

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Česká zemědělská  
univerzita v Praze**

**Osud vybraných mikropolutantů během kompostování**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Petr Novák**

**Obor studia: Technologie odpadů**

**Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.**

**Konzultant: Mgr. Alena Grasserová**

© 2022 ČZU v Praze

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci Osud vybraných mikropolutantů během kompostování jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 05.04.2022

---

## **Poděkování**

Rád bych touto cestou poděkoval doc. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D a paní Mgr. Aleně Grasserové, za poskytnuté rady, obsahové připomínky, vstřícnost a vřelost při konzultacích ohledně diplomové práce. Rád bych poděkoval své rodinně, díky níž jsem mohl zpracovat a dokončit tuto práci.

Diplomová práce byla vytvořena v rámci projektu NAZV č. QK1910095 s názvem „Využití vermikompostování k eliminaci mikropolutantů za účelem bezpečné aplikace čistírenského kalu na zemědělskou půdu.“.

# Osud vybraných mikropolutantů během kompostování

## Souhrn

Osudy vybraných mikropolutantů byly testovány v různém poměru směsí čistírenského kalu a slaměných pelet. Čistírenský kal byl zvolen z čistírny odpadních vod z menšího města. Bylo celkem založeno 5 různých směsí čistírenského kalu a slaměných pelet. Jednotlivé varianty zkoumané v práci byly: samotný čistírenský kal o hmotnosti 45 kg. Směs čistírenského kalu (75 % hm. o hmotnosti 33,75 kg) a slaměných pelet (25 % hm. o hmotnosti 6,75 kg). Směs čistírenského kalu (50 % hm. o hmotnosti 22,5 kg) a slaměných pelet (50 % hm. o hmotnosti 13,5 kg). Směs čistírenského kalu (25 % hm. o hmotnosti 11,25 kg) a slaměných pelet (75 % hm. o hmotnosti 20,25 kg). Poslední zkoumaná varianta tvořila 100 % obsah slaměných pelet o hmotnosti 27 kg. Celkem bylo založeno 10 aerobních fermentorů. Každá směs byla sledována ve dvojím provedení. Experiment trval 4 měsíce a uskutečnil se na pokusné stanici FAPPZ v Červeném Újezdu. Experiment byl založen dne 19. 3. 2020 a poslední vzorky se odebraly z fermentorů dne 16.07.2020.

Z experimentu s kompostováním v aerobních kompostérech s regulovanou intenzitou aerace se každý měsíc odebíraly vzorky, které byly mražené a následně lyofilizovány. V takto upravených vzorkách byly stanoveny obsahy vybraných mikropolutantů ze skupiny farmak (např. Diclofenac, Gabapentin, Ibuprofen, Carbamazepine, Kofein, Paracetamol, Tramadol) a endokrinních disruptorů (např. Bisfenyl, Genistein, Estradiol, Estriol, Estron, Daidzein).

První předpoklad: během kompostování dochází k průkaznému poklesu obsahu mikropolutantů. Na základě výsledků bylo zjištěno, že během prvního měsíce kompostování dochází k průkaznému snížení obsahů sledovaných mikropolutantů, kromě aerobního fermentoru č. 10 (Samotné slaměné pelety o hmotnosti 27 kg). Po uplynutí celkové doby experimentu, čtyř měsíců, se předpoklad naplnil u aerobních fermentorů se směsí čistírenského kalu (50 % hm. o hmotnosti 22,5 kg) a slaměných pelet (50 % hm. o hmotnosti 13,5 kg), dále ve směsi čistírenského kalu (25 % hm. o hmotnosti 11,25 kg) a slaměných pelet (75 % hm. o hmotnosti 20,25 kg) a v aerobním fermentoru s obsahem samotných slaměných pelet o hmotnosti 27 kg.

Další předpoklad: různé zastoupení čistírenských kalů a slaměných pelet má vliv na obsah mikropolutantů ze skupiny farmak a endokrinních disruptorů i v konečném kompostu. Předpoklad se potvrdil na základě sledovanosti mikropolutantů po jednom a po čtyřech

měsících procesu kompostování. Mikropolutanty různě měnily své koncentrace. Pro snížení obsahů koncentrací sledovaných mikropolutantů, byl doporučen poměr čistírenského kalu 25 % a slaměných pelet 75 %. Poměr čistírenského kalu a slaměných pelet vykázal nejvyšší schopnost snížit sledované mikropolutanty. Samotné slaměné pelety se projeví jako nejméně vhodné pro degradaci mikropolutantů. Pelety vykázaly schopnost zkoncentrovat obsažené mikropolutanty Kofein (v rozmezí 7,68 – 53,46 %), Telmisartan (74,47 – 2 079,37 %) a Venlafaxine (snížení o 17,38, zkoncentrování o 14,94), kromě dvou Mirtazapine a Sulfapyridine, které snížily svoje koncentrace pod mez detekce přístroje.

Poslední předpoklad: jednotlivá farmaka a endokrinní disruptory se během kompostování odbourávají s různou intenzitou. Předpoklad se částečně potvrdil. Při porovnání koncentrací po čtyřech měsících kompostování s koncentracemi na počátku experimentu, zaznamenaly mikropolutanty pokles: Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin a Sulfamethoxazole pod mez detekce přístroje. Postupně snížily svojí koncentraci, od nejvýše procentuální změny po nejnižší, mikropolutanty Trimethoprim (o 97,35 %), Estrone (o 95,55 %), Hydrochlorothiazide (o 91,95 %), Omeprazole (o 91,21 %), Genistein (o 88,66 %), Clarithromycin (o 82,40 %), Paraxanthine (o 68,37 %), Atenolol (o 64,43 %), Daidzein (o 62,49 %), Metoprolol (o 53,92%), Diclofenac (o 51,91%), Mirtazapine (o 50,16 %), Kofeine (o 42,41 %), Citalopram (o 36,08 %), Lamotrigine (o 35,42 %), Equol (o 22,26 %), Venlafaxine (o 20,12 %), Tramadol (o 17,65 %), Cetirizine (o 13,32 %), Sulfapyridine (o 9,84 %) a Amitriptyline (o 1,25 %). Zvýšení zaznamenaly mikropolutanty, od nejnižšího zkoncentrování po nejvyšší: Triclosan (o 33,82 %), Carbamazepine (o 42,31 %), Atorvastatin (o 52,23 %), Ibuprofen (o 140,21 %), Sulfanilamide (o 193,23), Telmisartan (o 317,63 %) a Bisphenol A (BPA) (o 342,7 %).

**Klíčová slova:** Kompostování, farmaka, endokrinní disruptory, slaměné pelety, čistírenský kal, degradace

# The fate of selected micropollutants during composting

## Summary

The fates of selected micropollutants were tested in different ratios of mixtures of sewage sludge and straw pellets. The sewage sludge was selected from a wastewater treatment plant in a smaller town. A total of five different mixtures of sewage sludge and straw pellets were established. The individual variants examined in this work were: sewage sludge itself weighing 45 kg. Mixture of sewage sludge (75 % by weight weighing 33.75 kg) and straw pellets (25 % by weight weighing 6.75 kg). Mixture of sewage sludge (50% by weight weighing 22.5 kg) and straw pellets (50 % by weight weighing 13.5 kg). Mixture of sewage sludge (25 % by weight weighing 11.25 kg) and straw pellets (75 % by weight weighing 20.25 kg). The last variant investigated consisted of 100 % straw pellets weighing 27 kg. A total of ten aerobic fermenters were established. Each mixture was monitored in duplicate. The experiment lasted four months and took place at the FAPPZ experimental station in Červený Újezd. The experiment was established on March 19, 2020 and the last samples were taken from the fermenters on July 16, 2020.

From the composting experiment in aerobic composters with controlled aeration intensity, samples were taken every month, which were frozen and subsequently lyophilized. The contents of selected micropollutants from the group of pharmaceuticals (eg Diclofenac, Gabapentin, Ibuprofen, Carbamazepine, Caffeine, Paracetamol, Tramadol) and endocrine disruptors (eg Bisphenyl, Genistein, Estradiol, Estriol, Estron, Estron, Daidzein) were determined in such treated samples.

The first assumption: during composting, there is a significant decrease in the content of micropollutants. Based on the results, it was found that during the first month of composting there is a significant reduction in the contents of the monitored micropollutants, except for aerobic fermenter No. 10 (Straw pellets alone weighing 27 kg). At the end of the total experiment time, four months, the assumption was fulfilled in aerobic fermenters with a mixture of sewage sludge (50 % by weight weighing 22.5 kg) and straw pellets (50 % by weight weighing 13.5 kg), then in a mixture sewage sludge (25 % by weight of 11.25 kg) and straw pellets (75 % by weight of 20.25 kg) and in an aerobic fermenter containing 27 kg of straw pellets alone.

Another assumption: the different proportions of sewage sludge and straw pellets has an effect on the content of micropollutants from the group of pharmaceuticals and endocrine disruptors in the final compost. The assumption was confirmed on the basis of the monitoring of micropollutants after one and four months of the composting process. Micropollutants changed their concentrations in various ways. After reducing the contents of the monitored micropollutants, the ratio of sewage sludge to straw pellets was 75%. The ratio of sewage sludge and straw pellets showed the highest ability to reduce the observed micropollutants. The straw pellets themselves have proven to be the least suitable for the degradation of micropollutants. The pellets showed the ability to concentrate the contained micropollutants Caffeine (range 7.68 - 53.46 %), Telmisartan (74.47 – 2 079.37 %) and Venlafaxine (decrease by 17.38 %, concentration by 14.94), except for two Mirtazapine and Sulfapyridine, which have reduced their concentrations below the detection limit of the device.

Last assumption: individual drugs and endocrine disruptors are degraded with varying intensity during composting. The assumption has been partially confirmed. When comparing the concentrations after four months of composting with the concentrations at the beginning of the experiment, the micropollutants decreased, Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin and Sulfamethoxazole, below the detection limit of the instrument. Trimethoprim micropollutants (by 97.35 %), Estrone (by 95.55 %), Hydrochlorothiazide (by 91.95 %), Omeprazole (by 91.21 %), Genistein gradually reduced their concentration, from the highest percentage change to the lowest. (by 88.66%), Clarithromycin (by 82.40 %), Paraxanthine (by 68.37 %), Atenolol (by 64.43%), Daidzein (by 62.49 %), Metoprolol (by 53.92 %), Diclofenac (51.91 %), Mirtazapine (50.16 %), Caffeine (42.41 %), Citalopram (36.08 %), Lamotrigine (35.42 %), Equol (22.26 %), Venlafaxine (20.12 %), Tramadol (17.65%), Cetirizine (13.32 %), Sulfapyridine (9.84 %) and Amitriptyline (1.25 %). Micropollutants increased, from the lowest concentration to the highest: Triclosan (by 33.82 %), Carbamazepine (by 42.31%), Atorvastatin (by 52.23 %), Ibuprofen (by 140.21 %), Sulfanilamide (by 193,23 %), Telmisartan (by 317.63 %) and Bisphenol A (BPA) (by 342.7 %).

**Keywords:** Composting, pharmaceuticals, endocrine disruptors, straw pellets, sewage sludge, degradation

# Obsah

<b>1 Úvod</b> .....	<b>10</b>
<b>2 Cíl práce</b> .....	<b>11</b>
<b>3 Literální rešerše</b> .....	<b>12</b>
3.1 Kompostování .....	12
3.1.1 Historie.....	13
3.1.2 Legislativa.....	13
3.1.3 Druhy kompostéru pro domácí využití .....	14
3.2 Průběh kompostování .....	17
3.2.1 První fáze.....	18
3.2.2 2. Fáze .....	19
3.2.3 3. Fáze .....	19
3.2.4 Sledované parametry.....	20
3.3 Výhody a nevýhody kompostování .....	25
3.3.1 Výhody .....	25
3.3.2 Nevýhody .....	26
3.4 Použití kompostu.....	27
3.5 Mikropolutanty a jejich osud při kompostování .....	30
<b>4 Metodika</b> .....	<b>32</b>
4.1.1 Příprava na kompostování zkoumaných materiálů .....	32
4.1.2 Průběh kompostování.....	32
4.2 Odběr vzorku.....	34
4.3 Analytické stanovení mikropolutantů .....	35
4.4 Mikropolutanty .....	37
4.4.1 Podrobnější představení významných mikropolutantů.....	38
<b>5 Výsledky</b> .....	<b>42</b>
5.1 Vyhodnocení dat .....	42
5.1.1 Vstupní koncentrace .....	42
5.1.2 Po měsíci .....	42
5.1.3 Aerobní fermentor č. 1 .....	44
5.1.4 Aerobní fermentor č. 2 .....	46
5.1.5 Aerobní fermentor č. 3 .....	48
5.1.6 Aerobní fermentor č. 4 .....	50
5.1.7 Aerobní fermentor č. 5 .....	52
5.1.8 Aerobní fermentor č. 6 .....	54
5.1.9 Aerobní fermentor č. 7 .....	56



5.1.10	Aerobní fermentor č. 8 .....	58
5.1.11	Aerobní fermentor č. 9 .....	60
5.1.12	Aerobní fermentor č. 10 .....	62
5.2	Změny vybraných sledovaných látek .....	64
5.2.1	Telmisartan .....	64
5.2.2	Triclosan .....	66
5.2.3	Citalopram.....	67
5.2.4	Bisphenol A (BPA) .....	69
5.2.5	Diclofenac .....	71
5.2.6	Cetirizine .....	73
5.2.7	Kofein .....	74
<b>6</b>	<b>Diskuze .....</b>	<b>76</b>
<b>7</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>82</b>
<b>9</b>	<b>Obrázky a tabulky .....</b>	<b>86</b>
<b>10</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů .....</b>	<b>86</b>
<b>11</b>	<b>Samostatné přílohy .....</b>	<b>I</b>

# 1 Úvod

Ministerstvo životního prostředí dlouhodobě podporuje výstavbu obecních kompostáren, které byly postaveny především díky podpoře z fondu Operačního programu Životní prostředí (OPŽP), v období od roku 2007 do roku 2020 je jich celkem 780. Zároveň tento fond podporuje obce, které mají v úmyslu svým občanům poskytnout na jejich pozemky domácí kompostéry. Pomocí tohoto programu se do domácností dostalo již kolem 70 000 kompostérů. Schváleno je ale dalších 650 projektů pro obce za téměř 750 milionů Kč. Další příjem žádostí OPŽP proběhl v období 2014 – 2020. V celkové alokaci 250 000 000 Kč poskytnutých Ministerstvem životního prostředí.

Ministerstvo životního prostředí zavedlo od roku 2019 povinnost pro obce zajistit celoročně pro občany možnost třídít bioodpad. Množství bioodpadů vytríděných v obcích dosáhlo v roce 2018 zhruba 700 tisíc tun, meziročně došlo k nárůstu o tři procenta (Ministerstvo životního prostředí, 2020).

Forma domácího kompostování se nejvíce využívá v zahrádkářských koloniích. Dále tuto formu hojně preferují rodiny, které vlastní zahrady, ve kterých pěstují zemědělské plodiny, okrasné květiny, skalky a podobně.

Kompostování jako proces se řadí k jednomu z nejstarších procesů na zpracování biologicky rozložitelných odpadů. V současné době se na tento proces klade čím dál větší důraz, jak z důvodů využití suroviny pro zkvalitnění zemědělských, tak i dalších půd. Dále z enviromentálního hlediska s cílem snížení emisí oxidů uhličitých, vypouštěného do ovzduší.

V současné době se především věnuje pozornost schopnosti procesů potencionálně degradovat, omezovat nebo popřípadě imobilizovat nežádoucí látky, obsažené v biologických materiálech, jako jsou například, PAHy, POPs, farmaka, ropné uhlovodíky a mnoho dalších.

Diplomová práce se zabývá hodnocením možných degradací čtyřiceti osmi mikropolutantů, které se řadí do skupiny farmak, během procesu kompostování slaměných pelet a kalu v různých koncentračních poměrech.

## **2 Cíl práce**

Diplomová práce je zaměřena na osud vybraných mikropolutantů během procesu kompostování směsi čistírenského kalu a slaměných pelet.

Hypotézy:

1. Během kompostování dochází k průkaznému poklesu obsahu mikropolutantů
2. Různé zastoupení kalu a slaměných pelet má vliv na obsah mikropolutantů ze skupiny farmak a endokrinních disruptorů i v konečném kompostu
3. Jednotlivá farmaka a endokrinní disruptory se během kompostování odbourávají s různou intenzitou

## 3 Literální rešerše

### 3.1 Kompostování

Biologicky rozložitelné odpady jsou značně velkou kategorií odpadů. Prostředky nakládání s nimi může pozitivně nebo negativně vést k působení na složky životního prostředí. Jedná se v podstatě o jejich třídění, a to jak u zdroje, tak i následné předání ke zpracování do zařízení k tomu určených, kupříkladu kompostárny, bioplynové stanice a podobně. Prostřednictvím zmiňovaných zařízení se omezí ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky, které jsou často zdrojem skleníkového plynu, především methanu a v neposlední řadě i výluhů v podobě průsakových vod.

Biologický odpad obsahuje velkou část rostlinných živin a organických látek. Látky je dále možno zpracovávat v kompostárně a předat zpět do přírodního koloběhu, v podobě organického hnojiva, kompostu. Použití kompostu se zvyšuje obsah organické hmoty v půdě a následně dojde ke zvýšení schopnosti půdy absorbovat vodu a tím je zemina chráněna proti erozi a v neposlední řadě se vracejí zpět i živiny pro organismy, které rostou na aplikované půdě. Pomocí použití kompostu se omezuje i používání chemických přísadků v podobě pesticidů či umělých hnojiv na půdu a současně se pomáhá ekosystému v okolí aplikace (Ministerstvo životního prostředí 2021).

Biologicky rozložitelné odpady je možné zpracovávat nejen v komunálních či průmyslových kompostárnách, ale i v prostředí domácím, pomocí domácího kompostování.

Česká republika, jako stát, musí v rámci nakládání s biologicky rozložitelnými odpady plnit různé závazné cíle vyplývající z evropských právních předpisů, a to zejména omezování jejich ukládání na skládky (Ministerstvo životního prostředí 2021) .

Kompostování je proces založený na zpracování biologicky rozložených odpadů na využitelný materiál zvaný kompost. Jedná se o proces založený na přeměně rostlinných a živočišných produktů, přesněji zbytků.

Samotný proces probíhá za pomoci aerobních podmínek, za přístupu vzduchu. Proto mají organismy, podílející se na rozkladu materiálu, přístup k energii potřebné k přeměně. Jedná se především o bakterie, plísně, houby a další organismy.

Význam kompostování se stává stále populárnější, a to především svým produktem, který má bohatý zdroj živin, zkvalitňuje půdu a má velice různorodé využití jak v zemědělství, tak i v dalších oborech.

### **3.1.1 Historie**

Samotný proces kompostování a využívání biologických materiálů, je již znám dlouhou dobu. První informace o samotném kompostování se objevují již v staročínské "Svaté knize o setí a sázení". V knize se píše o doporučení připravovat kompost jak z organických odpadů, tak z fekálií a z usazenin ze zavodňovacích kanálů a jeho použití pro stromy, rýži a vinnou révu (Sosna M 2012).

Tento způsob přípravy kompostu lze v dnešní době nalézt převážně v Číně. Pomocí zmíněného postupu je kompost během procesu chráněn, vůči povětrnostním podmínkám slaměnou rohoží (Sosna M 2012).

Již od starověku se biologicky rozložitelné opady používají i jako druhotná surovina pro rozmanité způsoby užití. Například hospodářský hnůj se skladoval a v období podzimu se s ním hnojily pole, v dnešní době se stále tato technika využívá. Rostlinné zbytky a tráva se běžně zkrmovaly nebo využívaly jako stelivo. Dřevní odpad se zpracoval pro výhřev obydlí (Sosna M 2012).

První průmyslové zpracování v České republice pro řízené zpracování a výrobu kompostu bylo uvedeno do provozu v roce 1912 jako součást Pražské čistící kanalizační stanice. Zároveň se stal prvním podnikem, který průmyslově zpracovával a vyráběl kompost v Evropě. V období kolektivizace zemědělství se hojně dovovala výroba průmyslového kompostu. V letech největšího rozkvětu kompostáren byla dosahována produkce kompostu až 3 miliónů tun za rok (Sosna M 2012).

### **3.1.2 Legislativa**

Zpracování biologicky rozložitelného odpadu spadá pod zákon 541/2020 O odpadech s právní účinností od 01.01.2021. Podle paragrafu § 65 a § 66 o Komunitním kompostování.

Zákon ve znění:

a) komunitním kompostováním systém soustřeďování rostlinných zbytků z údržby zeleně, zahrad a domácností z území obce, jejich úprava a následné zpracování v komunitní kompostárně na kompost,

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.

Kompost vzniklý komunitním kompostováním může obec využívat výhradně k údržbě a obnově veřejné zeleně na svém území. Jiné využití kompostu je možné pouze za splnění podmínek stanovených zákonem o hnojivech.

Obec může pro komunitní kompostování využívat komunitní kompostárnu umístěnou na území jiné obce, pokud tak vyplývá z veřejnoprávní smlouvy s touto obcí, nebo pokud se tak dohodnou obce v rámci dobrovolného svazku obcí (Zákon č. 541/2020 Sb. 2021) .

V hlavním městě Praze platí pro používání komunitního kompostování obecně závazná vyhláška číslo 3/2016 Sb. Hlavního města Prahy, kterou se stanoví systém komunitního kompostování a způsob využití zeleného kompostu k údržbě a obnově veřejné zeleně na území Hlavního města Prahy.

### **3.1.3 Druhy kompostéru pro domácí využití**

Pro domácí kompostování existuje několik modelů kompostérů. Rozdíly v konstrukci ovlivňují dobu kompostování i jejich umístění na pozemku.

#### **1) Uzavřený kompostér**

Tato možnost je rozšířena. Kompostér je osazen víkem, roštem na dně a děrovanými postranními stěnami pro přístup a výstup vzduchu. Tento způsob úpravy zabezpečuje dostačující provětrávání a umožňuje dobrý odtok prosáklé vody. Po šesti až osmi týdnech od naplnění máme již k použití čerstvý kompost o různé velikosti částic.

Velikost kompostéru o objemu 270 l dostačuje pro zahrady o rozměru kolem 400 m<sup>2</sup>.

Na uvedeném obrázku č. 1 vidíme klasicky uzavřený kompostér. Ve spodní části jsou dvířka, která se odlišují barvou, kterými se provádí odběr již zkompostovaného materiálu.

*Obrázek č. 1 Uzavřený kompostér (EMAKO.cz 2021)*



## 2) Termokompostér

Tento druh kompostéru je vyráběn z termoizolačního plastu. Teplo vznikající rozkladem kompostovaného materiálu se zadržuje. Pomocí zadrženého tepla lze proces rozkladu zachovat i v zimním období.

Kompostér se vyrábí z odolného polypropylenu. Obsahuje zámkové panty, které umožňují lehkou demontáž i montáž. Díky této konstrukci se tak dá bez problému ukládat ve složeném stavu. Pro potřebu se dá rychle složit a použít.

*Obrázek č. 2 Termokompostér (BAUHAUS 2021)*



Kontejner obsahuje pouze dva otvory. Víko s panty, kterým se vkládá odpad, který máme v úmyslu zkompostovat a ve spodní části jsou dvířka, které umožňují lepší provzdušňování a pohodlnější odběr zkompostovaného materiálu. Některé druhy termokompostérů nemají spodní dno pro údajně lepší proces tlení. Na obrázku č. 2 vidíme příklad termokompostéru s dvěma víky pro vkládání a odebírání materiálu.

### 3) Otevřený kompostér

Jedná se o vylepšení a zlepšení kompostu na volné ploše či jámě. Může být ohraničený pomocí dřevěných anebo plastových desek, ohraničující plochu kompostování.

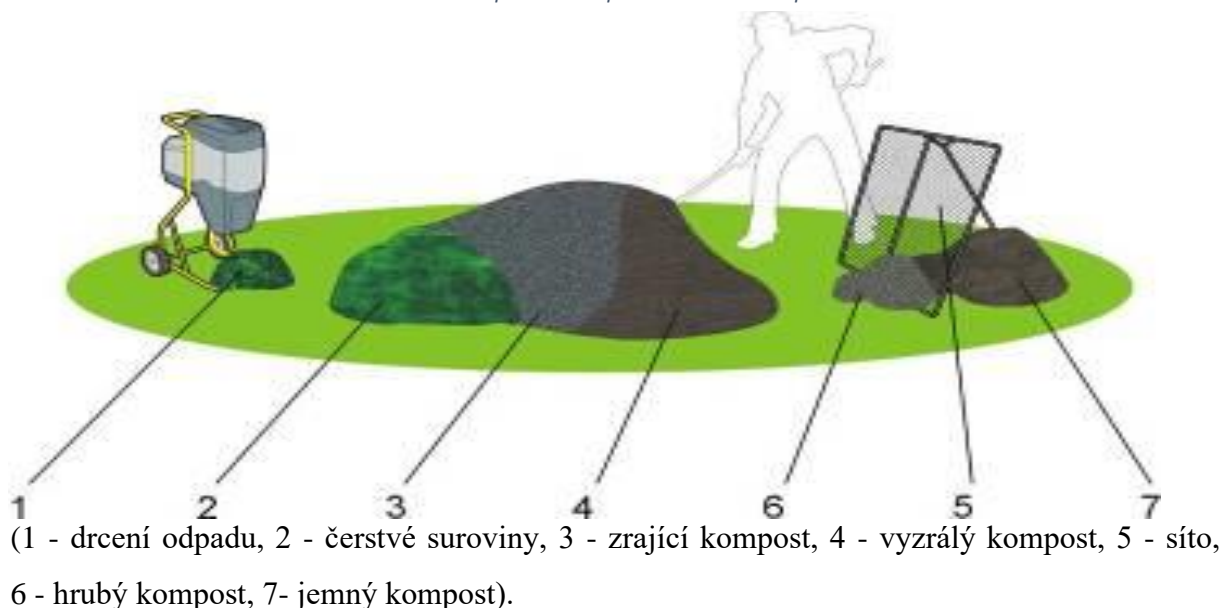
Biologicky rozložitelný odpad se vkládá svrchu a hotový kompost je odebírán též z horní části. To má za příčinu nutné překopávání v průběhu procesu. Tento způsob je vidět na obrázku č. 3.

