. 251-260. doi: 10.4236/jep.2010.13030. a

Sinha, R. , Agarwal, S. , Chauhan, K. and Valani, D. (2010) The wonders of earthworms & its vermicompost in farm production: Charles Darwin's 'friends of farmers', with potential to replace destructive chemical fertilizers. Agricultural Sciences, **1**, 76-94. doi: 10.4236/as.2010.12011. b

Soldatová, A., Brusel chce prosadit zavlažování polí odpadními vodami. Česko je k návrhu spíš zdrženlivé. *Odpady* [online]. 2014, 20.2.2020 [cit. 2021-02-07]. Dostupné z: https://www.odpady-online.cz/casopis-odpady-brusel-chce-prosadit-zavlazovani-poli-odpadnimi-vodami-cesko-je-k-navrhu-spis-zdrzenlive/

Srivastava V., Squartini A., Masi A., Sarkar A., Singh R. P., 2021, Metabarcoding analysis of the bacterial succession during vermicomposting of municipal solid waste employing the earthworm eisenia fetida, Science of The Total Environment, Volume 766, 144389, ISSN 0048-9697, https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144389.

Šuta M., 2008, Chemické látky v životním prostředí a zdraví, Ekologický institut Veronica, Brno, 64 s.

Tiwari, R. , Singh, S. , Pandey, R. and Sharma, B. (2016) Enzymes of Earthworm as Indicators of Pesticide Pollution in Soil. Advances in Enzyme Research, 4, 113-124. doi: 10.4236/aer.2016.44011.

Trapido M., Epold I., Bolobajev J., Dulova N., 2014, Emerging micropollutants in water/wastewater: growing demand on removal technologies, Environ Sci Pollut Res (2014) 21:12217–12222 DOI 10.1007/s11356-014-3020-7, Elsevier).

Vácha, 2017, dostupné online: (https://vodnihospodarstvi.cz/kaly-a%E2%80%AFsedimenty/ ).

Voběrková S., Vaverková M. D., Burešová A., Adamcová D., Vršanská M., Kynický J., Brtnický M., Adam V., 2017, Effect of inoculation with white-rot fungi and fungal consortium on the composting efficiency of municipal solid waste, Waste

Management, Volume 61, Pages 157-164, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.039.

Wang L., Zheng Z., Luo X., Zhang J., 2011, Performance and mechanisms of a microbial-earthworm ecofilter for removing organic matter and nitrogen from synthetic domestic wastewater, Journal of Hazardous Materials, Volume 195, Pages 245-253, ISSN 0304-3894, https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.08.035.

Xing M., Zhao C., Yang J., Lv B., 2014, Feeding behavior and trophic relationship of earthworms and other predators in vermifiltration system for liquid-state sludge stabilization using fatty acid profiles, Bioresource Technology, Volume 169, Pages 149-154, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.06.083.

Xu Z., Yang Z., Zhu T., Shu W., Geng L., 2021, Ecological improvement of antimony and cadmium contaminated soil by earthworm eisenia fetida: Soil enzyme and microorganism diversity, Chemosphere, Volume 273, 129496, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129496.

Yadav A., Garg V.K., 2011, Vermicomposting – An effective tool for the management of invasive weed Parthenium hysterophorus, Bioresource Technology, Volume 102, Issue 10, Pages 5891-5895, ISSN 0960-8524, https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.02.062.

Zhao C., Wang Y., Wang Y., Wu F., Zhang J., Cui R., Wang L., Mu H., 2018, Insights into the role of earthworms on the optimization of microbial community structure during vermicomposting of sewage sludge by PLFA analysis, Waste Management, Volume 79, Pages 700-708, ISSN 0956-053X, https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.08.041.

Zhong H., Wang H., Liu X., Liu C., Liu G., Tian Y., Feng X., Chen Y., 2017, Degradation and characteristic changes of organic matter in sewage sludge using Vermi-biofilter system, Chemosphere, Volume 180, Pages 57-64, ISSN 0045-6535, https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.121.

**Zákony, vyhlášky a nařízení:**

Norma ČSN 46 5735, (2020), Zemědělství a hnojení, Kompostování, (Obecné principy výroby, zkoušení, značení a dodávání kompostů vyráběných technologií kompostování).

Norma ČSN 46 5736, (2018), Zemědělství a hnojení, Vermikomposty.

Rozhodnutí Komise EU (2015/2099), 2015, https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=32015D2099, Natura Bohemica.cz

Směrnice EU 2009/292/ES, 2009, https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=32009D0292.

Směrnice Rady (86/278/EHS) o ochraně životního prostředí a zejména půdy při používání kalů z čistíren odpadních vod v zemědělství, 2018-2021, https://www.zakonyprolidi.cz/pravoeu/dokument?celex=31986L0278&date=20180704.

Vyhláška č. 273/2021 Sb.

Zákon č. 273/2021 Sb., https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2021-273

Zákon č. 314/2008 Sb., https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341

Zákon č. 383/2001 Sb., https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-383

Zákon č. 474/2000 Sb., https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-474

Zákon č. 541/2020 Sb., https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2020-541