Obrázek č. 3 Otevřený kompostér (ČESKÉ STAVBY.cz 2021)



### 4) Na volné kupě, jámě nebo ploše

Obrázek č. 4 Znárodněn proces kompostování na volné ploše





Princip kompostování na volné kupě, hromadě nebo ploše, je vidět na výše uvedeném obrázku č. 4.

Jedná se o nejlevnější, nejjednodušší a v zahrádkářských koloniích nejběžnější způsob kompostování.

U tohoto způsobu kompostování je nutná úprava podkladu tak, aby se omezil průsak vody do okolí. Úpravu podkladu lze například provést zhutněním zeminy nebo položením betonových desek jako podklad.

Zároveň se doporučuje častější překopávka pro zlepšení výsledného produktu. Pro zlepšení je zde možné využít boxu pro jednotlivé fáze. Jednotlivé fáze jsou popsány v podkapitole 3.2 Průběh kompostování, kterým se usnadní, zpřehlední a umožní vznik lepšího materiálu na výstupu.

### **3.2 Průběh kompostování**

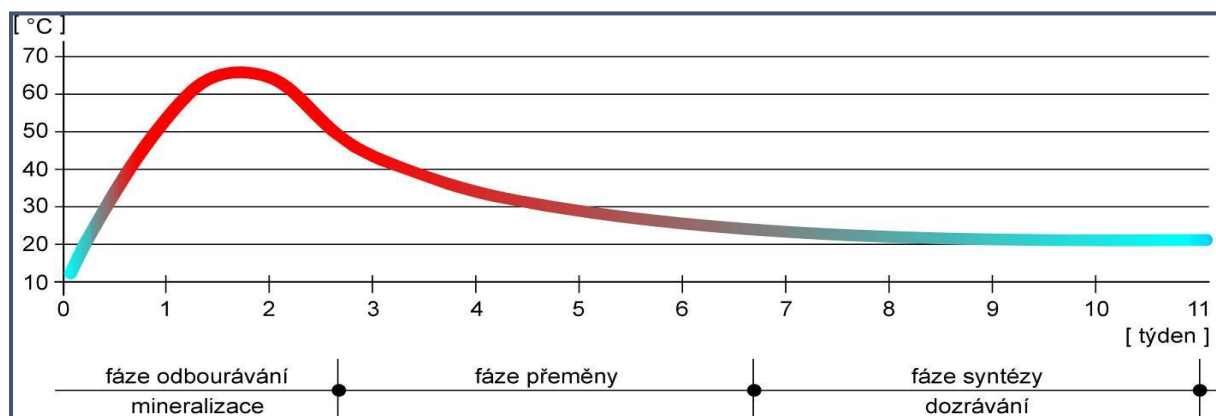
Jak již dříve bylo zmíněno, jedná se o proces aerobní skládající se ze tří hlavních fází. Rozdělení fázi probíhá pomocí elementárních vlastností jako je teplota, vzhled, pach a objem daného substrátu.

V průběhu rozkladu počátečního komplexního organického uhlíku, dusíku a organické hmoty vzniká měřitelné teplo. Metabolická aktivita mikroorganismů má za následek teplotní výkyvy v časovém období rozkladného procesu a tím je možné identifikovat hlavní fáze kompostování. Tyto různé fáze kompostování byly podle teploty rozděleny:

- první fáze mineralizace, nebo-li termofilní a hygienická fáze
- druhá fáze přeměny
- třetí fáze dozrávání, také jinak fáze syntézy.

Zmíněné fáze jsou znázorněny na obrázku č. 5 Graf průběhu teploty během kompostování.

Obrázek č. 7 Graf průběhu teploty během kompostování



Na délku jednotlivých fází má vliv skladba vstupních surovin, velikost jednotlivých částic, technologie a podmínky během samotného procesu kompostování (Plíva 2006).

### 3.2.1 První fáze

První fáze neboli fáze odbourávání je typickým znakem rychlého nárůstu teploty. Tato fáze trvá dva až tři týdny.

Proces kompostování začíná při teplotě okolí a za několik dní či hodin, teplota stoupne na 45 °C. Metabolická aktivita různých heterogenních skupin mikroorganismů vede ke zvýšení teploty, protože zmíněné mikroorganismy využívají dusík a uhlík obsažený v organické hmotě pro asimilaci. Rozklad rozpustných sloučenin, jako jsou cukry, produkuje organické kyseliny, a to je důvod proč může pH klesnout na hodnotu pohybující se kolem 4,0 až 4,5. Tato část fáze trvá dva až osm dní (Meena et al. 2021).

Druhá část první fáze je vytvrzování, nebo-li termofilní a hygienická fáze. Když teplota základního organického materiálu dosáhne teploty vyšší než 45 °C, mezofilní mikroorganismy jsou nahrazeny termofilními mikroorganismy, a to většinou termofilními bakteriemi, které mají schopnost růst při vyšších teplotách. Tyto termofilní mikroorganismy usnadňují degradaci komplexní organické hmoty, tj. celulózy a ligninu. Konverze dusíku na amoniak termofilními mikroby má za následek zvýšení pH hromady kompostu v této fázi. Zejména při teplotě nad 60 °C se začínají vyvíjet bakterie produkující spory a aktinobakterie, které jsou zodpovědné za štěpení vosků, hemicelulózy a dalších sloučenin komplexu uhlíku (Meena et al. 2021).

Vysoká teplota hromady kompostu během této fáze pomáhá při ničení kontaminantů a bakterií fekálního původu, tj. *Escherichia coli*, *Salmonella sp.* Helminthovy cysty a vajíčka, spory

fytopatogenních hub a semena plevelů atd. Tato fáze je známá jako fáze hygienizace. Současně je tato fáze velmi příznivá, protože vysoká teplota nad 55 °C pomáhá eliminovat spory fytopatogenních hub, helminthových cyst, semen plevelů a dalších škodlivých bakterií přítomných v mateřském materiálu, pokud zde existují, a dále zvyšovat hygienický výrobek (Meena et al. 2021).

### **3.2.2 2. Fáze**

Po vyčerpání zdrojů uhlíku a dusíku z kompostovacího materiálu se teplota hromady opět sníží přibližně na 40 - 45 °C. Během fáze přeměny nadále pokračuje degradace polymerů a celulózy a objevují se některé houby viditelné pouhým okem. Když teplota klesne pod 40 °C, aktivita mezofilních organismů se obnoví a pH hromady kompostu mírně poklesne, přičemž zůstává pH hromady kompostu mírně zásadité. Některé houby se mohou vyvíjet, a dokonce vytvářet viditelné struktury. Tato chladící fáze vyžaduje několik týdnů a může být zaměněna s fází zrání (Zemánek 2001).

Při této fázi dochází k odbourání přibližně 10 % směsi. Na rozklad špatně přístupných složek nastupují aktinomycety. Dochází k vymizení fytotoxicity a výluhy jsou hygienicky nezávadné (Zemánek 2001).

### **3.2.3 3. Fáze**

Konečná fáze zrání je charakterizována ještě nižší teplotou pod 25 °C. V důsledku vyčerpání substrátů mikrobiální aktivita termofilů ustává a mezofily se nyní vracejí zpět, aby opět rozeznaly organické látky ze spor. Zde přežívají pod vysokou teplotou a klíčí, když teplota klesne nebo prostřednictvím vnějšího očkování z prostředí nebo na okrajích hromady kompostu.

V konečné fázi se množství snadno dostupných substrátů stává limitujícím faktorem, což má za následek pokles mikrobiální aktivity, a to znamená snížení příjmu kyslíku a tepelného výkonu. Protože teplota byla snížena na mezofilní rozmezí teplot, houby se nyní znovu objeví v kompostu a jsou připraveny degradovat zbylé organické materiály.

Mikroflóra v této fázi hraje zásadní roli při zrání kompostu a potlačování chorob rostlin v důsledku metabolismu fytotoxických sloučenin.

Některé půdní houby dokážou lignin zcela rozložit, což by nedokázaly ani aktinomycety a bakterie. Očekává se, že konečný kompost bude ve zralé kvalitě, bude obsahovat nižší poměr C:N 15 – 20, vyšší hodnotu pH, snížený  $\text{NH}_4^+$  a zvýšený  $\text{NO}_3^-$  (Palaniveloo et al. 2020).

Tyto vlastnosti spolu s přítomností fyto toxických metabolitů pozitivně a udržitelně ovlivňují několik biologických, chemických a fyzikálních vlastností půdy.

### 3.2.4 Sledované parametry

#### Hodnota pH

Jedním ze zásadních faktorů je pH, který určuje mikrobiální aktivitu.

Nízké pH v bioodpadu je zapříčiněno organickými kyselinami s krátkým řetězcem, jako je hlavně kyselina mléčná a kyselina octová (Eklind et al. 1997). Mikrobiální tvorba a rozklad organických kyselin závisí na hladině kyslíku a dané teplotě. Vyšší koncentrace kyslíku vede ke snížení maximální koncentrace organických kyselin v kompostu a rychlejšímu rozkladu kyselin, a tím i rychlejšímu vzestupu pH (Sundberg & Jönsson 2008).

Zvýšené provzdušňování vede ke zvýšení koncentrace kyslíku a ke snížení teploty. U těchto základních podmínek procesu, bylo prokázáno, že vedou k rychlejšímu zvýšení pH během kompostování (Sundberg & Jönsson 2008).

Obvykle pH během počáteční fáze kompostování dramaticky poklesne a v následující fázi se zvýší. Chen et al. (2020) uvádí, že pokles pH je způsoben produkcí  $\text{H}^+$  během nitrifikace, vysokomolekulární organickou hmotou degradovanou na organickou a anorganickou kyselinu, těkáním  $\text{NH}_3$  a mineralizací dusíku a fosforu. Během období kompostování, a to obzvláště v raném období, by mělo být pH udržováno v rozmezí 7,5 – 8,5. Autoři odborného článku se zabývali vlivem úpravy vápna na změny organických látek, odstraňování antibiotik a speciálně transformaci těžkých kovů při kompostování prasečí kejdy.

Rich & Bharti (2015) má podobné výsledky, že dobrá mikrobiální aktivita je v rozmezí pH 6,7 až 9. Nízké pH by nikoli nejen inhibovalo mikrobiální aktivitu, ale také protáhlo nebo dokonce zabránilo přechodu mezofilní fáze do termofilní.

Během raných fází kompostování se pH kompostu okyselilo, v důsledku výše zmiňovaného procesu. V termofilní fázi vlivem přeměny amonia na amoniak stoupá pH, médium se alkalizuje, aby se nakonec ustálilo na hodnotách blízkých neutrálním. Optimální hodnota pH se

nachází v rozmezí 6,0 až 7,5 pro bakterie a 5,5 až 8,0 pro houby. Jestli-že pH kompostu přesáhne hodnotu 7,5 je větší pravděpodobnost vzniku ztrát amoniaku, který rychle vytéká z materiálu. Některé použité materiály například odpady ze zpracování hnoje, pocházejícího z kotců a stáji dojníc, obsahující určité množství dřevěných vláken, je nutné tepelně zpracovávat. Pro odstranění většiny cizích rostlinných kontaminantů, semen a papíru, které mohou zvyšovat pH oproti odpadům ze zpracování potravin, které snižují pH. Řízení pH v optimálním rozmezí je však obtížné a obecně se o to nepokouší (Chen et al. 2011).

## **Vlhkost**

Během kompostování je optimální udržovat vlhkost na takové úrovni, aby byl daný proces kompostování aerobní.

Některé materiály obsahující více vláken, například sláma či dřevní štěpka, mohou mít vyšší obsah vlhkosti (více než 60 % (Chen et al. 2011)) a tím dojde ke změně prostředí na anaerobní podmínky. Oproti tomu materiály například papír nebo zemina, které většinou obsahují méně vlhkosti, omezují vznik anaerobních podmínek. Obsah vlhkosti v kompostové základce se liší dle využitých materiálů, lze obecně říci že optimální rozmezí vlhkosti v základce je 40-70 % (Gwozdz 2010). Úpravu vlhkosti lze provádět i závlahovou vodou.

Stanovení vlhkost kompostu:

- a) laboratorně – gravimetrická metoda,
- b) přenosným provozním vlhkoměrem,
- c) orientační zkouškou, nazývaná také pěstní zkouška.

Příliš nízký obsah vlhkosti připraví mikroorganismy o potřebnou vodu, která je nutná pro jejich metabolismus a zároveň omezí jejich aktivitu, což má za následek prodloužení času potřebného pro proces kompostování. Naopak příliš vysoký obsah vlhkosti způsobí, že póry v materiálech budou snáze naplněny vodou nežli vzduchem. Díky tomu mohou tvořit oblasti s anaerobními podmínkami.

Vlhkost také usměrňuje teplotu v kompostu. Měně vlhké materiály se rychleji zahřívají oproti více vlhkým materiálům.

Materiály s různým obsahem vlhkosti lze promíchávat a následně se může dosáhnout požadované vlhkosti na začátku procesu.

Vlhkost se hodnotí dle platné normy ČSN 46 5735 s platností od listopadu 2020 (technické normy 2021).

## **Poměr C : N**

Pro určení skladby kompostu je důležitým kritériem poměr C:N, tedy uhlíku k dusíku, který ovlivňuje sílu činnosti mikroorganismů. Poměr C:N určuje dobu zrání kompostu, tvorbu humusových látek a tím výslednou kvalitu kompostu. Poměr C:N v zásadě říká jaký je poměr organických a anorganických látek.

Počáteční poměr C:N u založeného kompostu se má pohybovat v rozmezí 30 – 35:1 a ve zralém kompostu 25 – 30:1. Délku zrání prodlužuje vysoký poměr C:N a to 50:1 a obráceně k výraznému uspíšení procesu dochází při nízkém poměru C:N a to při 10:1. Nízký poměr C:N během kompostování znamená, že v procesu převyšuje obsah dusíku během metabolické přeměny mikroorganismů. Tím vznikají ztráty čpavkového dusíku a dochází ke snížení produktivity humusových látek. (Hejátková 2009).

Charakteristickým projevem úniku amoniaku je zápach. Během optimálního procesu kompostování by kompost neměl zapáchat a jeho struktura po ukončení procesu by měla být drobtovitá.

Při kompostování, oxidací organických látek dochází k uvolňování CO<sub>2</sub>. Důsledkem toho dochází ke snížení poměru C:N na požadovanou hodnotu. Nadměrné množství dusíku se uvolňuje ve formě amoniaku, který zapáchá. Jedná se o zápach, který kompostování běžně doprovází (Hejátková 2009).

## **Teplota**

Teplota hraje hlavní roli v procesu kompostování. Průběh teplot lze rozdělit do dvou částí. První část je mezofilní fáze, která je doprovázena teplotami v rozsahu +10 až +40 °C a druhá fáze je fáze termofilní, která je charakterizována vyššími teplotami nad 40 °C. Po těchto dvou fázích dochází k poklesu teplot, které by se měly u zralého kompostu stabilizovat na úrovni teploty okolního prostředí (Plíva 2006).

Pomocí teploty kompostování lze zjistit průběh určité fáze procesu a také určit dobu zralosti kompostu.

Teplotu ovlivňují především aktivity přítomných mikroorganismů v základce. Pokud neklesne teplota na úroveň okolního prostředí, proces stále pokračuje a mikroorganismy jsou nadále aktivní. Zároveň to indikuje, že kompost neobsahuje dostatečné množství stabilních organických látek.

Na hodnotu optimální teploty během kompostování se lze dívat dvěma pohledy.

Prvním pohledem je optimální teplota pro rozklad organických látek.

Druhým pohledem je význam z hlediska teploty potřebné k odstranění lidských, živočišných a rostlinných patogenních mikroorganismů a parazitů, a v případě výskytu semen plevelů či larev much.

Optimální teplota pro rozklad organických látek je dána především druhem surovin, neboť různé organické materiály se rozkládají při různých teplotách. Většinou je uváděno optimální rozmezí teplot od +50 °C do +60 °C , někdy i širší rozsah a to +43 °C až +65 °C (Kopačka 2009).

Výše teplot potřebných k odstranění nežádoucích patogenních mikroorganismů se rozlišuje podle druhu mikroorganismů a většina je předepsána v normě ČSN 46 5735.

Obecně platí, že potřebná teplota pro likvidaci patogenů má dosáhnout alespoň teploty 55 °C a pro zneškodnění semen plevelů 63 °C. Zároveň je s dosaženou hygienizační teplotou i nutno sledovat dobu po kterou je teplota udržována tak, aby se zajistil hygienizační účinek.

## **Obsah kyslíku**

Provzdušňování zlepšuje mikroprostředí kompostu, dodává kyslík, který je potřebný pro mikrobiální aktivitu a zároveň ovlivňuje teplotu uvnitř hromady.

Časté provzdušnění se provádí pomocí mechanických prostředků tak, aby se koncentrace kyslíku udržela na určité úrovni. Tím se docílí urychlení procesu kompostování.

Zheng et al. (2009) studie uvádí, že nejlepší míra spotřeby kyslíku pro kompost ze zahradního odpadu byla stanovena na 2,1 ml/min kyslíku po celou dobu trvání procesu. Stabilního kompostovacího produktu bylo dosaženo po 40 dnech (Zheng et al. 2009).

Přítomnost kyslíku v kompostovaném materiálu může také ovlivnit tvorbu zápachu. Vysoká úroveň koncentrace kyslíku snižuje rychlost emisí a kumuluje množství amoniaku, karbonsulfidu, sirouhlíku a methymercaptanu během kompostování (Michel et al. 1993).

Těkavé organické kyseliny a skleníkové plyny naproti tomu lze produkovat při nedostatečné hladině kyslíku, ale ne v případě, že je kyslíku dostatek (Ichel & Reddy 1998). Shen et al. (2018) zjistil, že pachy mohou být emitovány z kompostů z čistírenských kalů, pokud je koncentrace kyslíku pod optimální hodnotou.

Míra spotřeby kyslíku se používá k měření stupně biologické oxidace a rozkladu organické hmoty. Zralost kompostu lze posoudit podle změn v dýchání materiálů, měřením z hlediska spotřeby kyslíku a intenzity tvorby oxidu uhličitého.

## **Velikost částic**

Pórovitost a její struktura souvisí s fyzikálními vlastnostmi surovin, jako je například velikost částic, tvar a konzistence. Proces lze ovlivňovat pomocí množství vzduchu obsaženého mezi póry materiálů v hromadě. Zmíněná pórovitost a struktura je dána selekcí surovin pro daný proces kompostování. Další důležitý způsob je nadrcení či promíchání substrátu pro ovlivnění velikosti částic vstupujících materiálů do zakládky.

Pórovitost lze definovat jako poměr objemu dutin ku celkovému objemu kompostované hmoty. Výskyt větších a homogenních částic v hromadě zvyšuje její pórovitost.

Struktura říká o pevnosti částic, neboli jejich odolnosti proti zhutnění. Dostatečná struktura zabraňuje snižování pórovitosti ve vlhkém prostředí kompostové zakládky.

Menší částice mají větší povrchovou plochu v porovnání s jejich objemem a mohou být vystaveny výraznějšímu působení mikroorganismů, což urychluje proces rozkladu, a tedy i kompostování. Menší částice jsou výsledkem lepší homogenity vstupních surovin a zlepšují izolační schopnost hromady. Na druhé straně mohou malé částice způsobovat jisté problémy jako snížení pórovitostí, a tím i snížení provzdušnění kompostu (Kopačka 2009).

Nejlepšího výsledku bylo obvykle dosaženo při kompostování surovin s průměrnou velikostí částic v rozmezí 20 až 50 mm (Plíva 2006).



## Živiny

Mikroorganismy jsou zásadní pro přeměnu a přesun živin obsažených v půdě a zároveň i v kompostu. Z tohoto důvodu je studium bakterií a plísní přítomných v různých fázích kompostování důležité pro vytvoření živin v kompostu. Během procesu kompostování působí na celý proces, odlišné bakterie, které přispívají k přeměně dusíku, podobně jako houby a bakterie pomáhající solubilizaci fosforu a draslíku (Diaz et al. 2007). Tyto mikroorganismy by mohly vést ke zlepšení dostupnosti živin v půdě. Současně vzniká potřeba zapojit výchozí suroviny, které podporují množení mikroorganismů, které mají vliv na vznik živin během procesu kompostování.

Bakterie obsažené v kompostu jsou většinou rozkladači, které známe jako saprofyty patřící do skupiny chemoorganotrofních mikroorganismů. Mezi nimi lze nalézt také bakteriální rody jako *Pseudomonas*, *Burkholderia*, *Zymomonas*, *Xanthomonas* a aerobní bakterie fixující dusík. Chemolithotrofní mikroorganismy lze nalézt v kompostu jako nitrifikační bakterie, které přeměňují amonný dusík na dusitany a dusičnany. Nejreprezentativnějšími rody tohoto typu jsou *Nitrosomonas* a *Nitrospira* (Sánchez et al. 2017).

Houby jsou v přírodě rozkladači a lze je nalézt během první a poslední fáze procesu kompostování. Nejreprezentativnějšími rody jsou *Aspergillus*, *Acremonium*, *Chrysosporium*, *Fusarium*, *Mortierella*, *Penicillium* a *Trichoderma* (Sánchez et al. 2017).

Znalosti typů bakterií a hub přispívajících k rozkladu a transformaci živin, jakož i jejich fyziologie, jsou zásadní pro vývoj alternativ pro obohacení kompostu vysokým obsahem živin ve formách dostupných pro rostliny. Jednou z nejslibnějších strategií je očkování těchto mikrobiálních organismů za účelem solubilizace fosforu a draslíku a transformace dusíku (Sánchez et al. 2017).

### 3.3 Výhody a nevýhody kompostování

#### 3.3.1 Výhody

Jedna z největších výhod procesu zpracování biologických odpadů procesem kompostování, je možnost využití širokého spektra biologických odpadů.

Výhodou jsou, oproti jiným technologiím, relativně nízké provozní náklady a flexibilita ve zpracování materiálů. Díky relativně nízkým investicím do infrastruktury oproti jiným technologiím a nízkým provozním nákladům spojeným se stabilním procesem, lze

kompostování využít nejen jako hlavní proces zpracování organických odpadů, který pracuje nepřetržitě, ale také jako záložní proces při použití jiných technologií, kupříkladu anaerobní digesce.

Uvažujeme-li celkově zmiňovaný proces a jeho vliv na životní prostředí vychází, že tato technologie má minimální vliv na prostředí, zejména z důvodu uzavřeného oběhu uhlíku. Pozorujeme zde nízký únik methanu do ovzduší, díky tomu, že technologie neumožňuje zamezit tvorbě anaerobních podmínek v celé kompostovací hromadě (Bínová M, 2014). To produkuje nechtěný efekt tvorby methanu známého jako skleníkový plyn.

Nadále je tu omezování ukládání biologicky rozložených materiálů na skládky, tím dochází ke snížení vstupujících materiálů. Omezením skládkování se aktuálně zabývá Evropská unie a její nařízení o odklonu skládkování využitelných a recyklovatelných odpadů do roku 2030.

Zároveň je tu nesporná výhoda, využitelnosti vzniklého produktu na zemědělskou půdu. Na místech aplikace se zlepšují vlastnosti, které byly zmíněny v kapitole 3.1 Kompostování. Současně je zde možnost kombinace mulčů a kompostu například pro přihnojování rostlin.

### **3.3.2 Nevýhody**

Hlavní nevýhodou kompostování odpadů je případný výskyt těžkých kovů ve vstupních materiálech. Zkoncentrování obsahů těžkých kovů v konečném produktu může následně působit negativně na životní prostředí. Některé těžké kovy jsou toxické pro půdu, rostliny, vodní živočichy, popřípadě i pro lidi, pokud jsou překročeny bezpečné koncentrace v kompostu. Těžké kovy obecně vykazují toxické účinky na půdní biotím, že mají vliv na klíčové mikrobiální procesy a tím snižují počet a aktivitu půdních mikroorganismů. Dokonce i nízká koncentrace těžkých kovů může způsobit inhibici fyziologických metabolismů rostlin. Příjem těžkých kovů rostlinami a následná akumulace v potravním řetězci je potenciálním nebezpečím pro zdraví zvířat a lidí. Kontaminanty ve vodních systémech, včetně těžkých kovů, stimulují produkci reaktivních forem kyslíku, které mohou škodit rybám a dalším vodním organismům (Singh & Kalamdhad 2018).

Proto musí být kompost kontrolován pro využití v zemědělství, tak aby obsahoval nejlépe nulové koncentrace, popřípadě splňoval limity těžkých kovů dle příslušných zákonů.

Během procesu se také uvolňují plyny, které mohou lidem vadit, popřípadě zapáchat.

Chemické složení emisí plynů z kompostování se značně odlišuje v závislosti na povaze vstupních materiálů a provozních podmínkách daného typu procesu. Terpeny a okysličené sloučeniny (alkoholy, estery a ketony) obecně významně vedou k celkovým hmotnostním emisím organických matric obsahujících rostlinné a potravinářské materiály, jako jsou biologické odpady, komunální odpad atd.. Oproti tomu emise ze zemědělských odpadů, čistírenských kalů a některých digestátů jsou tvořeny hlavně amoniakem.

Dle studie Rincón et al. (2009) tvoří silný pachový dopad emisí vznikajících při kompostování vstupních materiálů, například jde o zemědělský nebo potravinářský odpad, kde byl prokázán emisními faktory vyšší než 1000 OUE g<sup>-1</sup>OM<sub>0</sub>. Oproti tomu kompostování pevných odpadů vykazovalo, pomocí aerobní úpravy digestátů, nižší kumulativní hmotnostní emise sloučenin OEF pod 30,5 OUE g<sup>-1</sup>OM<sub>0</sub>. Vzniklý rozdíl souvisel s vyšším stupněm stabilizace organické hmoty obsažené v anaerobně vyhnílených materiálech.

Výluhy z kompostovaného materiálu v prvním stádiu kompostování vznikají v závislosti na podmínkách dvacet až čtyřicet litrů výluhu na jednu tunu vstupního materiálu s vysokou hodnotou CHSK.

### **3.4 Použití kompostu**

Důležité pro využití produktu z procesu kompostování, je nutné znát množství obsažených živin, hodnoty rizikových látek, strukturu kompostu a mnoho dalších informací.

Nepřesné nakládání s odpady je bohužel běžnou praxí. Odpady pak nelze využít jako druhotné suroviny pro průmysl, výrobu kompostů apod. Pro nakládání s přírodními odpady lze použít i ekologičtější procesy, jako je například kompostování.

Celý svět, zejména Evropská Unie, si klade za cíl zlepšení životního prostředí do roku 2025 a směřuje ke zlepšování životního prostředí a lidského zdraví.

Kompostování jako proces organické přeměny na produkt kompost s využitím jako jsou hnojiva může hrát významnou roli při dosahování tohoto cíle. Zaměření na kompostování způsobuje posun ve využívání chemických hnojiv ve prospěch kompostu. Zmíněný odklon od chemických hnojiv podporuje životní prostředí a lidské zdraví tím, že snižuje počet toxických chemikálií uvolňovaných do životního prostředí. Dnes zemědělci zjišťují, že kompost má dlouhodobější, kvalitní a lepší účinky oproti vyráběným umělým hnojivům na zemědělskou

půdu. Nadále je potřeba osvěty ohledně potenciálu této technologie, kterou by zemědělci plně akceptovali.

Vzhledem k obsahu velkého množství živin v kompostech se doporučuje extrahovat z kompostů mono živiny. Stává se, když se provádí analýza půdy před výsadbou, že může dojít k nedostatku jedné živiny (Ayliara et al. 2020). Extrakce mono živiny z kompostu a jeho použití na půdu, jako mono hnojivo zmírní nadměrné aplikace živin, které není potřeba dodávat. Také je možné extrahovat mikroorganismy, které degradují složitě rozložitelné materiály, a využít je jako inokulum pro urychlení procesu kompostování (Ayliara et al. 2020).

Dle článku autorů Ayliara et al. (2020) by mělo být provedeno více výzkumů s cílem objevit mechanismus zachycování zápachu, pro vyřešení problému znečištění ovzduší spojeného s výrobou kompostu. Postrádáme ustanovení o zachycování oxidu uhličitého k zabránění uvolňování skleníkových plynů z procesu kompostování.

Například po celé Evropě odpadové společnosti, v důsledku vládních dotací, přesunuly své investice do systémů anaerobní digesce. Vládní dotace přinesly nový vývoj a integraci bioenergetických procesů (anaerobní digesce, biouhel) do kompostování. Vedlejší produkty bioenergetických procesů je možné kompostovat pro zvýšení hodnot a tím získat agronomické a ekologické výhody.

Schopností kompostu je vylepšovat strukturu půdy a dostupnost živin přidáním látek, které zlepšují přísun živin obsažených v půdě, zvyšují jejich koncentraci a jsou k dispozici v kompostu. Živiny byly často zaměřeny na dusík. Minerální fosfát dostupný pro rostlinnou produkci je omezený zdroj, byl uznán později a jeho predikce dostupnosti po roce 2035 je snížena. Efektivní využití fosforu, který může obsahovat kompost, má za cíl významně prodloužit životnost zdrojů minerálního fosforečnanu (Ayliara et al. 2020).

Pro výrobu účinného kompostu lze z rostlin dodat antihád'átka, viricid, baktericid a fungicid. Pomůže to podpořit výhradně ekologické zemědělství tím, že zabrání používání chemických látek, současně selepší přísun živin obsažených v kompostu a zefektivní přeměnu materiálu během procesu. Dochází díky tomu k podpoře výhradně ekologického zemědělství a k omezení využívání chemických látek (Ayliara et al. 2020). Pomalu degradující materiály je vhodné kompostovat separačně tak, aby materiály neprodlužovaly samotnou dobu procesu, zejména u rychle degradujících materiálů, nebo se mohou zkombinovat, kde je nutné brát zřetel na různé vlastnosti materiálů.

Článek od autorů Ayliara et al. (2020) doporučuje, aby byl proveden další výzkum pro určení u materiálů, jejichž kompostování trvá déle a které postupně mineralizují. Pokud ano, tyto materiály by mohly být využitelné pro dvouleté a víceleté plodiny z důvodu schopnosti dlouhodobého zdroje živin, které nedegradují tak rychle. Tento článek doporučuje, ještě provést další výzkum, pro potvrzení účinnosti této hypotézy.

Samotný kompost se odlišuje dle procesu v kompostárně, různorodostí vstupních materiálů, různým typem zpracování vstupních materiálů, délkou procesu a podobně.

Článek také doporučuje, aby se prováděl další výzkum, jak vylepšit dobu kompostování. Metoda Berkley byla objevena v minulosti a stále je nejrychlejší metodou kompostování, objev rychlejších metod pomůže udržet a více zpřístupnit proces kompostování.

Metoda Berkley vyniká v tom, že dokáže rozložit materiál na kompost již za 18 dní. Metoda byla vyvinuta v Americe ve městě Berkeley, ve státě Kalifornie na Kalifornské univerzitě. S 18denní metodou Berkley je postup poměrně přímočarý a může být shrnut do tří základních kroků. Vytvoření základky následně čtyři dny bez aretace a po následujících 14 dnů, se po každém druhém dni materiál provzdušňuje.

Hlavní cíl využití kompostu je v zemědělství a zahradnictví se záměrem zvýšit produktivitu rostlin a zlepšit jejich kvalitu. Další významnou funkcí kompostu je zlepšení fyzikálních vlastností půdy se záměrem zlepšení podmínek, zvýšení zachytávání půdní vody a snížení odtoku a erozi. Vylepšení interakce mezi půdou a vodou je nesmírně klíčové při obnově vegetace narušené půdy například dříve těžební oblasti nebo městské lokality, kde docházelo k vyčerpání ornice, popřípadě k celkovému zlepšení úrodnosti zemědělských ploch (Epstein 2011).

Kompost se využívá i jako výrobek pro kontrolu zápachu při bio-filtraci. V mnoha využitích je záměna kompostu za jiné organické materiály například široce využívaná rašelina. Použití kompostu snižuje ekonomické náklady oproti využití rašeliny. Z důvodu, že náklady na rašelinu se zvyšují a také v důsledku nákladů na dopravu a na těžbu a na omezené zdroje rašeliny na zemském povrchu.

Přípustnost a využití kompostu závisí na jeho kvalitě. Kvalita velice závisí na vstupních surovinách a na způsobu procesu kompostování. Zásadním kritériem kvality jsou chemické, biologické a fyzikální vlastnosti:

- chemické - živiny pro rostliny, stopové prvky, soli, organické sloučeniny
- biologické - stabilita, zralost, patogeny
- fyzikální - velikost částic, struktura a podobně.

Kompost má být vždy před samotnou aplikací na půdu posouzen z hlediska zralosti, patogenů, toxických látek a zda splňuje normy na dané využití a použití. Díky tomu se omezí, popřípadě zabráni, potenciálnímu ohrožení životního prostředí, ohrožení živých tvorů a následně i vliv na lidské zdraví.

Znalost a pochopení daného kompostu, jak jej nejlépe využít pro různé aplikace, jsou nezbytné pro správné využívání.

### **3.5 Mikropolutanty a jejich osud při kompostování**

Lazzari et al. (1999) zkoumali vliv kompostování na chování PCB a PAHů. Výsledkem studie bylo, že PCB nejsou výrazně degradovány, ale naopak vlivem snižující se hmotnosti materiálu během procesu, dochází k jejich zkoncentrování. Těkavost byla omezena z důvodu interakce s organickou hmotou. Sloučeniny PAHů, které jsou biologicky rozložitelné, existuje významná degradace až o 78 % (Lazzari et al. 1999). Některé těžké PAHy jsou jen částečně degradovány, a to během překopávací fáze, ale zvyšují svou procentuální přítomnost během fáze zrání (Lazzari et al. 1999).

Sadef et al. (2014) uvádějí, že rychlosti odstraňování se mění s teplotou a patnáct zkoumaných sloučenin vykazovalo optimální teplotu, při které bylo odstraňování maximální. Bakterie jsou příčinou odstraňování sloučenin s vysokými optimálními teplotami (50 °C a více), oproti aktinomycetům a houbám, které odstraňují sloučeniny s nižšími optimálními teplotami. V článku se dále uvádí, že existují i sloučeniny, pro které platí větší rozsah optimálních teplot pro odstranění během procesu kompostování. Rozsah poukazuje na možnost více druhů mikroorganismů, zastoupených v kompostování a na možnost odstranění daných sloučenin (Sadef et al. 2014).

Výsledek studie Sadef et al. (2014) poukazuje na to, že kompostováním je možno odstranit mnoho různých organických sloučenin, ale také uvádí, že budou pravděpodobně optimálně odstraněny v různých bodech procesu kompostování. Tímto se dá usoudit, že samotný proces

kompostování dokáže odstranit či alespoň snížit koncentrace široké škály organických polutantů, včetně jejich metabolitů, je-li přiměřená doba procesu kompostování.

## 4 Metodika

Pokus byl prováděn na pokusné stanici FAPPZ v Červeném Újezdu.

Kompost se skládal ze dvou základních surovin.

První vstupní surovinu tvořil čistírenský kal, který se získal z menší čistírny odpadních vod o hmotnosti 45 kg.

Druhá využitá surovina byly slaměné pelety o hmotnosti 27 kg. Pelety se před vložením do procesu kompostování navlhčily za účelem rozložení.

### 4.1.1 Příprava na kompostování zkoumaných materiálů

Nejprve byla připravena směs vstupních surovin, která byla následně uložena do jednotlivých aerobních fermentorů. Fermentory byly ponechány na stejném místě z důvodu srovnání teplot a zároveň pro případnou tvorbu výluhu. Druhý den po založení byly výluhy z aerobních fermentorů navráceny do kompostovaného materiálu. Samotné fermentory byly následně umístěny do předem připravené místnosti.

Pro měření teploty uvnitř fermentorů byly shora zavedeny teplotní sondy. Umístění sond bylo přibližně do poloviny výšky daného kompostovaného materiálu. Jednotlivé teploty byly zapisovány po uplynutí jedné hodiny a získané hodnoty se uchovávaly a shromažďovaly do datové ústředny.

Následně byly do fermentorů zavedeny jednotlivé hadičky a na druhé straně výstupu byly připojeny k analyzátoru plynů. V analyzátoru byly zjišťovány obsahy plynů CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub>.

Současně s tím byly fermentory provzdušňovány zespoda za pomoci kompresoru.

Po dobu 14 dnů byly nastaveny podmínky průtoku vzduchu na 4 l/min. Průtok vzduchu trval 5 minut v každé půlhodině. Následně časový interval průtoku vzduchu byl zkrácen na 3 minuty v každé půlhodině.

### 4.1.2 Průběh kompostování

Samotný proces kompostování byl založen dne 19.03.2020. Kompostování probíhalo v pěti různých poměrech ku vstupním surovinám. Jednotlivé varianty byly vyhotoveny ve dvou provedeních, viz. tabulka č.1.



Tabulka č. 1 Poměr vstupních surovin v aerobních fermentorech

č. aer. ferm.	Složení směsi
1	kal 100 % hm. (45 kg)
2	kal 100 % hm. (45 kg)
3	kal 75 % hm. (33,75 kg) + pelety 25 % hm.
4	kal 75 % hm. (33,75 kg) + pelety 25 % hm.
5	kal 50 % hm. (22,5 kg) + pelety 50 % hm.
6	kal 50 % hm. (22,5 kg) + pelety 50 % hm.
7	kal 25 % hm. (11,25 kg) + pelety 75 % hm.
8	kal 25 % hm. (11,25 kg) + pelety 75 % hm.
9	pelety 100 % hm. (27 kg)
10	pelety 100 % hm. (27 kg)

Samotný proces s větším zastoupením pelet prokazoval už po uplynutí jednoho měsíce znaky relativně vysušeného materiálu. Zároveň ze zmiňovaných variant nevznikl na dně fermentoru výluh. Pro udržení hmotnostního poměru čistírenského kalu a slaměných pelet se musela dodat voda do fermentorů i s nižším podílem pelet.

Suroviny a jejich směsi byly kompostovány po dobu 4 měsíců v deseti aerobních fermentorech o pracovním objemu 70 l a o poloměru 23 cm. V příloženém obrázku č. 6 je znázorněn zmiňovaný fermentor.

Obrázek č. 8 Aerobní fermentor





Na obrázku č.7 je uspořádání jednotlivých aerobních fermentorů.

## 4.2 Odběr vzorku

Před jednotlivými odběry vzorků byl eventuálně vzniklý výluh navrácen zpět do kompostovaného materiálu za účelem zajištění uzavřeného cyklu látek. Následně byla změřena úroveň výšky materiálu. Vzhledem ke znalosti poloměru fermentoru, byl následovně z naměřených hodnot určen objem materiálu. Obsah z fermentoru byl vyprázdněn do nádoby zvané lavor a pomocí této nádoby byla stanovena hmotnost. Na základě zjištěné hmotnosti a určeného objemu byla vypočtena objemová hmotnost materiálu. Po prvním odběru vzorků následovalo jednorázové dodání 0,5 l vody a vzhledem k tomu, že se voda nedoplnila při začátku pokusu, vzniklá směs se promíchala. Jedenkrát měsíčně, pokaždé před začátkem odebírání vzorků, byl materiál náležitě promíchán, a to zajistilo vylepšení vzdušnosti během procesu kompostování.

Každý měsíc po dobu 4 měsíců byly zajištěny vzorky. Odebrané vzorky byly z každého fermentoru 3 x 400 g. Velikost odebraných vzorků byla 3 x 30 g určených k uložení do lednice, dalších 3 x 200 g určených na sušení a na vložení do mrazáku 3 x 150 g. Nakonec byly vysypané směsi z fermentorů vloženy zpět do příslušných aerobních fermentorů.

### 4.3 Analytické stanovení mikropolutantů

Pro analytické stanovení mikropolutantů byla využita metoda zvaná Extrakce s rozpouštědlem za zvýšeného tlaku a teploty.

Odebrané vzorky byly extrahovány methanolem za zvýšeného tlaku a teploty pomocí přístroje Dionex ASE 200, obrázek č. 9.

Do extrakční patrony, obrázek č.8, bylo vloženo 1,5 g vzorku a patrona byla následně doplněna po okraj praným mořským pískem.

Obrázek č. 14 Nerezové patrony



Teplota methanolu byla 80 °C a tlak měl hodnotu 10,3 MPa.

Samotná extrakce probíhala ve třech extrakčních cyklech s pěti-minutovými statickými kroky na počátku každého cyklu.

Obrázek č. 20 ASE 200



Obrázek č. 17 Centrifuga



Získané methanолоvé extrakty byly odpařeny na objem okolo 5 mL a poté centrifugovány, obrázek č. 10, o hmotnosti 6 000 g po dobu 10 minut.

Následně byly extrakty analyzovány na kapalinovém chromatografu s hmotnostní detekcí za pomoci trojitého kvadrupólu.

### **Kapalinová chromatografie**

Získané methanолоvé extrakty byly analyzovány na kapalinovém chromatografu, obrázek č. 11, s hmotnostní detekcí Agilent 6470 Triple Quadrupole LC/MS System.

System byl složen z kolony Agilent Poroshell 120 EC-C18, o velikosti 100×3 mm o 2,7 μm, dále z předkolony Agilent Poroshell 120 EC-C18 (5×3 mm; 2,7 μm) a trojitým kvadrupólem Agilent 6470.

Jako mobilní fáze byly využity 0,5 mM fluorid amonný v MiliQ vodě (aditivum se použilo 0,01% kyselina mravenčí) (A) a 100% methanol (B).

Postup gradientové eluce byl následující: (čas [min], % fáze B): 0, 5; 0.5, 5; 3.17, 50; 4.5, 50; 12.5, 100; 14.5, 100; 15.17, 5; 15.83 a 5.

Doba jedné analýzy činila 16,5 minuty. Průtok mobilní fáze byl 0,6 mL/min a objem nástřiku 2 μL.

Chromatografická kolona byla vyhřívána na teplotu 40 °C. Zdrojová teplota se pohybovala při teplotě 100 °C při průtoku plynu ve zdroji 6 l/min.

Vzorky byly analyzovány metodou standardního přídatku s cílem eliminace rušivého působení matrice. Koncentrace standardů přidávaných ke vzorku se pohybovala pokaždé v rozsahu 1, 5 a 25 ng/mL. Vzorky o vysoké koncentraci sledovaných analytů v rozsahu mimo kalibrační rozsah, byly zředěny za pomoci methanolu a opět prošly procesem analýzy.

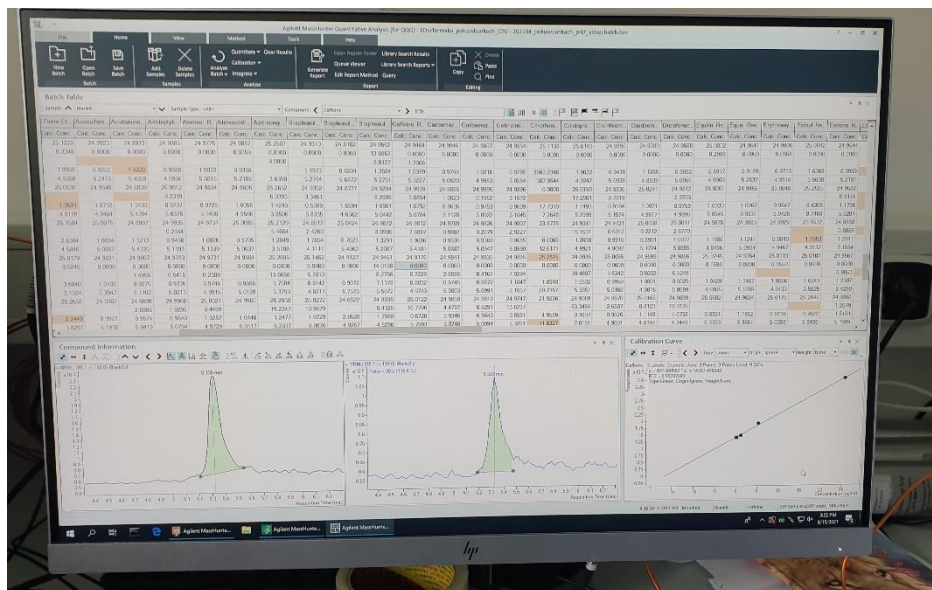
Podmínky měření hmotnostního spektrometru byly optimalizovány za pomoci programu MassHunter Workstation Optimizer a Source Optimizer (Verze 10.0, SR1, Agilent) a jsou uvedeny v příloze č. 4.

Vyhodnocení dat probíhalo v programu MassHunter Workstation Quantitative Analysis (Verze 10.0, Agilent). Pro názornost je na obrázku č. 12 uveden výstup v podobě chromatogramu.

Obrázek č. 26 HPLC-MS pro cílenou analýzu



Obrázek č. 232 Chromatogram



## 4.4 Mikropolutanty

V pokusu se sledovalo 48 mikropolutantů z toho 34 farmak a zbylých 14 endokrinních disruptorů.

Konkrétně se jedná o Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Atenolol, Atorvastatin, Kofein, Carbamazepine, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Cetirizine, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Erythromycin, Flukonazol, Gabapentin, Hydrochlorothiazide, Ibuprofen, Iomeprol, Ketoprofen, Lamotrigine, Metoprolol, Mirtazapine, Naproxen,



Omeprazole, Paraxanthine, Saccharine, Sulfamethazine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide, Sulfapyridine, Telmisartan, Tramadol, Triclosan, Trimethoprim, Venlafaxine, 17alfa-Estradiol, 17beta-Estradiol, Bisphenol A (BPA), Bisphenol F (BPF), Daidzein, Equilin, Equol, Estriol, Estrone, Ethinylestradiol, Genistein, Norethindrone, Norgestrel a Zearalenol.

#### **4.4.1 Podrobnější představení významných mikropolutantů**

##### **Telmisartan**

Telmisartan se řadí do skupiny léků známých jako blokátory receptoru Angiotensinu II. Angiotensin II vzniká v těle. Díky tomuto prvku dochází v těle k zúžení cév, a to zapříčiňuje zvýšení krevního tlaku. Telmisartan blokuje účinek Angiotensinu II, proto se v těle zvětšuje průchodnost cév, a tím klesá hodnota krevního tlaku.

Telmisartan je nepeptidový antagonist receptorů pro Angiotenzin II, vysoce selektivní pro AT1-receptory. Po perorálním podání je absorbován s biologickou dostupností 42 – 57 %, maximální plazmatické koncentrace dosahuje do 1 hodiny. Jeho biologický poločas eliminace je 24 hodin. Telmisartan je indikován k terapii hypertenze. Je možné jej podávat v monoterapii nebo v kombinaci s jinými antihypertenzivy. Srovnávací studie ukázaly, že ve snižování krevního tlaku je srovnatelně účinný jako hlavní skupiny ostatních antihypertenziv. Nežádoucí účinky jsou mírné a nepřevyšují míru pozorovanou ve skupinách placebo. V klinických studiích přerušilo léčbu z důvodu nežádoucích účinků 2,8 % pacientů, což bylo méně než ve skupinách placebo (6 %). Ve srovnání s inhibitory ACE nezpůsobuje Telmisartan suchý kašel. Terapeutické rozmezí je mezi 20 a 80 mg jedenkrát denně, obvyklá zahajovací dávka je 40 mg jedenkrát denně. U starších pacientů a pacientů s renálním selháním není třeba upravovat dávku Telmisartanu. (Doležal 2002).

##### **Triclosan**

Jedná se o chlorovanou organickou látku, která je často aplikována, a to především díky svým antibakteriálním účinkům. Dříve se používal jako herbicid a nyní se uplatňuje jako biocidní a konzervační složka čistících, dezinfekčních, kosmetických a farmaceutických přípravků. Je také součástí mnoha plastových a textilních výrobků běžné spotřeby.

Do prostředí se dostává nejen únikem při výrobě, ale také použitím výrobků, jichž je součástí. Při úniku do atmosféry rychle reaguje s hydroxylovými radikály. Po určité době v atmosféře reaguje, opět se změní na pevnou látku a klesá zpět na zemský povrch. V půdě je málo

pohyblivý, odstranění je možné buď pomocí zpětného odparu nebo případným UV zářením. Ve vodě je vázán na sedimenty, kde podléhá biologickému rozkladu. Bioakumulace ve vodních organizmech je nízká až střední. Triclosan je významný kontaminant odpadních vod (Petrlík & Válek 2018).

Člověk se může dostat s Triclosanem do kontaktu po pozření anebo pomocí kožního kontaktu. U citlivých jedinců dokáže způsobit kožní alergie. Triclosan v chlorované pitné vodě může reagovat na chloroform, látku řazenou mezi podezřelé lidské karcinogeny. U zvířat byl sledován negativní vliv na hormonální systém. Toxické účinky na lidský organismus jsou stále předmětem vědeckých výzkumů (Petrlík & Válek 2018).

### **Citalopram**

Citalopram je v podstatě selektivní inhibitor zpětného vychytávání serotoninu. Jeho působení napomáhá průběhu serotoninergní neurotransmise. Citalopram nemá žádnou, popřípadě má jen malou afinitu k receptorům serotoninovým 5-HT<sub>1A</sub>, 5-HT<sub>2</sub>, dopaminovým D<sub>1</sub>, D<sub>2</sub>, adrenergním alfa<sub>1</sub>, alfa<sub>2</sub>, beta, histaminovým H<sub>1</sub>, cholinergním muskarinovým, benzodiazepinovým a opioidním (Švihovec et al. 2021).

Během používání Citalopramu se minimálně objevují nežádoucí účinky, obvyklé u méně selektivních antidepresiv. Citalopram neovlivňuje vigilitu, netlumí ani nestimuluje, nenarušuje kognitivní funkce ani psychomotoriku. Má velmi jednoduché dávkování, což je výhodné u depresivních nemocných, u kterých zpravidla nebývá dobrá compliance (Švihovec et al. 2021).

### **Bisphenol A (BPA)**

Jedná se o průmyslovou chemickou látku používanou ve výrobě umělých hmot (polykarbonátu a epoxidových pryskyřic). Jedná se o syntetickou látku na základě uhlíku, připravenou pomocí chemické reakce fenolu s acetonem v kyselém prostředí.

Samotná látka se řadí do endokrinních disruptorů. Disruptory napodobují působení přirozeně produkovaných hormonů, blokují v buňkách receptory hormonů, ovlivňují syntézu, transport, metabolismus a vylučování hormonů.

BPA se řadí do kategorie reprodukčních toxických látek skupiny 1B. 1B skupina vypovídá, že látka této skupiny pravděpodobně působí negativně na schopnost reprodukce u člověka. Dále

BPA dokáže napodobit estrogen, ovlivňovat procesy v tělech živočichů a negativně působit na zdraví (Háchová 2015).

### **Diclofenac**

Diclofenac je nesteroidní protizánětlivé léčivo ze třídy kyseliny fenyloctové. Neovlivňuje však příčinu zánětu.

Diclofenac je eliminován po biotransformaci na glukorokongugované a sulfátové metabolity, které jsou vylučovány močí, velmi malé množství léčiva je eliminováno v nezměněné podobě. Vylučování konjugátů může souviset s funkcí ledvin. Akumulace konjugátu se vyskytuje v konečném stadiu onemocnění ledvin; při srovnání mladých a starších jedinců však není patrná žádná akumulace. Úprava dávkování u starších osob, dětí nebo pacientů s různými chorobnými stavy (jako je onemocnění jater nebo revmatoidní artritida) nemusí být nutná (Dacies & Anderson 2012).

Léčivo je určeno pro krátkodobou léčbu následujících stavů: Léčba bolestivých poúrazových stavů s projevy otoku nebo zánětu (Dacies & Anderson 2012).

Na doporučení lékaře: akutní artritida (zánětlivé postižení kloubů) včetně záchvatů dny, chronická artritida (zvláště revmatoidní artritida), Bechtěrevova choroba a další zánětlivá kloubní onemocnění postihující především páteř, bolestivé stavy na podkladě degenerativních onemocnění kloubů a páteře (osteoartróza a spondylartróza), mimokloubní revmatismus (revmatismus měkkých tkání) (Dacies & Anderson 2012).

### **Cetirizine**

Cetirizine je dobře znám v léčbě symptomů sezónní alergické rýmy, celoroční alergické rýmy nebo u chronické idiopatické kopřivky. Prokázal kortikosteroidy šetřící účinek a snížil relativní riziko rozvoje astmatu u senzibilizovaných kojenců s atopickou dermatitidou. Cetirizine byl účinný při léčbě alergického kašle a při kousnutí komáry (Curran et al. 2004).

Na základě své příznivé účinnosti a profilu snášenlivosti a rychlého nástupu účinku poskytuje Cetirizin důležitou možnost pro léčbu široké škály alergických onemocnění.



## **Kofein**

Kofein je aktuálně jedním z nejvíce využívaných stimulantů centrální nervové soustavy. Ve světě se využívá pro své významné účinky ve fyziologických a farmakologických odvětvích. Za účinky lze vyjmenovat například vliv na kardiovaskulární systém, renální soustavu a podobně. Kofein dále dokáže ovlivňovat náladu, paměť, bdělost, hlavně fyzický výkon a kognitivní funkce. Díky zmíněnému účinku na lidský organismus, se dá zařadit jako zajímavá složka stravy a využít například pro zlepšení učení nebo při zvyšování sportovního výkonu (Dreslerová 2018).

Samotná látka kofein je složena z purinového alkaloidu rostlinného původu, která se nachází v kávových zrnech a kakaových bobech, listech čajovníku a cesmíny, semenech guarany a v kolovém ořechu. Kofein se řadí mezi methyxanthiny působící jako antagonisté tlumícího neurotransmiteru adenosinu. Tato látka nepřímo usnadňuje přenos nervových impulsů v mozku, srdci a ledvinách (Linhart 2014).

Kofein dokáže, vyjma již popsaných účinků, působit při akutním příjmu mírně močopudně, vasokonstrikčně a může také zvyšovat krevní tlak a ovlivňovat srdeční tep. Při příjmu ve zvýšeném množství dokáže dráždit sliznici žaludku. Při příjmu ve vysokých dávkách může způsobit řadu nežádoucích účinků, například dezorientaci, zmatenost a dokáže také vyvolávat agresivní chování (Dreslerová 2018).

## 5 Výsledky

Obsahy mikropolutantů ve směsích vložených do fermentorů se vypočtou ze surovin pelet a čistírenského kalu, viz příloha 5, z jejich průměrů a dále se hodnotí až po 1 měsíci odběru.

Přepočet dat se provedl dle vzorce uvedeného na obrázku č. 13.

Obrázek č. 29 Přepočet

$$\frac{(hm. kalu * suš. kalu * konc. v kalu) + (hm. pelet * suš. pelet * konc. v pel.)}{(hm. kalu * suš. kalu) + (hm. pelet * suš. pelet)}$$

- *hm. kalu* = hmotnost kalu
- *suš. kalu* = průměrná sušina kalu
- *konc. v kalu* = koncentrace mikropolutantu stanovená u čistírenského kalu
- *hm. pelet* = hmotnost pelet
- *suš. pelet* = průměrná sušina slaměných pelet
- *konc. v pel.* = koncentrace mikropolutantu stanovená u slaměných pelet

Vypočtená data jsou uvedena v příloze č. 1 pod názvem Vstupní hodnoty. Z grafu je patrné, že nejvyšší koncentrace dosahuje látka zvaná Telmisartan, která byla představená v kapitole 4.4.1. Nejvyšší koncentrace dosáhla v AEF 1 a to 791,04 ng/g.

### 5.1 Vyhodnocení dat

#### 5.1.1 Vstupní koncentrace

Vstupní koncentrace jsou uvedeny v příloze č. 1.

Největší koncentrace sledovaných mikropolutantů dosahoval samotný čistírenský kal.

Nejmenší koncentrace sledovaných látek dosahovaly slaměné pelety. Mikropolutanty v peletách se vyskytovaly Kofein, Mirtazapine, Sulfapyridine, Telmisartan a Venlafaxine.

Koncentrace sledovaných mikropolutantů v aerobních fermentorech č. 3 až č. 8 se vypočetly dle vzorce, uvedeného na obrázku č. 13.

#### 5.1.2 Po měsíci

V příloze č. 2 je uveden graf koncentrací mikropolutantů v jednotlivých aerobních fermentorech po uplynutí 1 měsíce od zahájení procesu kompostování.

V níže uvedené tabulce č. 2 je znázornění statistického vyhodnocení, v programu Statistika. Sledujeme zde celkový průměr koncentrace pro daný sledovaný mikropolutant. Směrodatná odchylka vypovídá, o kolik se od sebe navzájem typicky odlišují jednotlivé mikropolutanty. Je-li malá, jsou si mikropolutanty navzájem podobné, a naopak velká směrodatná odchylka signalizuje velké vzájemné odlišnosti. Z toho vyplývá, že Telmisartan nejvíce vybočuje velikostí koncentrace. Mikropolutant Omeprazole se nejvíce přibližuje průměrným hodnotám.

Tabulka č. 2 Statistické vyhodnocení dat po jednom měsíci

Statistické vyhodnocení			
Mikropolutant	Po měsíci		
	Průměr	Sm.Odch.	Rozptyl
17alpha-Estradiol	0,000	0,000	0,000
17beta-Estradiol	0,000	0,000	0,000
Acetaminophen (Paracetamol)	0,000	0,000	0,000
Amitriptyline	0,000	0,000	0,000
Atenolol	1,592	2,000	1
Atorvastatin	3,794	22,000	5
Bisphenol A (BPA)	61,365	3526,000	59
Bisphenol F (BPF)	0,000	0,000	0,000
Caffeine	24,929	160,000	13
Carbamazepine	18,275	188,000	14
Carbamazepine 10,11-epoxide	0,000	0,000	0,000
Cetirizine	31,608	770,000	28
Citalopram	131,384	10763,000	104
Clarithromycin	13,298	155,000	12
Daidzein	8,943	112,000	11
Diclofenac	51,833	2582,000	51
Equilin	0,000	0,000	0,000
Equol	1,295	7,000	3
Erythromycin	0,000	0,000	0,000
Estriol	0,000	0,000	0,000
Estrone	0,000	0,000	0,000
Ethinylestradiol	0,000	0,000	0,000
Fluconazole	0,000	0,000	0,000
Gabapentin	0,000	0,000	0,000
Genistein	2,108	4,000	2
Hydrochlorothiazide	10,686	213,000	15
Ibuprofen	87,118	3717,000	61
lomeprol	0,000	0,000	0,000
Ketoprofen	0,000	0,000	0,000
Lamotrigine	36,040	1791,000	42
Metoprolol	22,177	578,000	24
Mirtazapine	21,957	444,000	21
Naproxen	0,000	0,000	0,000
Norethindrone	0,000	0,000	0,000
Norgestrel	0,000	0,000	0,000
Omeprazole	0,000	0,000	0,000
Paraxanthine	0,000	0,000	0,000
Saccharine	0,000	0,000	0,000
Sulfamethazine	0,000	0,000	0,000
Sulfamethoxazole	0,000	0,000	0,000
Sulfanilamide	7,920	178,000	13
Sulfapyridine	4,305	23,000	5
Telmisartan	4887,225	13754009,000	3709
Tramadol	12,380	132,000	11
Triclosan	206,299	27202,000	165
Trimethoprim	0,522	0,000	1
Venlafaxine	12,416	103,000	10
Zearalenol	0,000	0,000	0,000

Rozptyl vypovídá ohledně hodnot koncentrací mikropolutantů a jejich rozptýlení od průměru.

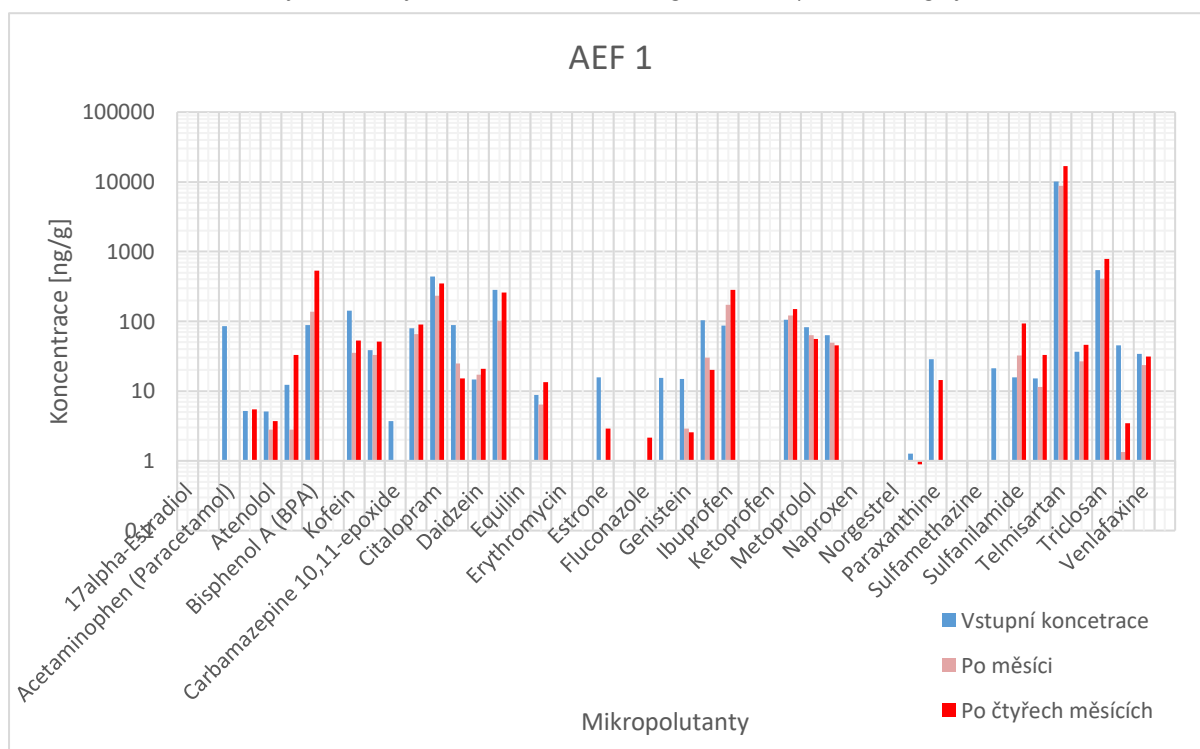
Z prvního pohledu vidíme snížení koncentrací oproti prvotním koncentracím ve většině sledovaných látkách. Dále byly podrobněji popsány změny v jednotlivých aerobních fermentorech.

### 5.1.3 Aerobní fermentor č. 1

#### Po jednom měsíci

Aerobní fermentor po 1 měsíci vykázal snížení koncentrace mikropolutantů, kromě Bisphenol A (BPA), Ibuprofen, Ketoprofen a Sulfamethazine. V níže přiloženém grafu 1 je zmiňovaný jev zobrazen.

Graf 1. Aerobní fermentor č. 1, v měřítku  $\log_{10}$  z důvodu přehlednosti grafu.



Koncentrace mikropolutantů se v průměru zmenšila o 42,63 %.

Snížení koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje zaznamenaly mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Carbamazepine - 10,11epoxide, Estrone, Gabapentin, Omeprazole, Paraxanthine a Sulfamethoxazole.

Zkoncentrování se zaznamenalo u mikropolutantů Sulfamide, Lamotrigine, Ibuprofen, Daidzein a Bisphenol A (BPA).

## Po čtyřech měsících

Vezmeme-li všechny sledované mikropolutanty a zprůměrujeme procentní změny, oproti prvotním datům, vidíme jev zvaný zkoncentrování. Průměrná hodnota ze všech látek dosahuje průměrné zvýšení o 22,93 %.

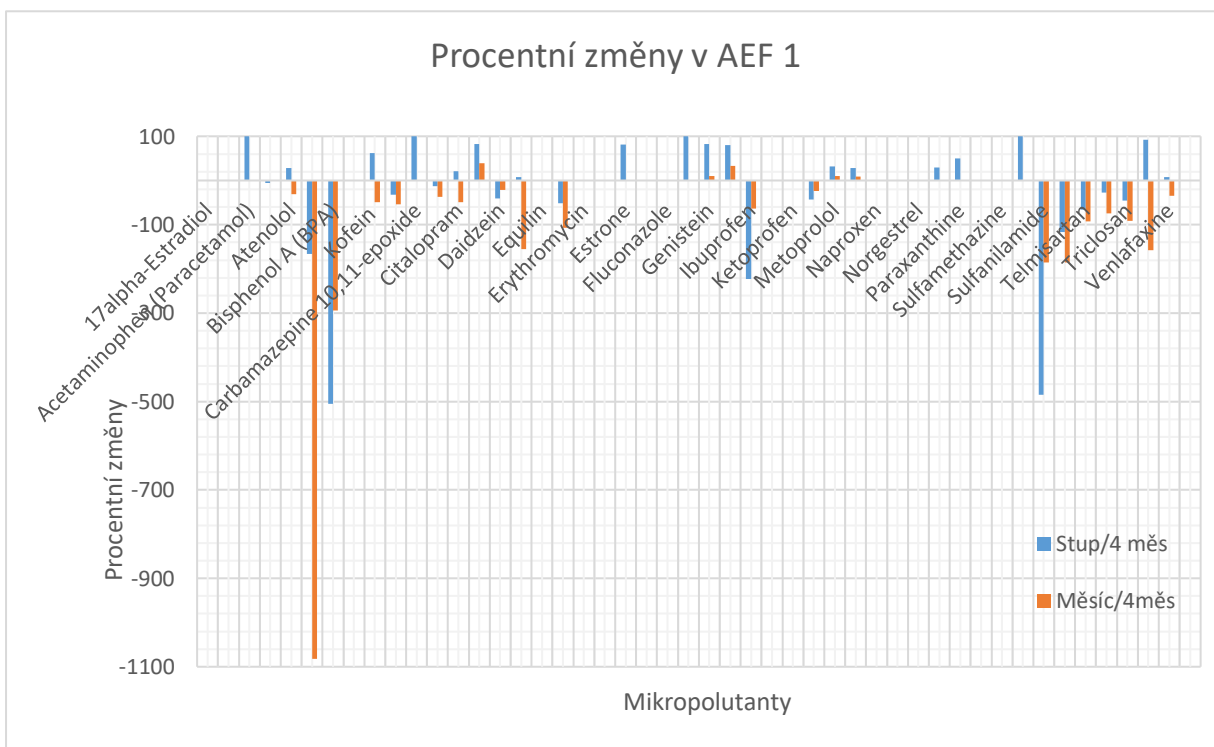
Celkově se snížily pod mez detekovatelnosti přístroje 4 mikropolutanty. Jedná se o Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin a Sulfamethoxazole.

Největší zkoncentrování zaznamenal mikropolutant Bisphenol A (BPA), procentuálně o 505,29 %.

Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

V grafu 2, je patrný popsáný jev. V grafu je na stupnici Měsíc/4měs vidět procentní změny jednotlivých sledovaných mikropolutantů oproti koncentracím po 1 měsíčním procesu kompostování.

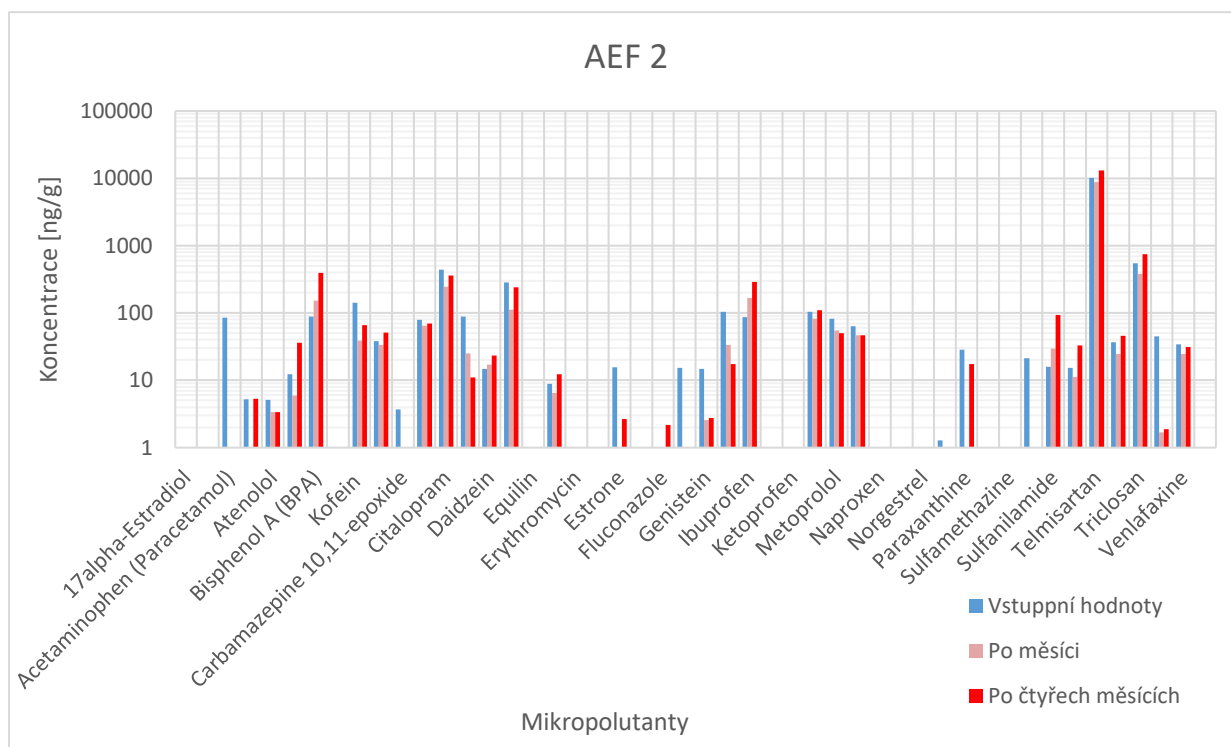
Graf 2. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 1



### 5.1.4 Aerobní fermentor č. 2

V níže uvedeném grafu 3 jsou zobrazeny změny koncentrací sledovaných látek po 1 měsíci a 4 měsících procesu kompostování.

Graf 3. Aerobní fermentor č. 2, měřítko  $\log_{10}$  z důvodu zpřehlednění grafu



#### Po jednom měsíci

Aerobní fermentor po 1 měsíčním kompostování dosáhl vyššího průměrného snížení oproti aerobnímu fermentoru č. 1. Průměrné snížení činí 43,2 %. Ve fermentoru se snížily koncentrace pod mez detekovatelnosti u stejných mikropolutantů, jako u AEF 1. Rozdíl je dán dosažením celkově menším zkoncentrováním určitých mikropolutantů (Ibuprofen, Lamotrigine, dosáhl snížení koncentrace, a Sulfonamide).

Na níže uvedeném grafu 4 jsou znázorněny procentní změny sledovaných mikropolutantů po 1 měsíčním procesu kompostování.

#### Po čtyřech měsících

Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin, Omeprazole, Sulfamethoxazole, se zkoncentrovaly pod míru detekovatelnosti přístroje.

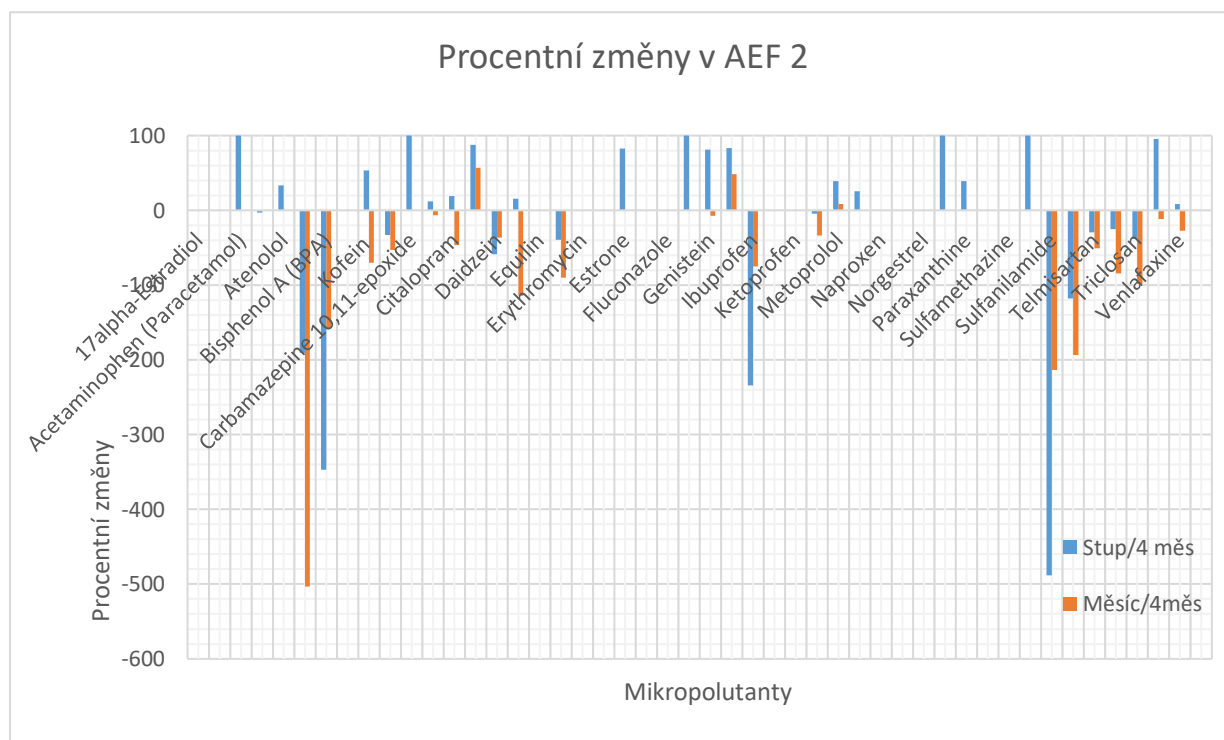
Průměrná změna koncentrací všech sledovaných mikropolutantů dosáhla zkoncentrování o 13,53 %. Celkově se degradovalo 5 mikropolutantů a 14 sledovaných mikropolutantů snížilo svojí koncentraci. Jedná se o Atenolol, Kofein, Cetirizine, Citalopram, Clarithromycin, Diclofenac, Estrone, Genistein, Hydrochlorothiazide, Metoprolol, Mirtazapine, Paraxanthine, Trimethoprim a Venlafaxine.

Mikropolutanty Amitriptyline, Atorvastatin, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine, Daidzein, Equol, Ibuprofen, Lamotrigine, Sulfanilamide (nejvíce se zkoncentroval, 488,57 %), Sulfapyridine, Telmisartan, Tramadol a Triclosan se zkoncentrovaly v průměru o 123,82 %.

Výše popsané změny jsou patrné v grafu 4.

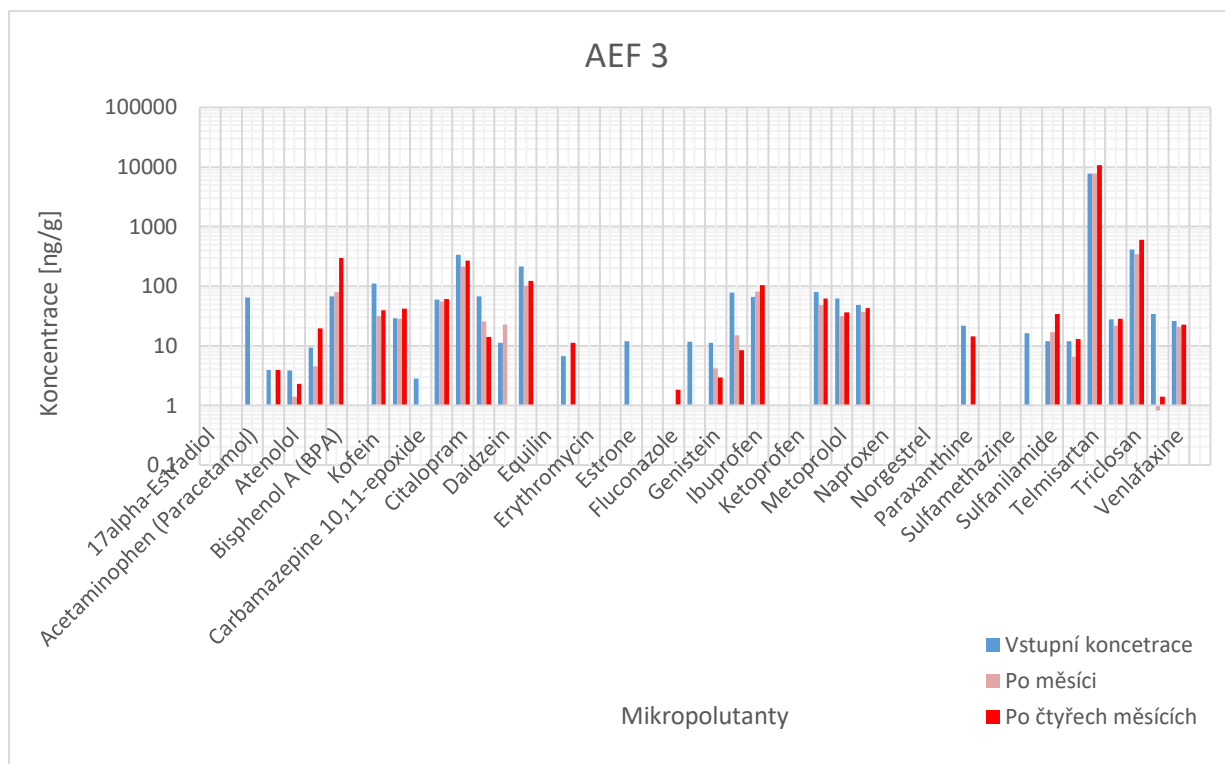
Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 4. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 2



### 5.1.5 Aerobní fermentor č. 3

Graf 5. Aerobní fermentor č. 3, měřítka je v  $\log_{10}$  pro zřehlednění proběhlých změn



Procentní složení aerobního fermentoru č. 3 mělo složení čistírenský kal (75 % hm., 33,75 kg) s kombinací slaměných pelet (25 % hm., 6,75 kg).

V grafu 5 je znázorněn rozdíl koncentrací mikropolutantů vstupních, po 1 a po 4 měsících.

#### Po jednom měsíci

V tomto aerobním fermentoru se dosáhlo průměrného snížení jednotlivých mikropolutantů o 47,46 %.

Snížení koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje dosáhlo celkem 9 mikropolutantů. Konkrétně se jedná o Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Equol, Estrone, Gabapentin, Omeprazole, Paraxanthine a Sulfamethoxazole.

Zkoncentrovaly se mikropolutanty Bisphenol A (BPA) o 19,17 %. Daidzein zvýšil svojí koncentraci nejvíce, přesně o 102,45 %. Ibuprofen se zkoncentroval o 22,07 %, Sulfanilamide (42,09 %) a Mikropolutant Telmisartan se zkoncentroval nepatrně, jen o 0,55 %.



V grafu 6 jsou uvedeny jednotlivé mikropolutanty a jejich změny koncentrací.

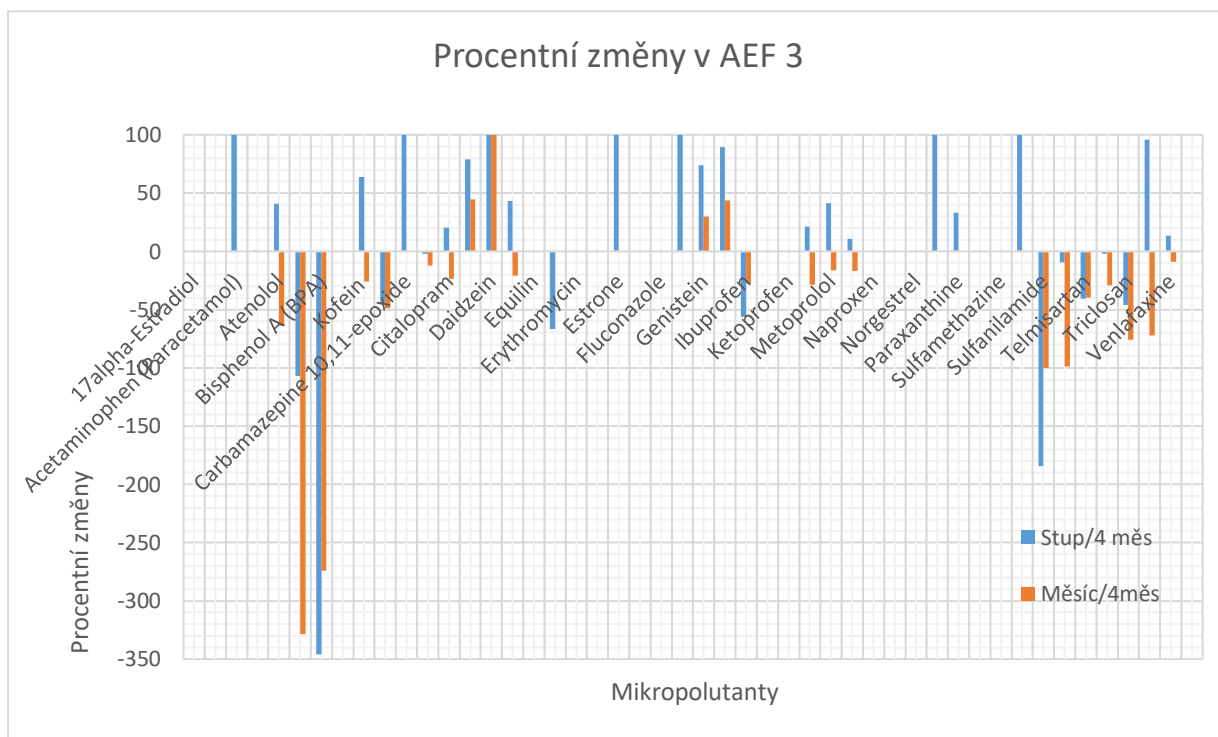
### Po čtyřech měsících

Průměrná změna koncentrací ve sledovaných mikropolutantech dosahuje 13,15 %. Sledované mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Estrone, Gabapentin, Omeprazole a Sulfamethoxazole vykázaly snížení koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje. Mikropolutanty Atorvastatin, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine, Cetirizine, Equol, Ibuprofen, Sulfanilamide, Sulfapyridine, Telmisartan, Tramadol a Triclosan zvýšily svoji koncentraci. Bisphenol A (BPA) vykázal zkoncentrování až o úctyhodných 346 %.

Celkové změny sledovaných mikropolutantů jsou uvedeny v grafu 6. V níže přiloženém grafu 6 jsou uvedeny změny koncentrací po uplynutí 4 měsíců od počátku procesu kompostování. Dále jsou uvedeny pro lepší srovnání i procentuální změny po 1 měsíci kompostování (označeno jako Měsíc/4měs).

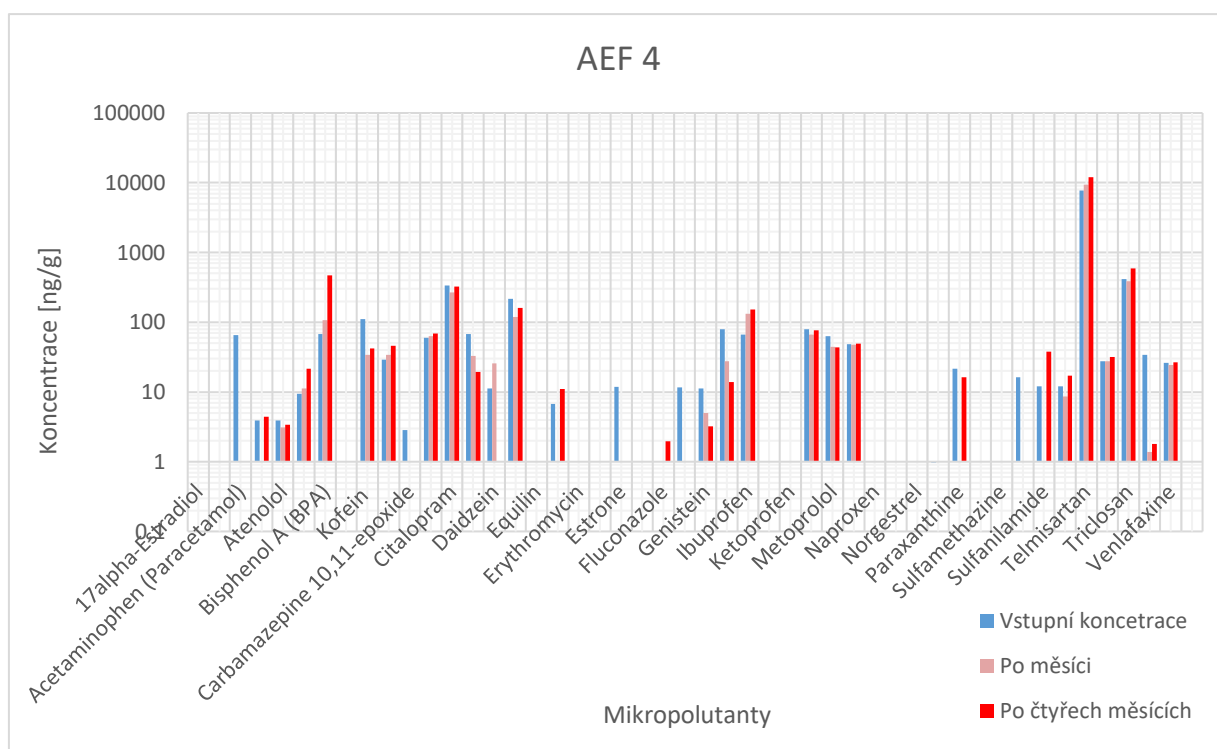
Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 6. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 3



### 5.1.6 Aerobní fermentor č. 4

Graf 7. Aerobní fermentor č. 4, měřítko  $\log_{10}$  pro lepší vizualizaci změn během procesu kompostování



Fermentor s označením č. 4 měl stejné procentuální složení jako aerobní fermentor s označením č. 3.

#### Po jednom měsíci

Z grafu 7 je patrné snížení mikropolutantů (Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Equol, Estrone, Gabapentin, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole a Sulfanilamide) pod mez detekovatelnosti přístroje.

Největší snížení koncentrace zaznamenal mikropolutant Trimethoprim o 95,98 %.

Zkoncentrování zaznamenaly mikropolutanty Atorvastatin, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine, Cetirizine, Daidzein (největší zkoncentrování, 109,44 %), Ibuprofen a Telmisartan.

Celkové průměrné snížení koncentrací mikropolutantů dosahovalo 36,26 %. Z toho 10 snížilo svojí detekci pod mez detekovatelnosti, viz. výše.

Pro lepší představu změn koncentrací v aerobním fermentoru č. 4 je níže přiložen graf 8, který vypovídá o procentuální změně jednotlivých sledovaných mikropolutantů po 1 měsíčním kompostování.

### Po čtyřech měsících

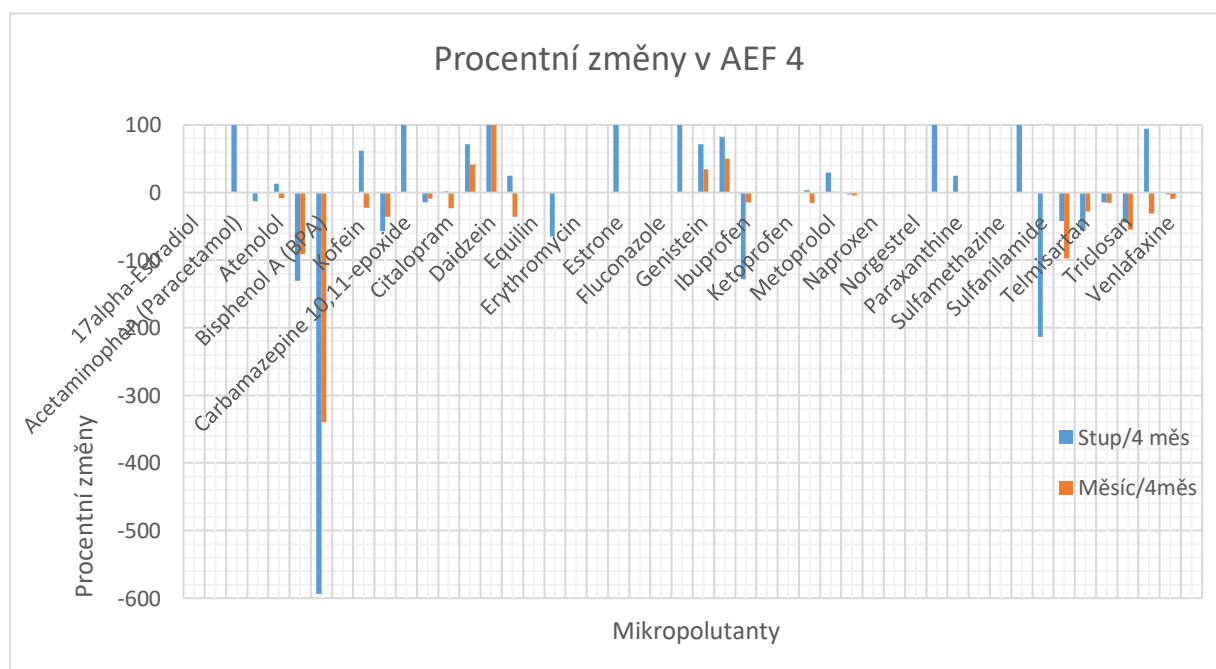
Průměrná hodnota všech sledovaných mikropolutantů v tomto fermentoru dosáhla změny v průměru zvýšení o 6,15 %. Mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Estrone, Gabapentin, Omeprazole a Sulfamethoxazole vykazaly schopnost během procesu kompostování úplně snížit svoje koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje.

Zkoncentrování dosáhly mikropolutanty Amitriptyline, Atorvastatin, Bisphenol A (BPA) (který se nejvíce zkoncentroval a vykázal zvýšení koncentrace o úctyhodných 593,72 %), Carbamazepine, Cetirizine, Equol, Ibuprofen (128,31 %), Mirtazapine, Sulfanilamide, Sulfapyridine, Telmisartan, Tramadol, Triclosan a Venlafaxine. Procentní změny jsou znázorněny v grafu 8.

V grafu 8 jsou uvedeny i změny v koncentracích po 1 měsíci vůči koncentracím po 4 měsících. Stup/4 měs znázorňuje změny vstupních koncentrací oproti koncentracím po 4 měsících procesu kompostování.

Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 8. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 4

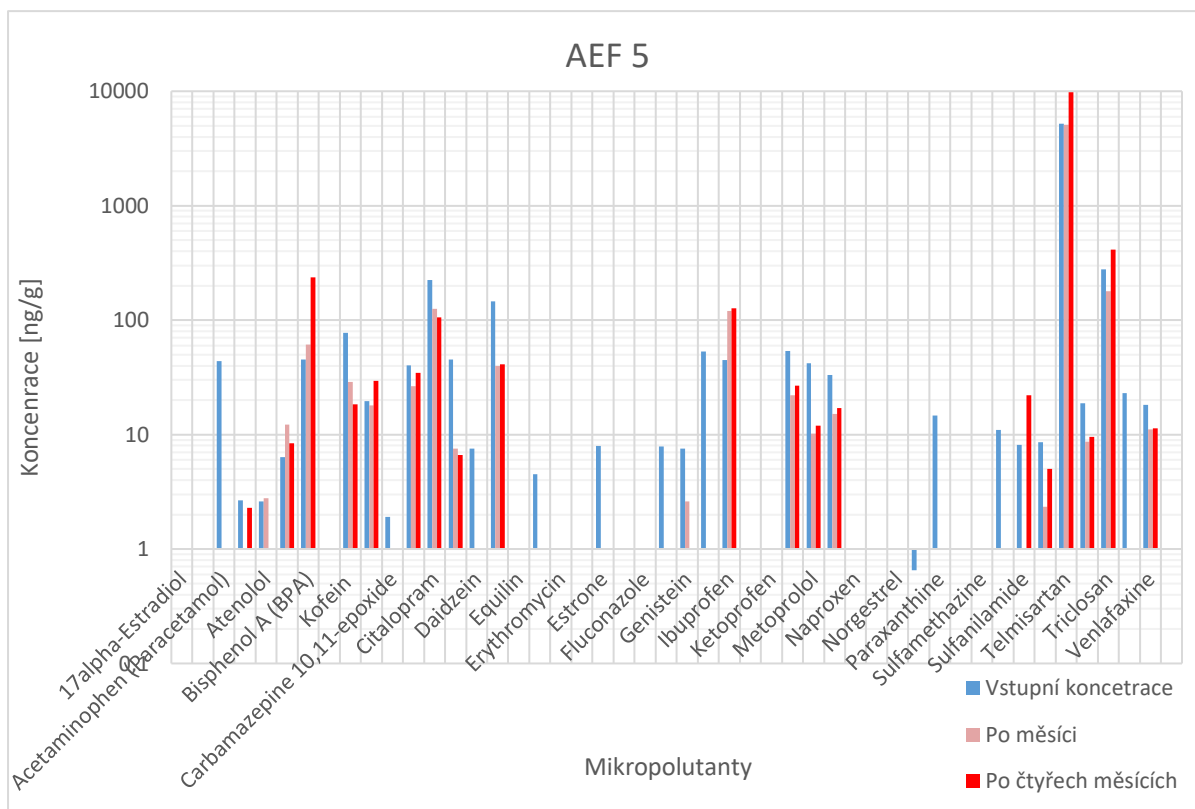


### 5.1.7 Aerobní fermentor č. 5

Procentuální složení aerobního fermentoru č. 5 činilo čistírenský kal (50 % hm., 22,5 kg) a slaměné pelety (50 % hm., 13,5 kg).

Graf 9 zobrazuje průběh změn koncentrací pro dané mikropolutanty.

Graf 9. Aerobní fermentor č. 5, měřítko  $\log_{10}$  z důvodu zlepšení přehlednosti grafu



#### Po jednom měsíci

V celkovém průměru mikropolutanty snížily svojí koncentraci o 54,95 %.

Celkově 13 sledovaných mikropolutantů dokázalo snížit svojí koncentraci pod mez detekovatelnosti. Jedná se o Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Hydrochlorothiazide, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide a Trimethoprim.

Zkoncentrování zaznamenaly Atenolol, Atorvastatin, Bisphenol A (BPA) a Ibuprofen, který dosáhl největšího zkoncentrování a to o 170,53 % oproti počáteční koncentraci.

Celkové procentní změny, jsou uvedeny níže pro lepší představu, v grafu 10.

## Po čtyřech měsících

Mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Atenolol, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein, Hydrochlorothiazide, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole a Trimethoprim vykázaly schopnost snížení koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje.

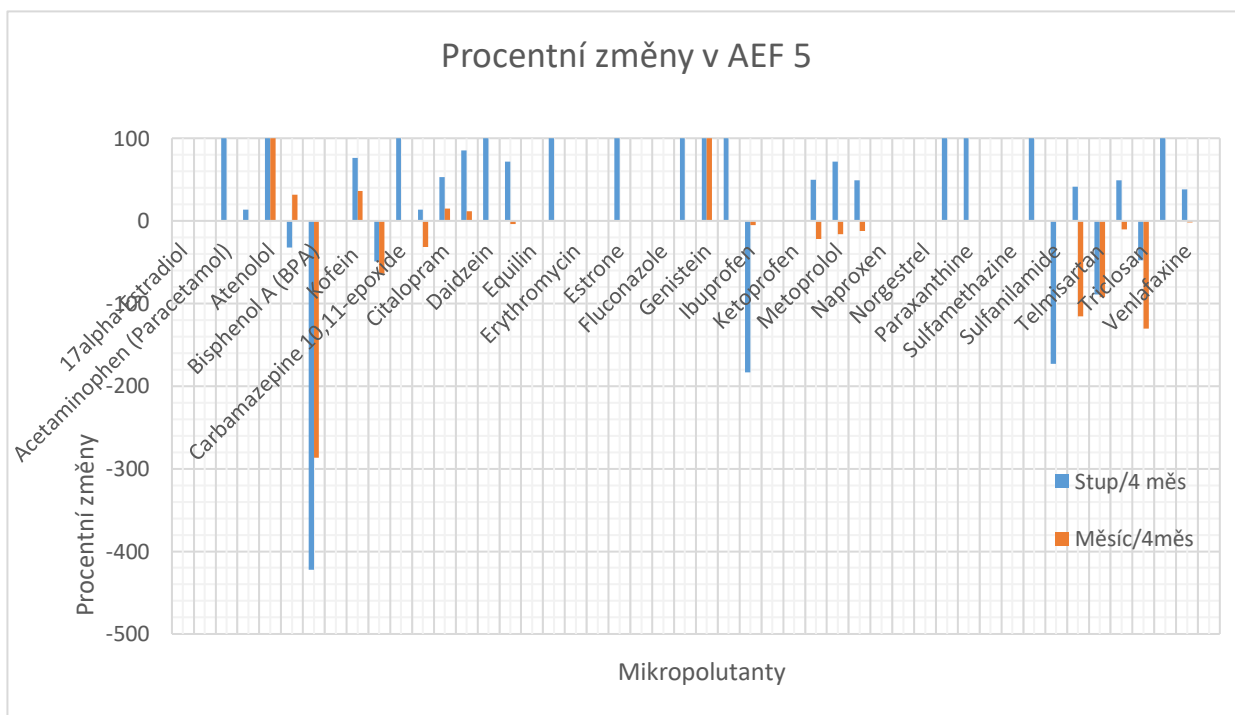
Mikropolutant Bisphenol A (BPA) zvýšil svoji koncentraci o 422,31 %. Tento nárůst je možný pravděpodobně díky zmenšení celkové hmotnosti a zlepšení podmínek pro zvýšení koncentrace této látky.

Průměrná degradace mikropolutantů oproti vstupním koncentracím je 28,59 %. Průměrné zkoncentrování koncentrací od dat z 1 měsíčního kompostování po ukončení pokusu po 4 měsících procesu činí 26,13 %.

Na níže uvedeném grafu 10 jsou zobrazeny procentuální změny během procesu kompostování.

Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 10. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 5

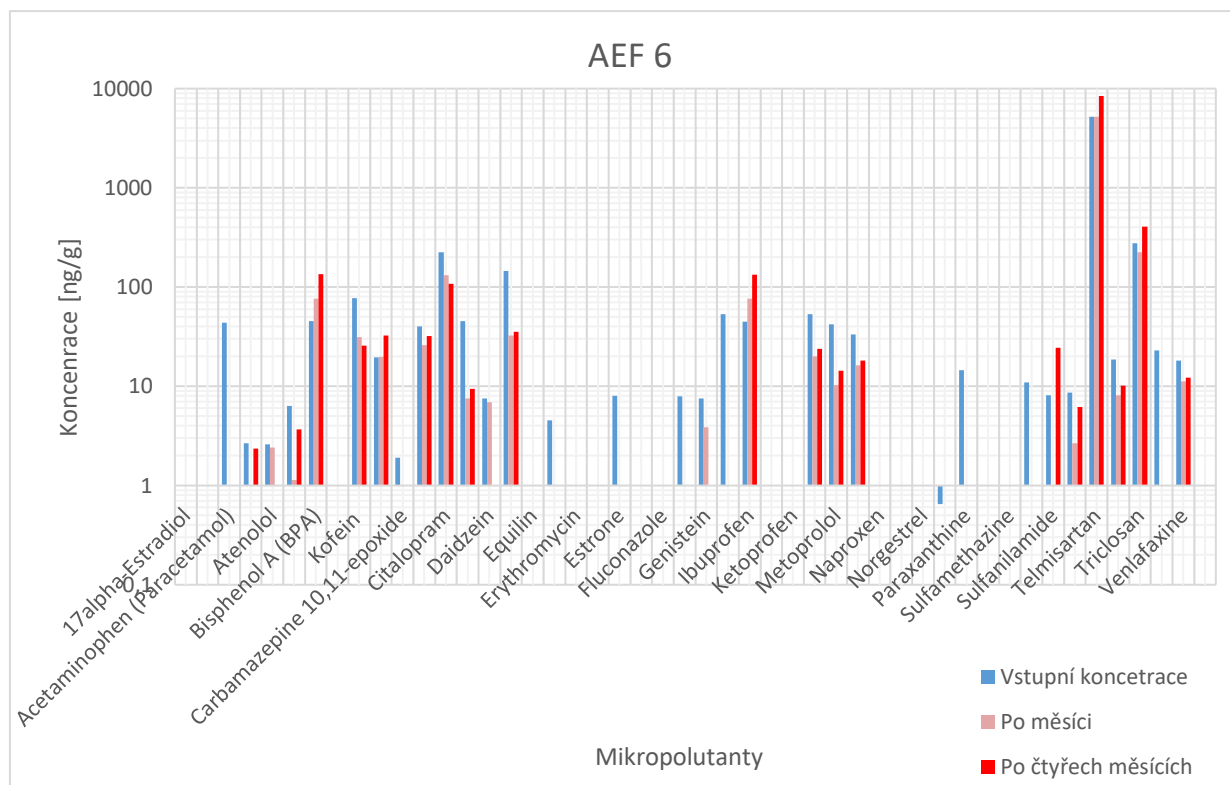


### 5.1.8 Aerobní fermentor č. 6

Na níže uvedeném grafu 11 jsou znázorněny změny koncentrací ve sledovaných mikropolutantech.

Aerobní fermentor č. 6 měl stejné složení jako aerobní fermentor s č. 5.

Graf 11. Aerobní fermentor č. 6, v měřítku  $\log_{10}$  z důvodu lépe patrných změn



#### Po jednom měsíci

Celkové průměrné snížení ve fermentoru dosáhlo 58,62 %.

Z toho 12 mikropolutantů dokázalo snížit svoji koncentraci pod mez detekovatelnosti přístroje. Konkrétně se jedná o Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Equol, Estrone, Gabapentin, Hydrochlorothiazide, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide a Trimethoprim.

Zvýšení zaznamenaly Bisphenol A (BPA), Carbamazepine, Ibuprofen (největší zkoncentrování ve fermentoru č. 6 a to o 70,41 %) a Telmisartan.

## Po čtyřech měsících

Celkové průměrné snížení všech sledovaných mikropolutantů činilo ve fermentoru 35,88 %.

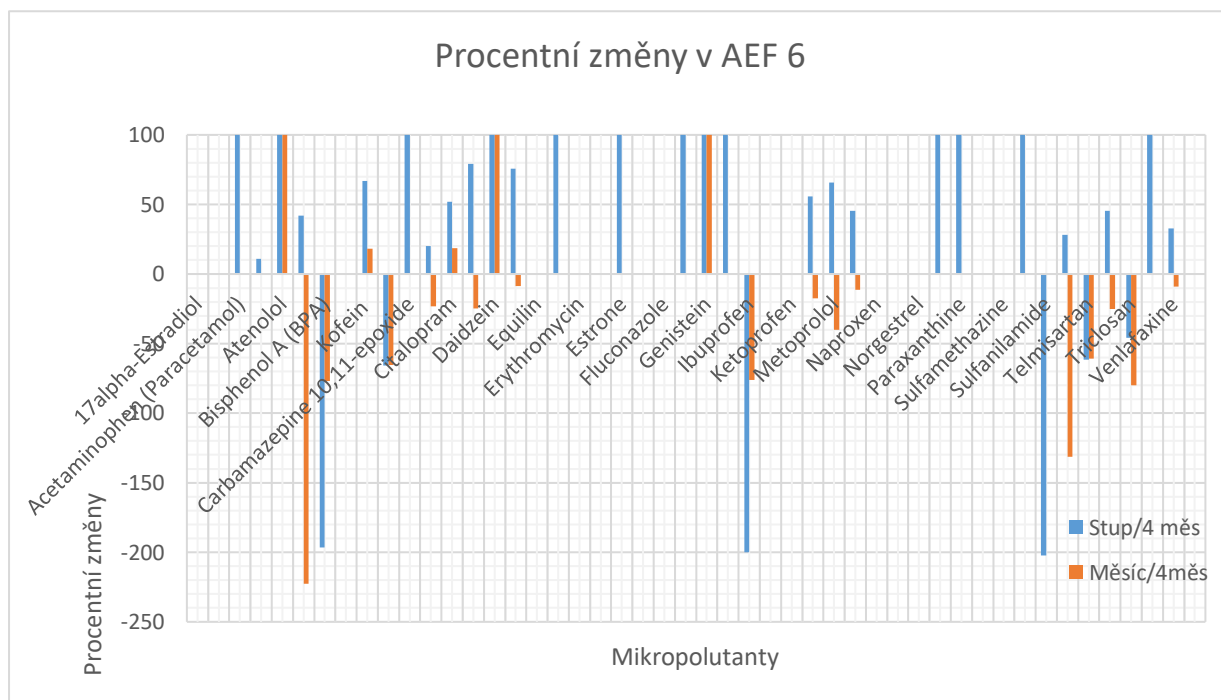
Pod mez detekovatelnosti přístroje se dostalo celkem 13 mikropolutantů. Jmenovitě Acetaminophen (Paracetamol), Atenolol, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein, Hydrochlorothiazide, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole a Trimethoprim.

Zkoncentrovaly se mikropolutanty Bisphenol A (BPA) (196,74 %), Carbamazepine (65,67 %), Ibuprofen (200,07 %), Sulfanilamide (202,23 %), Telmisartan (61,53 %) a Triclosan (45,91 %). Nejvíce se zkoncentroval zmiňovaný Sulfanilamide ve výši 202,23 % oproti vstupní koncentraci.

V následujícím grafu 12 je znázorněna změna koncentrací daných mikropolutantů.

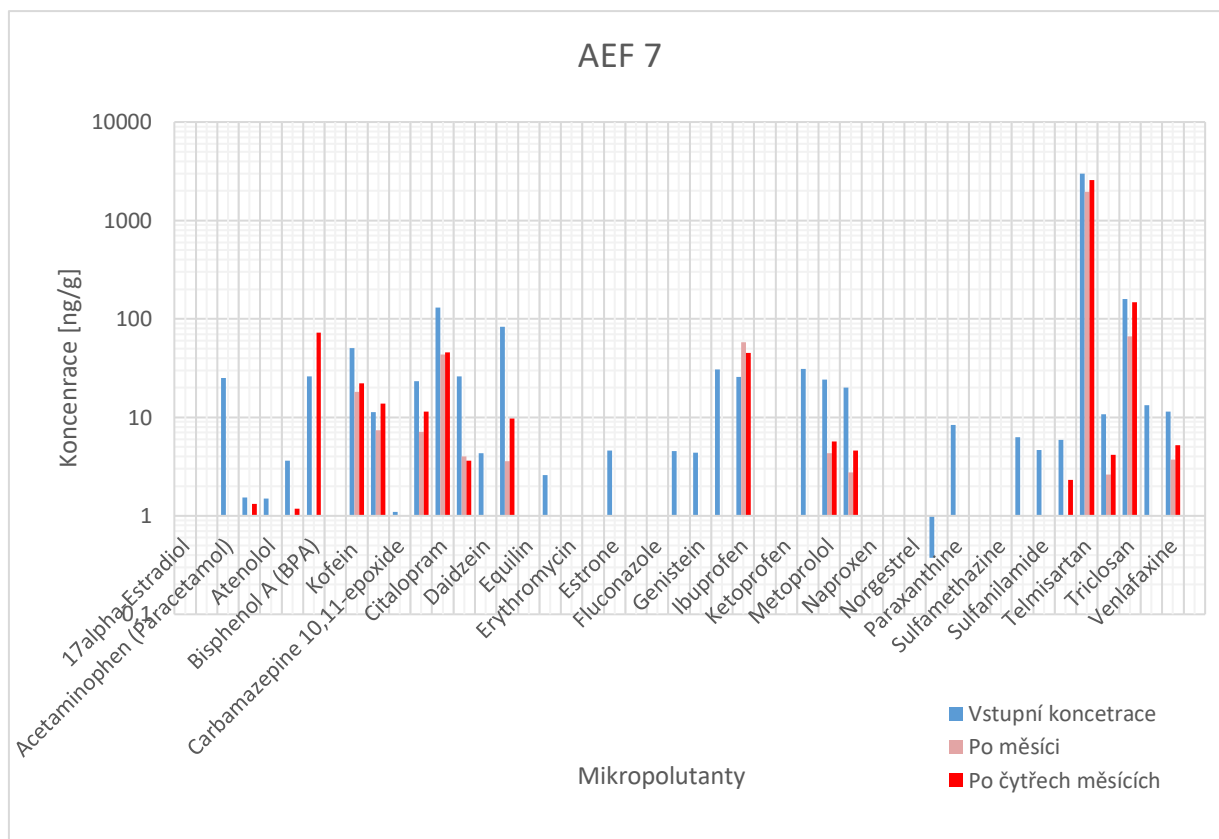
Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 12. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 6.



## 5.1.9 Aerobní fermentor č. 7

Graf 13. Aerobní fermentor č. 7, v měřítku  $\log_{10}$  aby byly patrné změny mikropolutantů



Aerobní fermentor č. 7 je procentuálně i hmotnostně totožný s aerobním fermentorem č. 8, viz. později. Fermentor obsahuje čistírenský kal (25 % hm., 11,25 kg) a slaměné pelety (75 % hm., 20,25 kg).

Změny koncentrací během procesu kompostování jsou patrné v grafu 13.

### Po jednom měsíci

Celkové snížení všech sledovaných mikropolutantů dosáhlo v průměru 81,08 %.

Celkové snížení mikropolutantů pod mez detekovatelnosti dosáhlo 19 látek. Konkrétně se jedná o Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Atenolol, Atorvastatin, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein, Hydrochlorothiazide, Lamotrigine, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide, Sulfapyridine a Trimethoprim.

Zkoncentrování dosáhl pouze Ibuprofen. Jeho zvýšení oproti vstupní koncentraci činilo v procentech 125,98 %.



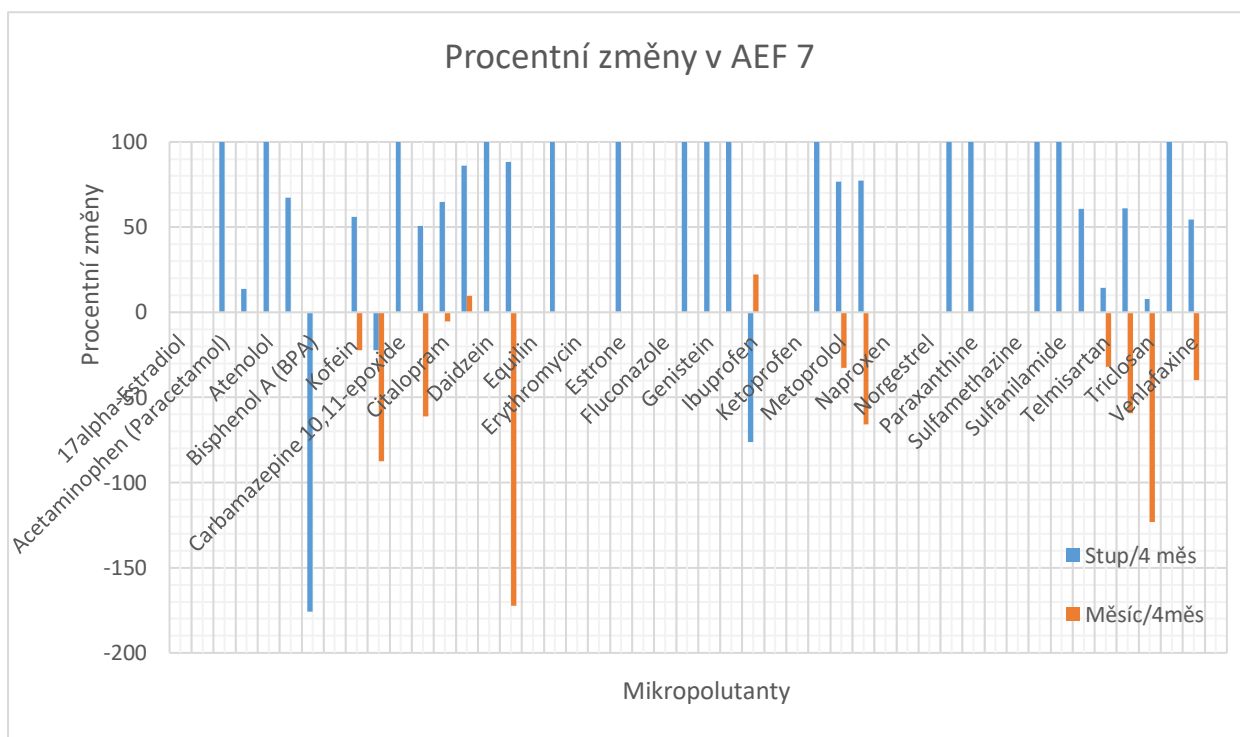
## Po čtyřech měsících

Sledované mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Atenolol, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein, Hydrochlorothiazide, Lamotrigine, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide a Trimethoprim se úplně degradovaly pod mez detekovatelnosti přístroje. Průměrné snížení koncentrací jednotlivých mikropolutantů dosahuje v tomto fermentoru hodnoty 62,67 % oproti vstupním koncentracím. Porovnáme-li koncentrace po 1 měsíci a po 4 měsících vychází průměrné zvýšení koncentrací jednotlivých mikropolutantů o 51,51 %. Diclofenac se nejvíce zkoncentroval, a to o 172,43 %.

Celkové procentní změny koncentrací sledovaných mikropolutantů jsou zobrazeny v grafu 14.

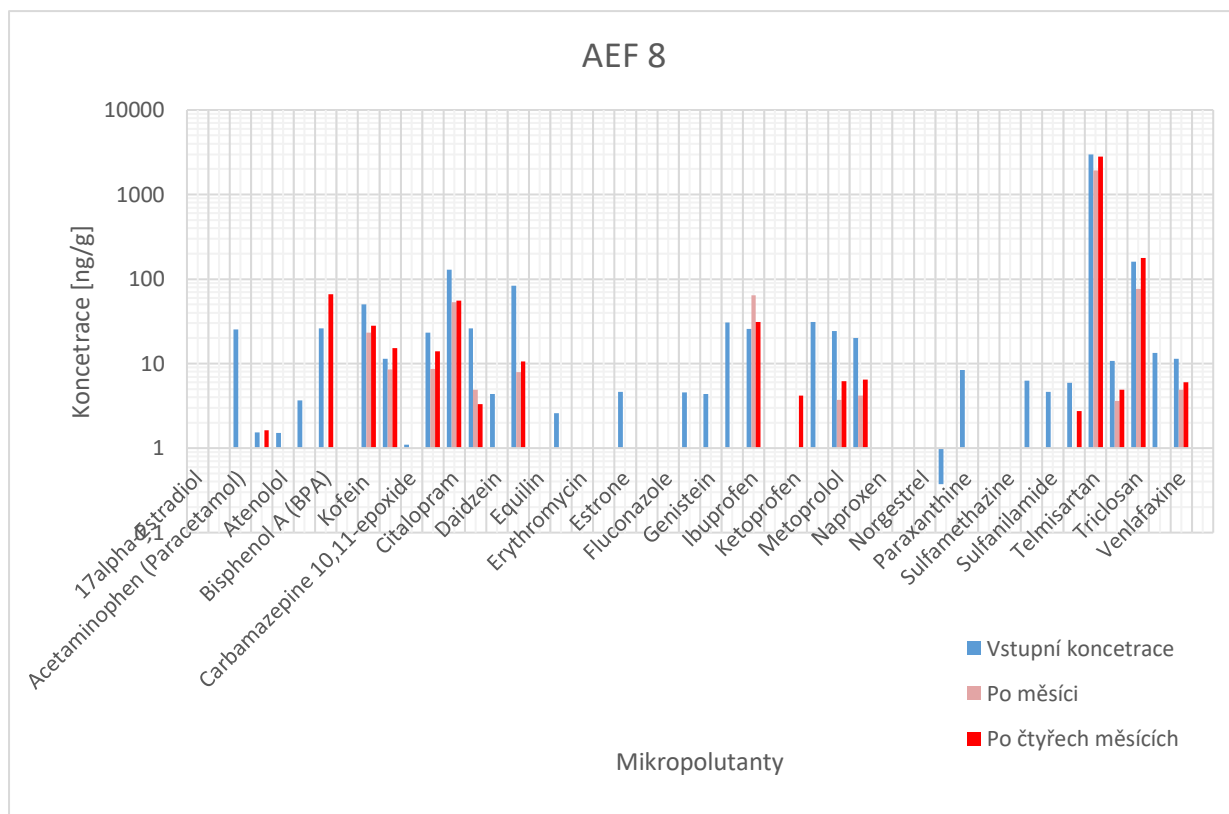
Data vyhovují statisticky, ověřeno v programu Statistika.

Graf 14. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 7



### 5.1.10 Aerobní fermentor č. 8

Graf 15. Aerobní fermentor č. 8, měřítko log10



V grafu 15 je zvolené měřítko z důvodu zpřehlednění uskutečněných změn v rámci procesu kompostování.

Ve fermentoru byla stejně procentuálně zastoupena směs čistírenského kalu a slaměných pelet jako u dříve zmiňovaného aerobního fermentoru č. 7.

Na výše přiloženém grafu 15 jsou znázorněny změny koncentrací sledovaných mikropolutantů během procesu kompostování.

#### Po jednom měsíci

V průměru se snížily koncentrace v aerobním fermentoru č. 8 o 78,05 % oproti vstupním koncentracím. Celkově se 19 mikropolutantů úplně degradovalo a zbylých 29 snížilo svojí koncentraci v průměru o 45,95 % .

Koncentrace snížily pod mez detekovatelnosti tyto mikropolutanty: Acetaminophen (Paracetamol), Amitriptyline, Atenolol, Atorvastatin, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein,

Hydrochlorothiazide, Lamotrigine, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide, Sulfapyridine a Trimethoprim.

Zkoncentroval se naopak mikropolutant Ibuprofen a to procentuálně o 149,94 % proti vstupní koncentraci na začátku pokusu.

### Po čtyřech měsících

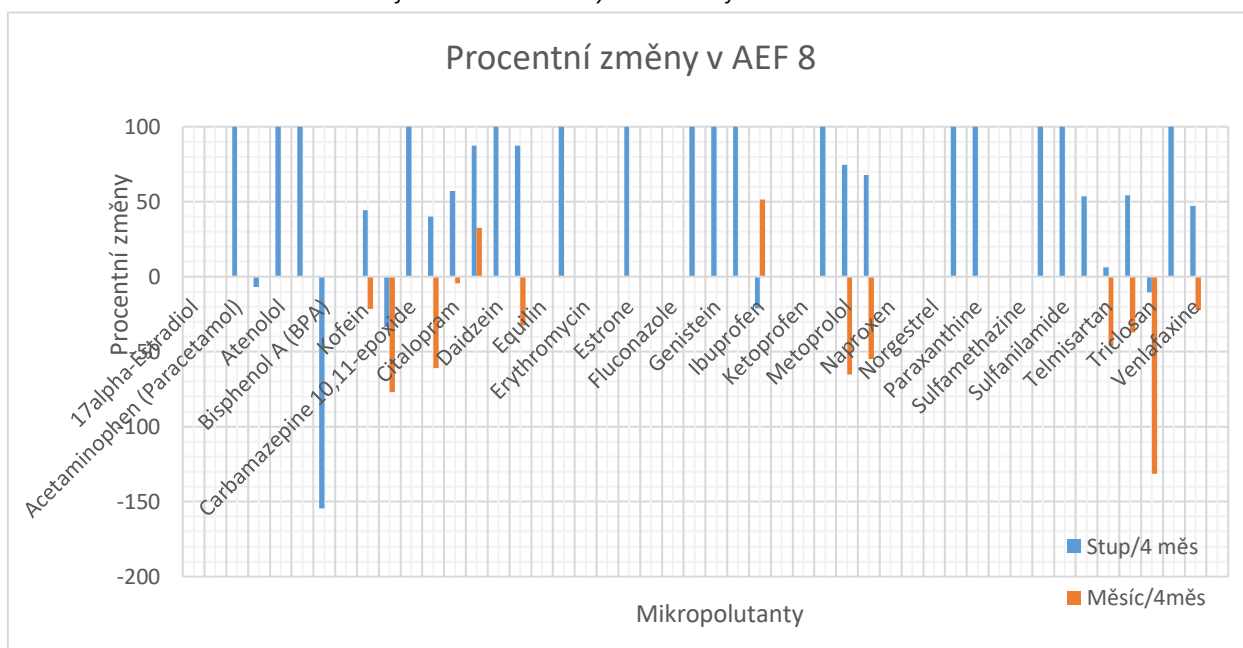
Porovnáme-li výstupní koncentrace se 4 měsíčním měřením, vychází jasně patrný pokles všech látek v průměru o 62,30 % .

Zaznamenali jsme i úplnou degradaci látek, konkrétně se jedná Acetaminophen (Paracetamol), Atenolol, Atorvastatin, Carbamazepine - 10,11-epoxide, Daidzein, Equol, Estrone, Gabapentin, Genistein, Hydrochlorothiazide, Lamotrigine, Omeprazole, Paraxanthine, Sulfamethoxazole, Sulfanilamide a Trimethoprim.

Dále je pozorovatelná změna v procesu. Během první fáze je zřetelná předpokládaná degradace látek, ovšem při posledním odběru je následně zaznamenáno opětovné zvýšení koncentrace sledovaných polutantů. Této problematice se budeme věnovat v části Diskuze. Zmiňované snížení koncentrací sledovaných mikropolutantů je patrné na níže přiloženém grafu 16.

V grafu 16 je znázorněn významný vliv degradace látek během procesu kompostování. V průměru se sledované mikropolutanty snížily o 62,30 % a oproti 1 měsíčním koncentracím se koncentrace zvýšila v průměru o 36,09 %.

Graf 16. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 8

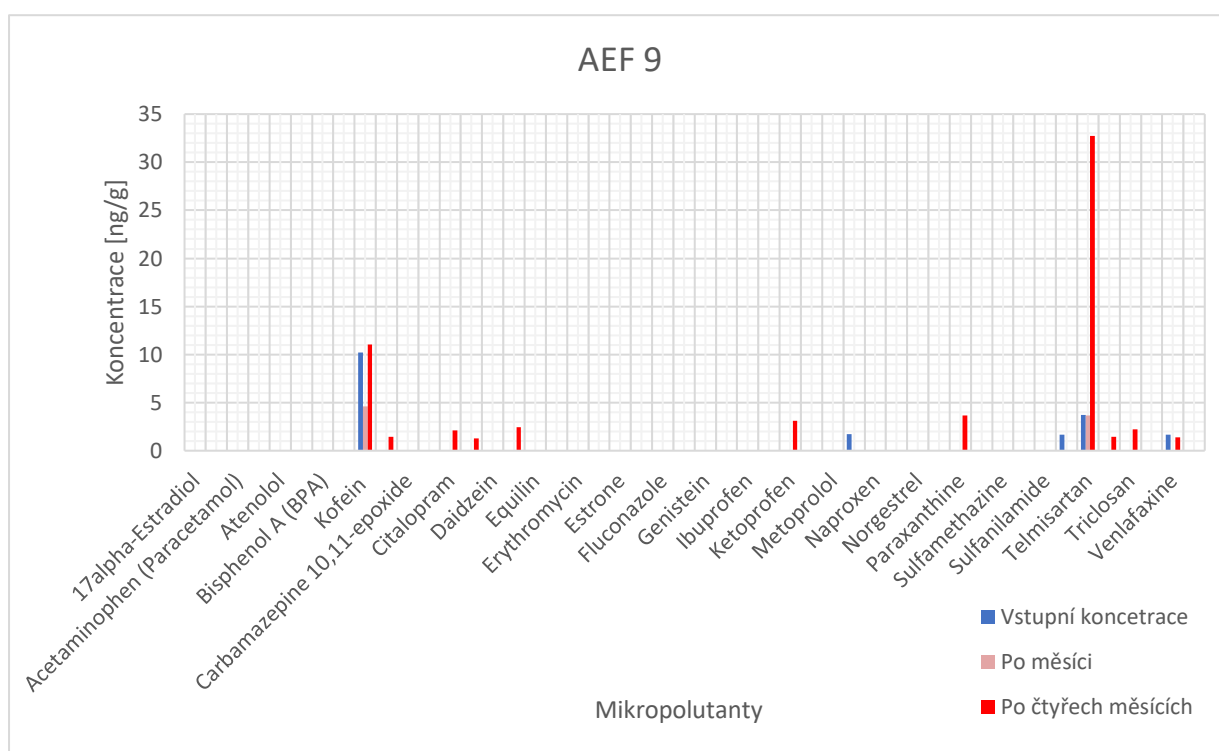


Statistické vyhodnocení bylo provedeno v programu Statistika. Program vyhodnotil existenci korelace mezi procesy kompostování. Tím se ověřilo, že existuje závislost mezi snižováním koncentrací mikropolutantů v aerobním fermentoru č. 8. V programu Statistika se formulovala nulová hypotéza: Korelace během procesu kompostování na koncentracích mikropolutantů není významná. Nulová hypotéza se tímto zamítá.

### 5.1.11 Aerobní fermentor č. 9

Procentuální složení směsí ve fermentoru bylo 100 % slaměných pelet o celkové hmotnosti 27 kg.

Graf 17. Aerobní fermentor č. 9, není v měřítko  $\log_{10}$



### Po jednom měsíci

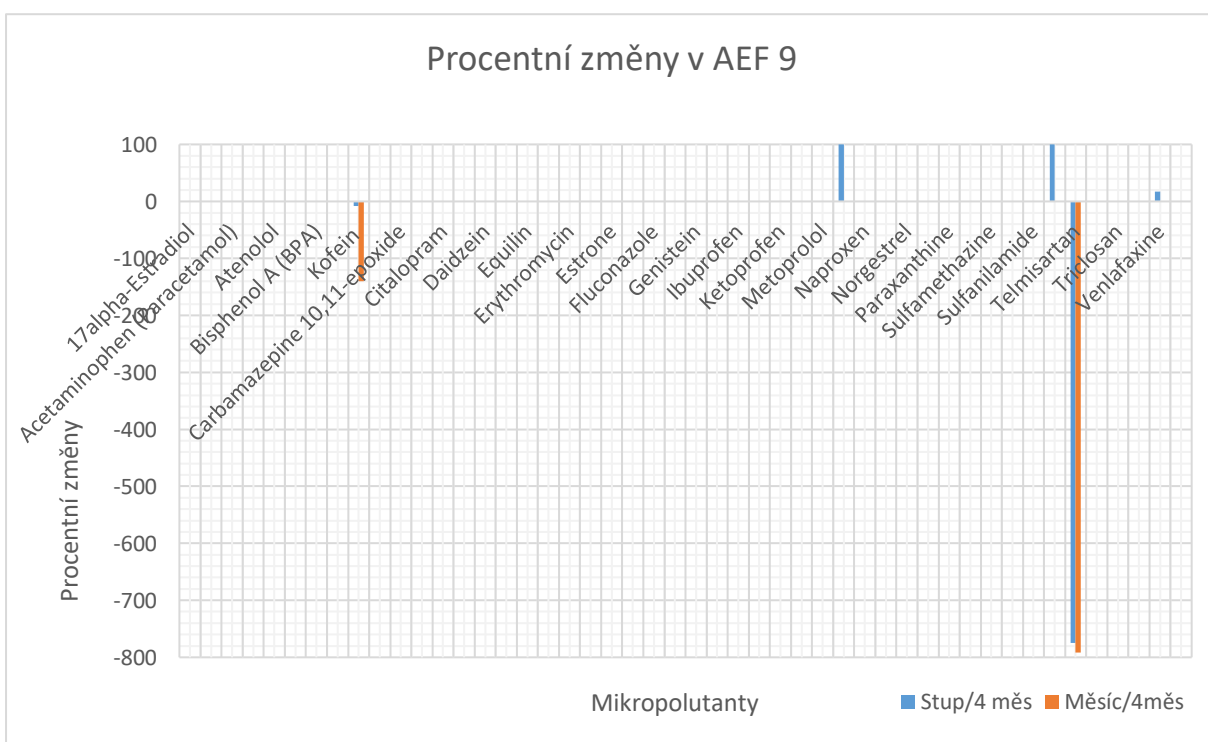
V aerobním fermentoru č. 9 se snížila koncentrace mikropolutantů o 71,41 % vůči vstupním koncentracím. Celkem 3 mikropolutanty snížily svoji koncentraci pod mez detekovatelnosti přístroje. V tomto fermentoru se vyskytovaly pouze látky Kofein a Telmisartan o koncentracích 4,59 ng/g Kofeinu a 3,67 ng/g Telmisartanu. U látky Kofein se snížila koncentrace o 55,11 %. Mirtazapine a Sulfapyridine po 1 měsíčním procesu kompostování dokázaly snížit svoje koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje. Telmisartan snížil svoji koncentraci jen o 1,91 % oproti původní hodnotě. V grafu 17 je graficky znázorněna skutková veličina.

## Po čtyřech měsících

V aerobním fermentoru č. 9, viz. graf 17, se v průběhu pokusu výrazněji zvýšily koncentrace mikropolutantů. Tento jev dokládá vhodné podmínky pro lepší zkoncentrování látek oproti zbylým aerobním fermentorům, potažmo směsi čistírenského kalu a slaměných pelet. Ve fermentoru byly zaznamenány mikropolutanty, které dříve nebyly zachyceny.

Aerobní fermentor má průměrné celkové zvýšení sledovaných mikropolutantů o 112,96 %. Porovnáme-li tento údaj s údajem z fermentoru č. 8 je patrná vyšší účinnost rozložení sledovaných látek u AEF 8. Zmíněný jev je pro představu uveden v grafu 18.

Graf 18. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 9



Porovnáme-li koncentrace s prvním a posledním měřením, vychází, že 2 mikropolutanty snížily svojí koncentraci pod mez detekovatelnosti přístroje. Jedná se o Mirtazapine a Sulfapyridine.

Snížení koncentrace zaznamenal pouze mikropolutant Venlafaxine, který snížil vstupní koncentraci o 17,38 %.

Zkoncentrování dosáhly mikropolutanty Kofein, ve výši 7,68 %, a Telmisartan, který se nejvíce zkoncentroval o hodnotu 774,47 % oproti prvotní koncentraci.

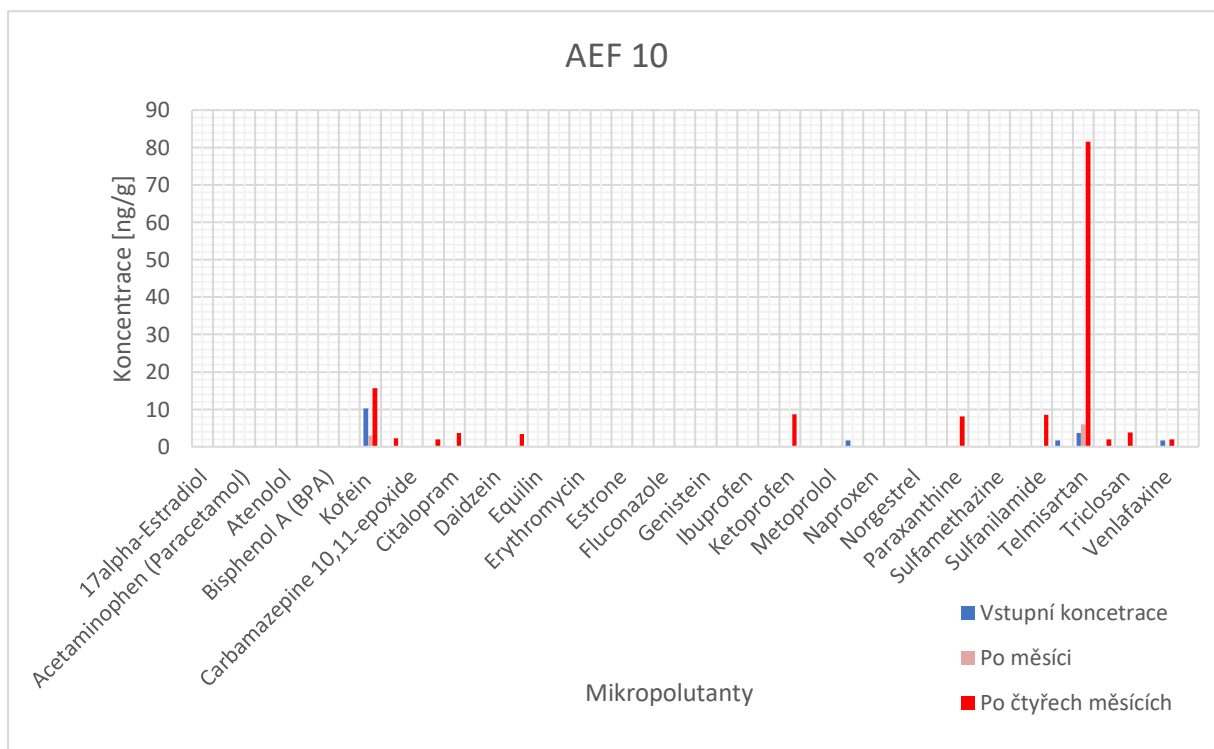
Porovnáme-li všechny zmiňované mikropolutanty s koncentracemi po 1 měsíčním procesu kompostování, docházíme k průměrnému zvýšení koncentrací ve výši 465,81 %. Nejméně se zkoncentroval mikropolutant Kofein (139,86 %) a nejvíce mikropolutant Telmisartan (791,77 %).

Statistické vyhodnocení v programu Statistika vykazuje závislost mezi prvopočátečními a konečnými daty. Počítačový program Statistika potvrdil zkoncentrování mikropolutantů ve fermentoru č. 9.

### 5.1.12 Aerobní fermentor č. 10

Aerobní fermentor měl stejné složení jako aerobní fermentor č. 9. Jednalo se o 100 % směs slaměných pelet o hmotnosti 27 kg.

Graf 19. Aerobní fermentor č. 10



Graf 19 není v měřítku  $\log_{10}$ . Z důvodu obsahu menšího počtu mikropolutantů ve fermentoru.

#### Po jednom měsíci

Aerobní fermentor č. 10 vykazuje podobnou skutečnost jako zmiňovaný fermentor č. 9. Detekované mikropolutanty jsou Kofein a Telmisartan. V průměru se koncentrace mikropolutantů snížila o 61,94 % oproti vstupním koncentracím. Mikropolutanty Mirtazapine,

Sulfapyridine a Venlafaxine snížily svoje koncentrace pod mez detekovatelnosti přístroje. Na výše přiloženém grafu 19 je patrná podobnost s grafem 17 a uvedená skutková podstata děje. Kofein snížil svoji koncentraci o 70,53 % vůči vstupní koncentraci. Telmisartan se naopak zkoncentroval o 60,84 % oproti koncentraci na počátku kompostování.

Shrneme-li výsledky jednoměsíčního kompostování na snížení koncentrací sledovaných mikropolutantů, je patrný vliv procesu na degradaci látek.

Statisticky byl prokázán vliv na snížení sledovaných mikropolutantů, již po 1 měsíčním procesu kompostování.

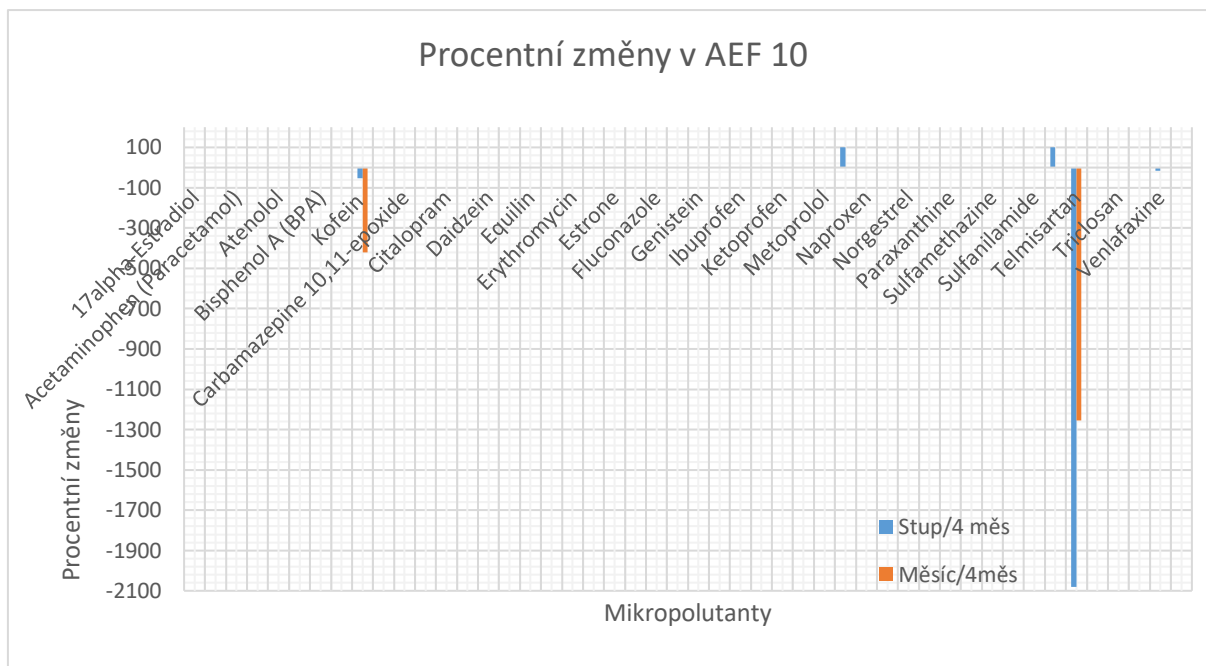
### **Po čtyřech měsících**

Průměrné zvýšení koncentrací ve sledovaných mikropolutantech ve fermentoru činilo 389,55 %. Hodnota ukazuje, že čisté slaměné pelety nejsou vhodné k degradaci těchto látek. Celkem 2 mikropolutanty vykazaly snížení hodnot svých koncentrací pod mez degradovatelnosti. Jedná se jmenovitě o Mirtazapine a Sulfapyridine.

Z grafu 20 vidíme zmiňované 2 mikropolutanty, které snížily svoje hodnoty pod mez detekce přístroje. Dále je patrné, že sledované mikropolutanty se v průměru zkoncentrovaly oproti 1 měsíčním koncentracím o 837,91 %. Mikropolutant Kofein zvýšil svoji koncentraci o 420,79 % a Telmisartan zvýšil svoji koncentraci o úctyhodných 1 255,03 %. Takto velký nárůst je dán především tím, že v 1 měsíčním odběru, koncentrace činila 6,02 ng/g a po uplynutí dalších 3 měsíců se zvýšila na 81,58 ng/g.

Pro ověření závislosti se využil program Statistika, který vyhodnotil závislost mezi látkami během procesu kompostování.

Graf 20. Procentní změny v aerobním fermentoru č. 10

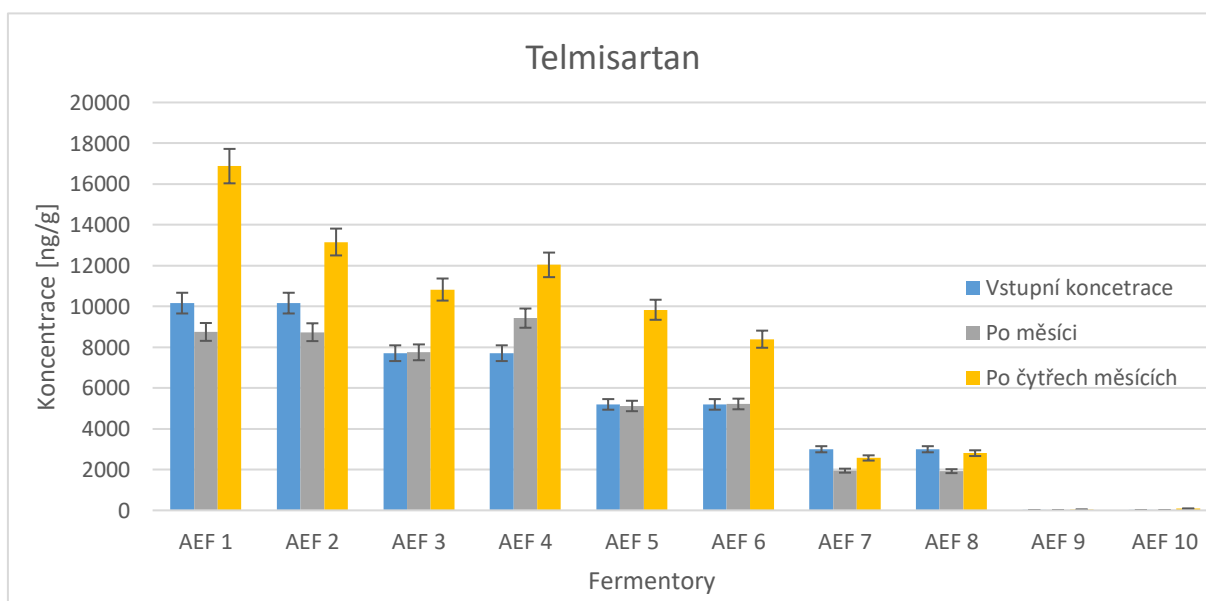


## 5.2 Změny vybraných sledovaných látek

V této podkapitole jsou podrobněji popsány vybrané sledované mikropolutanty, které byly představeny v kapitole 4.4.1 Podrobnější představení významných mikropolutantů.

### 5.2.1 Telmisartan

Graf 21. Změny koncentrací Telmisartanu v aerobních fermentorech



Uvedený graf 21 znázorňuje vliv kompostování na sledovaný mikropolutant.



Nejpočetněji zastoupený mikropolutant ve sledovaných zakládkách je zmiňovaný Telmisartan. Po uplynutí jednoho měsíce kompostování se nejvíce snížila koncentrace v anaerobním fermentoru č. 8, konkrétně o 35,89 %.

Po ukončení pokusu se zvýšila koncentrace mikropolutantu nejvíce ve fermentoru č. 10 o 2 079,37 %. Oproti jednomu měsíci kompostování se koncentrace zvýšila ve všech sledovaných aerobních fermentorech a opět nejvíce v aerobním fermentoru s označením č. 10.

Tabulka č. 3 Změny během procesu kompostování pro látku Telmisartan

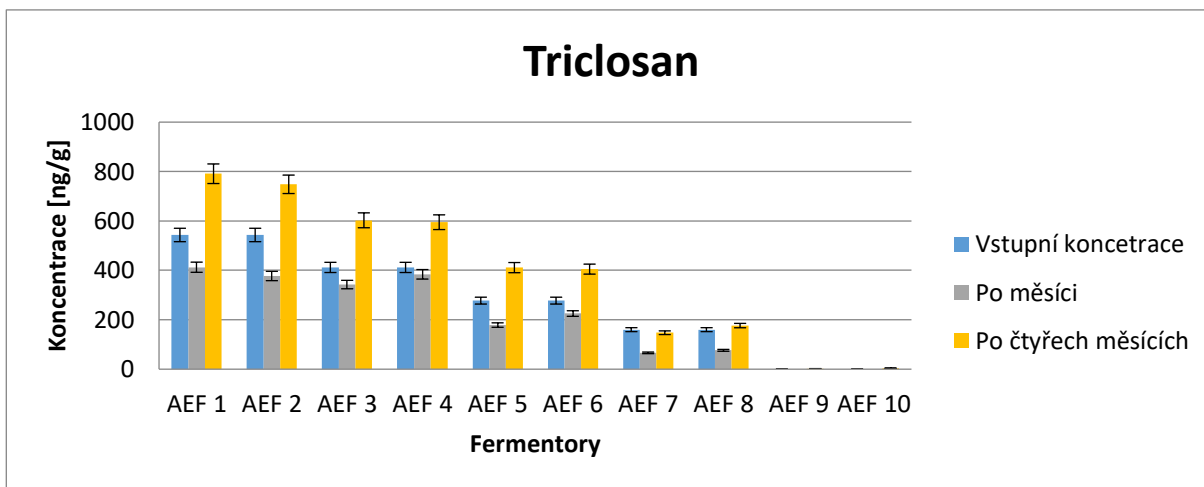
	Vstup data [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	10 161,604	16 879,164	8 748,920	-66,107	13,902	-92,929
AEF 2	10 161,604	13 157,553	8 735,784	-29,483	14,031	-50,617
AEF 3	7 706,112	10 826,709	7 748,720	-40,495	-0,553	-39,723
AEF 4	7 706,112	12 037,385	9 425,667	-56,206	-22,314	-27,709
AEF 5	5 195,886	9 835,158	5 118,079	-89,287	1,497	-92,165
AEF 6	5 195,886	8 393,150	5 216,689	-61,535	-0,400	-60,890
AEF 7	2 997,168	2 569,889	1 947,131	14,256	35,034	-31,983
AEF 8	2 997,168	2 804,938	1 921,569	6,414	35,887	-45,971
AEF 9	3,743	32,732	3,670	-774,466	1,940	-791,765
AEF 10	3,743	81,575	6,020	-2 079,374	-60,836	-1 255,026

Při porovnání počáteční a konečné koncentrace mikropolutantu z tabulky č. 3, můžeme konstatovat, že daný mikropolutant je schopný snížit svoji koncentraci během kompostování, a to nejvíce v aerobním fermentoru č. 7. Vezmeme-li v úvahu pouze 1 měsíční kompostování, je patrné, že pro účely degradace, se nejvíce hodí složení směsi, které bylo ve fermentoru č. 8.

### 5.2.2 Triclosan

Na uvedeném grafu 22 je patrná změna koncentrací během odběrů vzorků.

Graf 22. Změny koncentrací Triclosanu v aerobních fermentorech



V níže uvedené tabulce č. 4 jsou uvedeny koncentrace a jejich procentuální změny během procesu kompostování pro jednotlivé aerobní fermentory. Záporné hodnoty indikují procentuální zvýšení koncentrace.

Aerobní fermentor č. 5 vykázal po uplynutí 1 měsíce od založení pokusu, že se sledovaný mikropolutant degradoval o 35,68 %. Po uplynutí dalších 3 měsíců se jeho koncentrace zvýšila na hodnotu 411 ng/g, procentuálně o 130,88 %. Celkové zkoncentrování koncentrace látky Triclosan je 48,06 %. Ze všech sledovaných aerobních fermentorů je tato zmiňovaná hodnota nejvyšší.

Celkově se snížila koncentrace o 7,82 % v aerobním fermentoru č. 7. Po 1 měsíčním kompostování se snížila jeho koncentrace o 58,69 %. Po dalších 3 měsících se mikropolutant zkoncentroval a zvýšil svoji koncentraci o 123,12 % oproti koncentraci 1 měsíční. Zmiňovaný jev dokazuje, že se látka Triclosan nejvíce odbourá v období 1 měsíčního kompostování ve sledované směsi.

Aerobní fermentory č. 9 a č. 10 vykázaly mikropolutant zkoncentrovat nad mez detekce přístroje po uplynutí 4 měsíců od začátku procesu kompostování.

Tabulka č. 4 Změny během procesu kompostování pro látku Triclosan

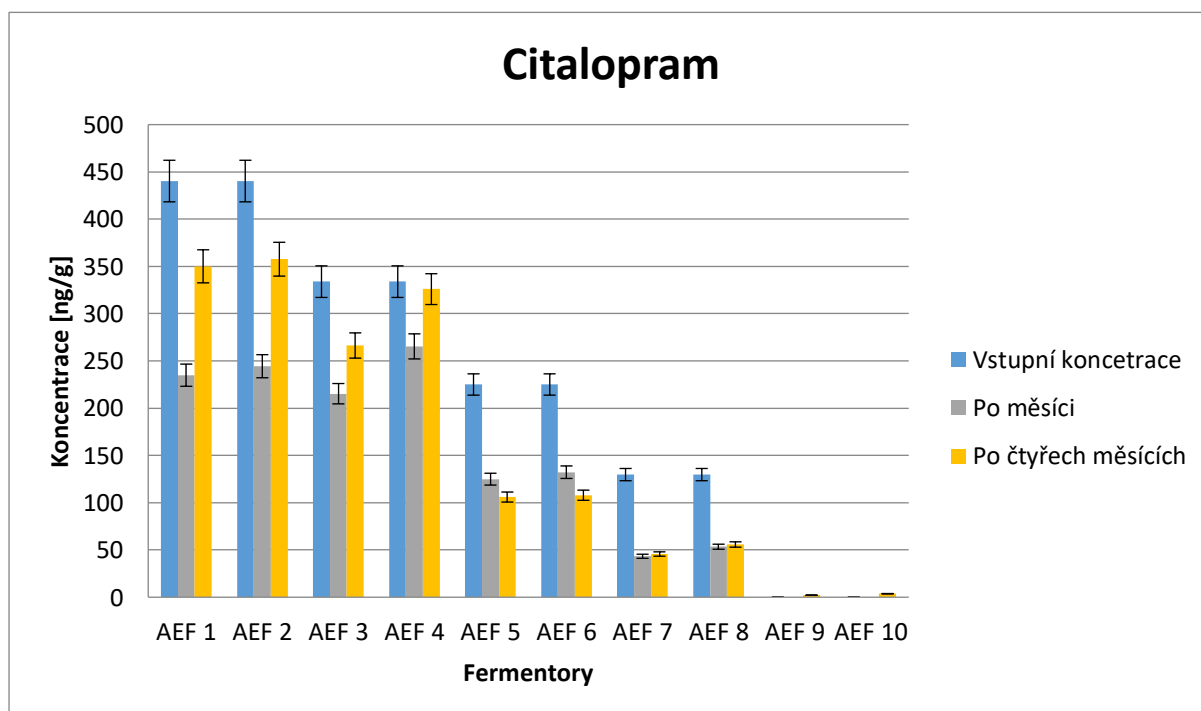
Triclosan						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	543	413	791	-45,61569869	24,0143032	-91,63566936
AEF 2	543	377	748	-37,77781515	30,55997509	-98,41268105
AEF 3	412	343	603	-46,28813874	16,84867235	-75,93000964
AEF 4	412	384	595	-44,4277699	6,748428354	-54,87971661
AEF 5	278	179	411	-48,05575621	35,68433771	-130,2017128
AEF 6	278	225	405	-45,91162507	18,85597779	-79,81808284
AEF 7	160	66	148	7,82801085	58,68981093	-123,1216831
AEF 8	160	76	177	-10,30027494	52,31638717	-131,3169418
AEF 9	0	0	2	N/A	N/A	N/A
AEF 10	0	0	4	N/A	N/A	N/A

Porovnáme-li aerobní fermentory vychází aerobní fermentor č. 7 nejlépe. Na základě vyhodnocení dokázal, že jako jediný snížil celkovou koncentraci popisovaného mikropolutantu.

Celková průměrná změna koncentrace mikropolutantu ve všech aerobních fermentorech dosáhla hodnoty zvýšení 33,82 %.

### 5.2.3 Citalopram

Graf 23. Změny koncentrací Citalopramu v aerobních fermentorech



Na výše uvedeném grafu 23 je znázorněna změna koncentrací během procesu kompostování.

Největšího celkového snížení látky Citalopram dosáhl aerobní fermentor č. 7. Koncentrace mikropolutantu se snížila o 64,78 % oproti počáteční koncentraci. Dále také vykázal největší procentuální snížení již po uplynutí 1 měsíce od začátku procesu kompostování. Látka se snížila o 66,61 %. Vezmeme-li změnu po uplynutí dalších 3 měsíců, je zde malý nárůst ve výši 5,48 %.

Aerobní fermentory s označením č. 9 a č. 10 vykázaly, že z prvotního měření a měření po 1 měsíci koncentrace daného mikropolutantu hodnoty dosáhly pod mez detekovatelnosti. Po uplynutí celkové doby 4 měsíců, se projevil jev zkoncentrování nad mez detekovatelnosti.

V níže uvedené tabulce č. 5 je uveden celkový souhrn změn všech sledovaných aerobních fermentorů a jejich procentuální změny během samotného procesu kompostování po dobu 4 měsíců.

Tabulka č. 5 Změny během procesu kompostování pro látku Citalopram

Citalopram						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	440	235	350	20,49102838	46,64735644	-49,02536467
AEF 2	440	244	358	18,76955857	44,49469105	-46,34715662
AEF 3	334	215	266	20,23146117	35,51111304	-23,69346502
AEF 4	334	265	326	2,369909411	20,5212429	-22,83796847
AEF 5	225	125	106	52,89997268	44,4938725	15,14445443
AEF 6	225	132	108	52,04360486	41,23621805	18,39123768
AEF 7	130	43	46	64,77883075	66,60815563	-5,478358306
AEF 8	130	53	56	57,01482054	58,80203867	-4,338122735
AEF 9	0	0	2	N/A	N/A	N/A
AEF 10	0	0	4	N/A	N/A	N/A

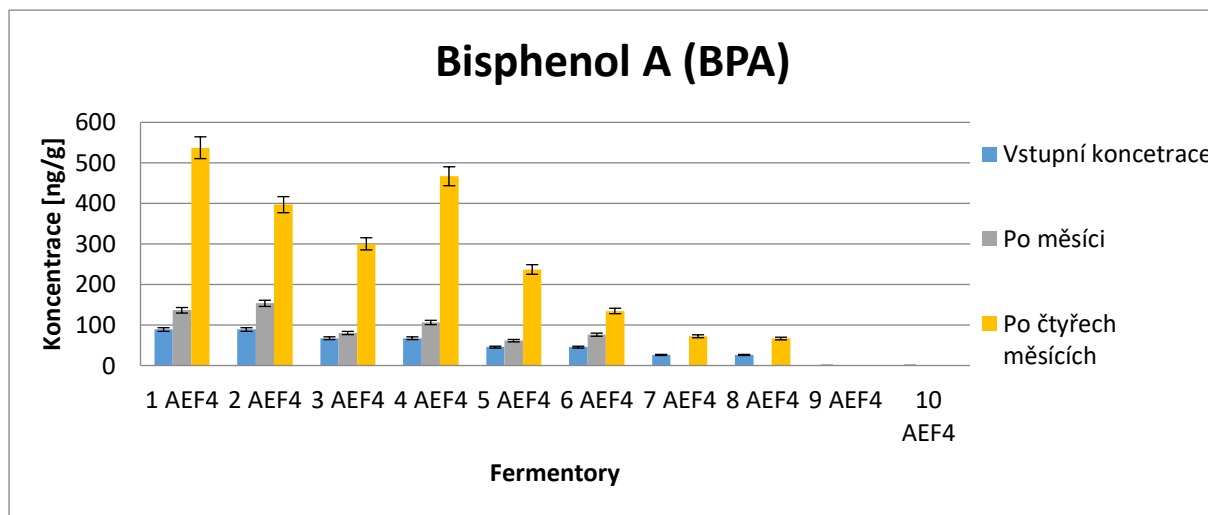
Srovnáním aerobních fermentorů se došlo k závěru, že pro mikropolutant Citalopram s cílem dosáhnout co největší degradace, lze využít směs čistírenského kalu a slaměných pelet. V poměru čistírenského kalu 25 % hm. (11,25 kg) a slaměných pelet 75 % hm. (20,25 kg).

Samotné slaměné pelety se projeví jako vhodné, je-li cílem po uplynutí 4 měsíců zkoncentrovat daný mikropolutant. Mikropolutant dosáhl přesně opačného záměru, než byl cíl.

Uvážíme-li všechny procentní změny po uplynutí doby 4 měsíců, vychází průměrné snížení látky o 36,08 %.

#### 5.2.4 Bisphenol A (BPA)

Graf 24. Změny koncentrací Bisphenol A (BPA) v aerobních fermentorech



Na výše uvedeném grafu 24 je znázorněna změna koncentrací během odběrů vzorků. Dále je patrný jev zkoncentrování ve všech aerobních fermentorech, kde se daný mikropolutant vyskytoval.

Z uvedeného grafu Bisphenol A (BPA) je patrné, že aerobní fermentor č. 8 vykázal nejmenší celkové zvýšení. Koncentrace se navýšila po uplynutí 4 měsíců o 154,61 %.

Největšího zkoncentrování dosáhl aerobní fermentor č. 4. Fermentor vykázal schopnost celkového zvýšení mikropolutantu o 593,72 %. Po 1 měsíci se koncentrace zvýšila o 57,79 %. Děj dál pokračoval a po uplynutí následných 3 měsíců se koncentrace změnila o dalších 339,66 %. Zajímavostí je, že tento procentní nárůst byl největší.

Aerobní fermentor č. 8 vykázal nejmenší nárůst koncentrace. Celkové zkoncentrování, oproti vstupním datům, činilo 157,61 %. Po jednoměsíčním kompostování se Bisphenol A (BPA) dostal pod mez detekce přístroje. Uplynutím dalších 3 měsíců se jeho koncentrace opět zvýšila z 0 ng/g na 67 ng/g.

Tabulka č. 6 Změny během procesu kompostování pro látku Bisphenol A (BPA)

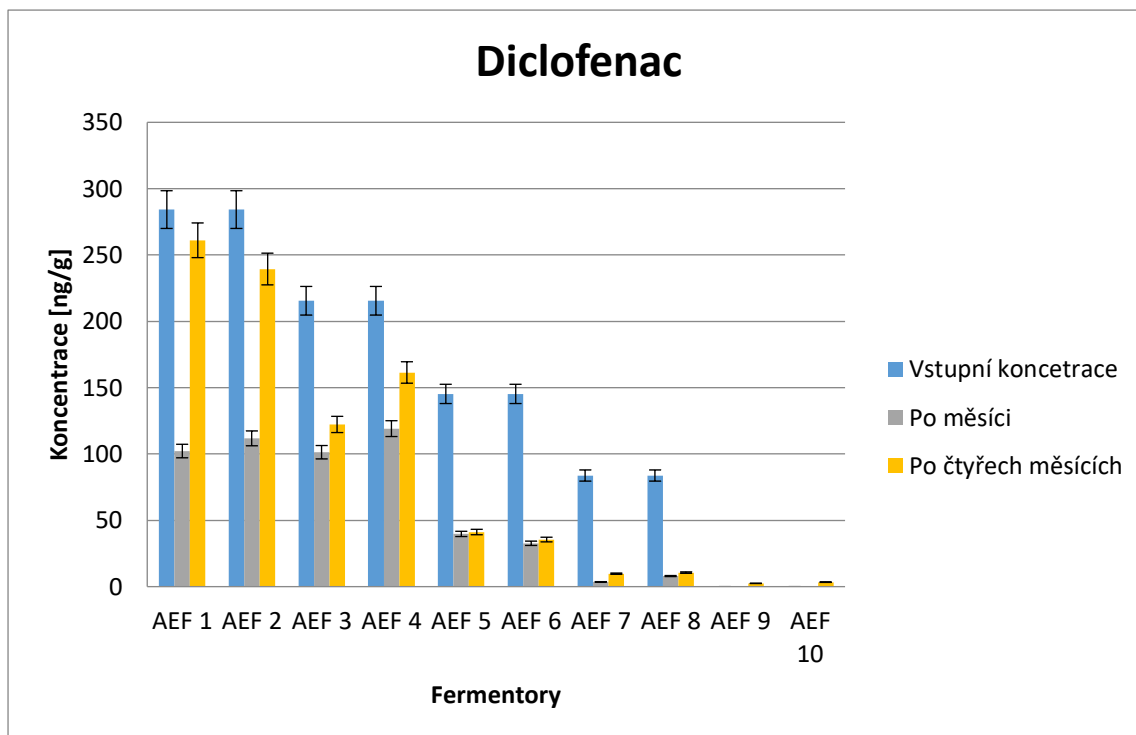
Bisphenol A (BPA)						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	89	136	537	-505,2870799	-53,49679643	-294,3320603
AEF 2	89	153	397	-347,0908786	-72,80945862	-158,7189858
AEF 3	67	80	300	-346,0114511	-19,16779519	-274,2717992
AEF 4	67	106	467	-593,7167359	-57,78676439	-339,6545797
AEF 5	45	61	237	-422,3091004	-35,17954232	-286,3817642
AEF 6	45	76	135	-196,7345788	-67,82116637	-76,81594356
AEF 7	26	0	72	-175,8482574	100	N/A
AEF 8	26	0	67	-154,6059723	100	N/A
AEF 9	0	0	0	N/A	N/A	N/A
AEF 10	0	0	0	N/A	N/A	N/A

Porovnáním aerobních fermentorů, dle tabulky č. 6, pro degradaci mikropolutantu Bisphenol A (BPA) se nejlépe hodí aerobní fermentory s č. 7 a č. 8. Proces kompostování má trvat pouze 1 měsíc. Pokud by proces kompostování trval 4 měsíce, došlo by opětovně k nárůstu koncentrace daného mikropolutantu.

Průměrná změna ve všech aerobních fermentorech po uplynutí 4 měsíců dosahuje zvýšení hodnot o 342,7 %.

## 5.2.5 Diclofenac

Graf 25. Změny koncentrací Diclofenacu v aerobních fermentorech



Na výše uvedeném grafu 25 je znázorněna změna koncentrací během odběrů vzorků.

Aerobní fermentor č. 7 vykázal schopnost největšího snížení koncentrací mikropolutantu. Celkově se koncentrace snížila o 88,35 %. Po uplynutí 1 měsíce od začátku kompostování se snížil Diclofenac o 95,73 %. Po dobu dalších 3 měsíců se koncentrace zvýšila o 172,43 %. Tento nárůst je největší ve srovnání s ostatními aerobními fermentory. Takto vysoké procento je dáno tím, že se zvýšila koncentrace ze 4 ng/g na 10 ng/g, viz příložená tabulka č. 7.

Nejmenší schopnost snížení koncentrace Diclofenacu zaznamenal aerobní fermentor č. 1. Po uplynutí 1 měsíce se sledovaný mikropolutant snížil o 64 %. Po uplynutí dalších 3 měsíců se mikropolutant zkoncentroval o 155,43 %. Celkové snížení koncentrace Diclofenacu činilo ve fermentoru 8,15 %.

Porovnáme-li hodnoty vstupních a výstupních koncentrací, dochází ke statistickým rozdílům.

Tabulka č. 7 Změny během procesu kompostování pro látku Diclofenac

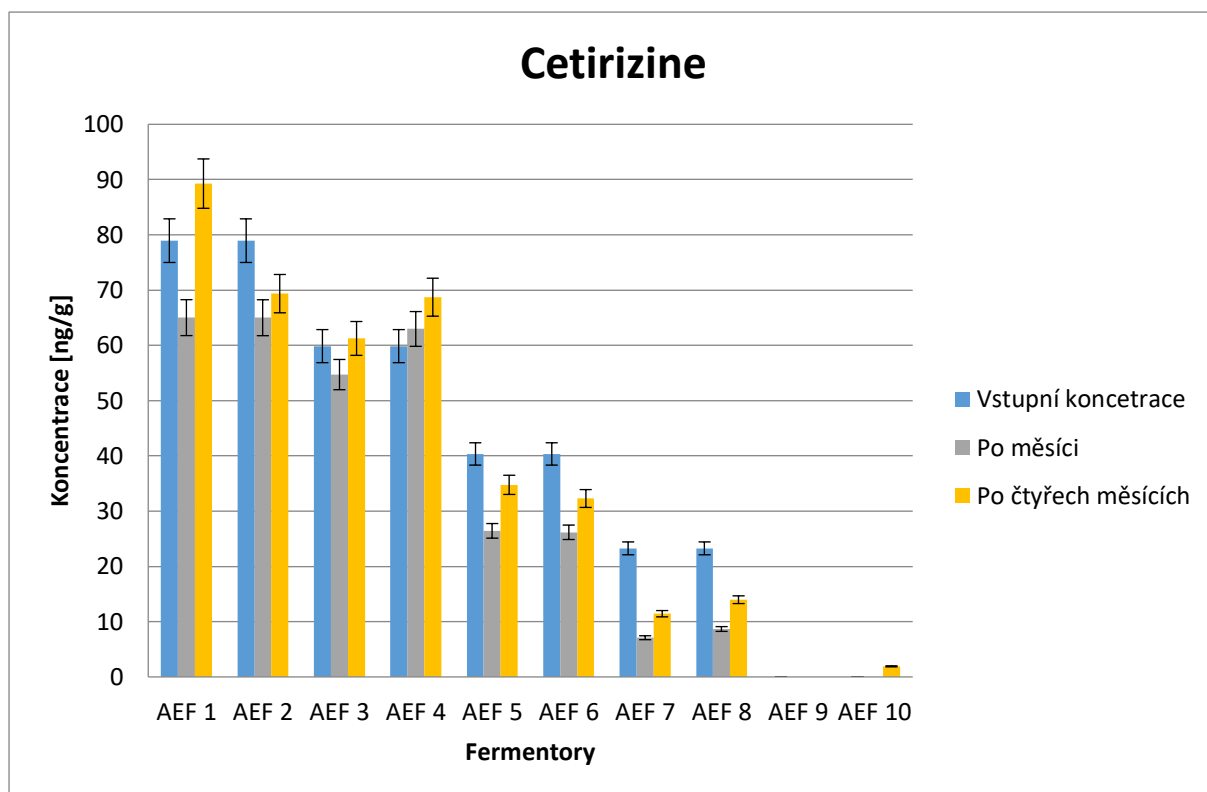
Diclofenac						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	284	102	261	8,147390742	64,04009181	-155,4306001
AEF 2	284	112	239	15,76164273	60,68092557	-114,2429813
AEF 3	216	101	122	43,27572733	52,9928665	-20,67162672
AEF 4	216	119	161	25,09617565	44,73643624	-35,53925815
AEF 5	145	40	41	71,67047686	72,64571724	-3,565220072
AEF 6	145	33	35	75,5779298	77,50630328	-8,572950466
AEF 7	84	4	10	88,34769749	95,7228032	-172,4284863
AEF 8	84	8	11	87,39269527	90,4829313	-32,47046042
AEF 9	0	0	2	N/A	N/A	N/A
AEF 10	0	0	3	N/A	N/A	N/A

Porovnáme-li aerobní fermentory, dle tabulky č. 7 a výše uvedeného podrobnějšího popisu pro dané fermentory vychází, že pro dosažení největšího snížení koncentrace pro daný mikropolutant Diclofenac je nejvýhodnější směs čistírenského kalu 25 % hm. (11,25 kg) a slaměných pelet 75 % hm. (20,25 kg). Zmiňovanou směs obsahoval aerobní fermentor č. 7. Nejméně se hodí pro tento účel aerobní fermentor č. 1, který obsahoval samotný čistírenský kal (45 kg).



## 5.2.6 Cetirizine

Graf 26. Změny koncentrací Cetirizinu v aerobních fermentorech



Aerobní fermentor č. 7 vykázal nejlepší schopnost degradace Cetirizinu. Po uplynutí 1 měsíce kompostování dosáhl snížení koncentrace o 69,5 %. Po následujících 3 měsících se látka statisticky významně zkoncentrovala o 61,26 %. Celková koncentrace se snížila o 50,82 %.

Největší zkoncentrování sledovaného mikropolutantu dosáhl aerobní fermentor č. 4. Po uplynutí 1 měsíce od začátku procesu kompostování se Cetirizine zkoncentroval o 5,19 %. Po ukončení pokusu se opět mikropolutant zkoncentroval a procentně navýšil koncentraci oproti 1 měsíci o dalších 9,14 %. Celkově se mikropolutant v tomto aerobním fermentoru zkoncentroval o 14,33 %.

Všechny změny během procesu kompostování u všech aerobních fermentorů jsou přiloženy v tabulce č. 8 a zobrazeny v grafu 26.

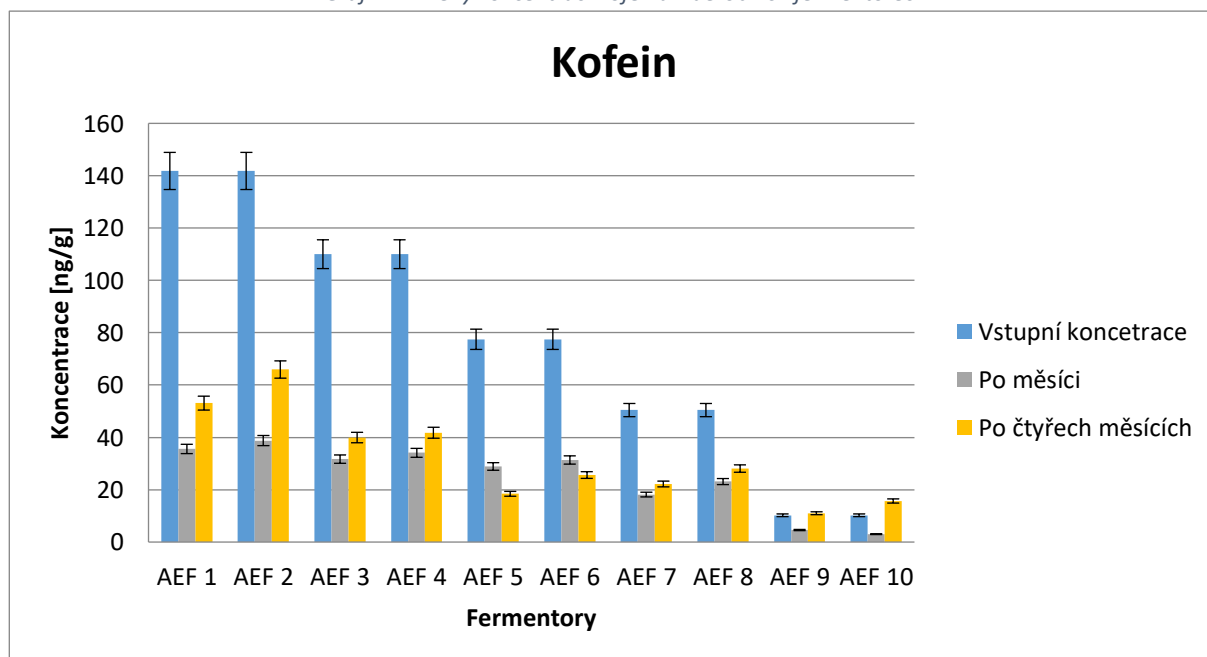
Tabulka č. 8 Změny během procesu kompostování pro látku Cetirizine

Cetirizine						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	79	65	89	-13,07653175	17,63950881	-37,29463013
AEF 2	79	65	69	12,14597979	17,66679525	-6,70545436
AEF 3	60	55	61	-2,323230714	8,606155465	-11,9585583
AEF 4	60	63	69	-14,33075642	-5,190117733	-9,136446366
AEF 5	40	26	35	13,8593197	34,48797054	-31,48834039
AEF 6	40	26	32	19,99088274	35,13428118	-23,34576525
AEF 7	23	7	11	50,81686268	69,50065438	-61,25964779
AEF 8	23	9	14	39,9283904	62,7149943	-61,11465846
AEF 9	0	0	0	N/A	N/A	N/A
AEF 10	0	0	2	N/A	N/A	N/A

Porovnáme-li aerobní fermentory vychází nejlépe po 1 měsíci kompostování aerobní fermentor č. 7. Hodnotíme-li účinnost degradace mikropolutantu po 4 měsících kompostování vychází, že se nejlépe hodí na degradaci daného mikropolutantu směs čistírenského kalu (25 % hm., 11,25 kg) a slaměných pelet (75 % hm., 20,25 kg).

### 5.2.7 Kofein

Graf 27. Změny koncentrací Kofeinu v aerobních fermentorech



V grafu 27 jsou znázorněny změny koncentrací v jednotlivých aerobních fermentorech během procesu kompostování.

Mikropolutant Kofein průměrně ve všech aerobních fermentorech snížil koncentraci o 42,41 %.

Aerobní fermentor č. 5 dosáhl největšího snížení koncentrace Kofeinu. Po uplynutí 1 měsíce kompostování se snížila koncentrace o 62,71 %. Při posledním odběru vzorků, po 4 měsících od začátku kompostování, se koncentrace Kofeinu dále snížila o 36,2 %. Celkové snížení mikropolutantu oproti prvotní koncentraci dosáhl fermentor hodnoty 76,21 %.

Aerobní fermentor č. 10 vykázal zkoncentrování mikropolutantu. Koncentrace Kofeinu se snížila po 1 měsíci o 70,53 %. Při posledním odběru z aerobního fermentoru dosáhla koncentrace daného mikropolutantu zvýšení o 420,79 % oproti 1 měsíčnímu měření. Celkové zvýšení vůči vstupní koncentraci na počátku dosáhlo hodnoty 53,45 %.

Kompletní porovnání jednotlivých aerobních fermentorů a jejich schopnost změny mikropolutantu Kofeinu během období 4 měsíců kompostování je uvedeno v tabulce č. 9.

Tabulka č. 9 Změny během procesu kompostování pro látku Kofein

Kofein						
	Vstup data [ng/g]	Měsíc [ng/g]	Čtyři měsíce [ng/g]	Změna po čtyřech měsících [%]	Měsíc/Vstup [%]	Čtyři měsíce/měsíc [%]
AEF 1	142	36	53	62,55287381	74,90799615	-49,23928124
AEF 2	142	39	66	53,50711099	72,64838095	-69,9822191
AEF 3	110	32	40	63,69467398	71,19352928	-26,03184325
AEF 4	110	34	42	62,01785927	69,00163334	-22,52949053
AEF 5	77	29	18	76,21125786	62,71292897	36,20109738
AEF 6	77	31	26	66,94517829	59,51790713	18,34705333
AEF 7	50	18	22	55,9939937	64,01829221	-22,30104962
AEF 8	50	23	28	44,31189377	54,1695238	-21,50889724
AEF 9	10	5	11	-7,683313745	55,10528119	-139,8574189
AEF 10	10	3	16	-53,4548053	70,53394588	-420,7850521

Tabulka č. 9 uvádí, že aerobní fermentor č. 5 dosáhl největšího snížení koncentrace daného mikropolutantu. Lze konstatovat, že pro cílené odstranění mikropolutantu Kofein je nejvhodnější směs čistírenského kalu, 50 % hm. o hmotnosti 22,5 kg, a slaměných pelet, 50 % hm. o hmotnosti 13,5 kg.

## 6 Diskuze

Na základě statistických vyhodnocení jednotlivých aerobních fermentorů, vyplývá jednoznačná závislost složení směsí čistírenského kalu a slaměných pelet na snížení koncentrací u sledovaných mikropolutantech.

Dále byl pozorován jev zkoncentrování mikropolutantů. Především po 4 měsících se mikropolutanty zkoncentrovaly, Bisphenol A (BPA), Carbamazepine a Ibuprofen. Například Atorvastatin, Equol a Triclosan se zkoncentrovaly v některých aerobních fermentorech. Zkoncentrování bylo častější po 4 měsících oproti 1 měsíčním koncentracím sledovaných mikropolutantů. Zmiňovaný jev se dá vysvětlit znatelnějším úbytkem materiálu po uplynutí 4 měsíců během procesu kompostování. Výsledná data se pokaždé vztahují k hmotnosti odběrného vzorku. Po 4 měsících se množství směsi objemově zmenšilo. Koncentrace sledovaných mikropolutantů se snížila méně, nebo nedošlo ke změně koncentrace.

U variant aerobních fermentorů, s obsahem pouhých slaměných pelet, bylo pozorováno pouze 5 mikropolutantů. Celkem 3 mikropolutanty snížily své koncentrace pod mez detekovatelnosti. Po ukončení pokusu se opět mikropolutanty zkoncentrovaly, kromě 2 mikropolutantů (Mirtazapine a Sulfapyridine) se koncentrace zvýšila nad mez detekce přístroje. Proces je možné vysvětlit pokračujícím rozkladem materiálů, zmenším jeho objemu, ale samotné mikropolutanty už své koncentrace v zásadě nejsou schopny snížit, nebo snížit alespoň stejně rychle.

Ve variantě pouze s obsahem čistírenského kalu často byla pozorována vyšší účinnost degradace mikropolutantů během 1 měsíce procesu kompostování. Mikropolutanty byly lépe přístupné pro mikroorganismy a jejich enzymy, především díky tomu, že materiál obsahoval nadbytek živin. Po uplynutí 4 měsíců se celkové průměrné koncentrace sledovaných mikropolutantů zkoncentrovaly o 18,24 %. Na celkové průměrné zkoncentrování všech sledovaných mikropolutantů mají významný vliv mikropolutanty Bisphenol A (BPA), zkoncentroval se v rozmezí 347,1 – 505,29 %, a Sulfanilamide (zkoncentroval se v rozmezí 484,47 – 488,57 %). Výsledek lze vysvětlit stejně jako předchozí jev nárůstem koncentrace mikropolutantů během procesu.

Směsi čistírenského kalu a slaměných pelet obecně prokázaly lepší účinnost snižování koncentrací mikropolutantů než samotné pelety nebo čistírenský kal. Vyšší efektivita je dána

díky širší dostupnosti živin, poměru C:N a teploty pro dosažení lepších podmínek pro mikroorganismy.

Nei et al (2014) ve studii degradovalo 5 mikropolutantů z toho 3 antibiotika (Ciprofloxacin, Norfloxacin a ofloxacin) a 2 sulfamidy (Sulfadimethoxin a Sulfamethoxazol). Vytvořili 4 různé komposty ze směsi čistírenského kalu z Estonského města. Směsi obsahovaly různé referenční látky o počátečních koncentracích každého léčiva 2 mg/kg ve vztahu na suchou hmotnost. Teplota okolí se pohybovala v rozmezí 22 °C až 25 °C. Celková doba kompostování byla 120 dní. Kompost se promíchával pravidelně každý 5 až 7 den z důvodu zajištění dostatečného provzdušnění a homogenizace směsí. Vodu dodávali dle závislosti na sušině. Po 4 měsících od začátku experimentu dosáhly látky snížení Ciprofloxacin o 92 – 95 %, Norfloxacin o 82 – 96 %, Ofloxacin o 99 – 100 %, Sulfamethoxazole o 83 – 100 % a pro Sulfadimethoxine o 76 – 99 %. Výsledkem studie bylo zjištění, že více než 90 % z celkového množství antibiotik se rozložilo během 120 dnů. V našem případě se také vyskytovaly mikropolutanty, které snížily svojí celkovou koncentraci po uplynutí 4 měsíců od začátku experimentu více než o 90 %. Jedná se především o Atenolol (AEF č. 5 až AEF č. 8), Estrone (vyjma AEF č. 1 a AEF č. 2), Omeprazole a Trimethoprim. Úplné snížení pod mez detekce přístroje zaznamenaly mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin a Sulfamethoxazole.

Dále bylo pozorováno náhlé snížení koncentrace po krátké době po přimíchání farmak do směsí (Nei et al. 2014). Podobného jevu dosáhl v našem případě, po 1 měsíci, například Atorvastatin v aerobním fermentoru č. 1 a aerobní fermentor č. 6.

Derby et al. (2011) uvádějí, že se celková estrogenita snížila u kompostování o 79 %. Kompostování prováděli v hromadě o rozměrech 1,5 m na výšku a 2 m na šířku. Kompost se skládal z prasečího hnoje. Estrogen 17, Estradiol a Estrone se sledovaly. Z počátku se koncentrace pohybovaly ve vyšších hodnotách. Po uplynutí 36 dnů klesly koncentrace pod 2 µg/ kg. Po ukončení experimentu, po dalších 36 dnech, dosahovaly koncentrace estrogenů snížení o 94 % a 78 % oproti původním koncentracím. Celková doba studie činila 92 dnů. Výsledkem studie bylo zjištění, že změny v N, P a K nebyly významné. Dále celková estrogenita se v průběhu studie snížila o 79 % u kompostu. Studie také srovnávala snížení i v samotném hnoji po stejné době. V hnoji se snížila koncentrace estrogenity o 74 %. Derby et al. (2011) došli k závěru, že není možné určit snížení estrogenity důsledkem degradace nebo zvýšení sorpce v průběhu času. Ze studie je možné určit, že se koncentrace estrogenity snížila

díky procesu kompostování. V naší studii se došlo k podobnému závěru. Estrogen, skupina steroidů, kam se řadí Estron a Estriol, se snížil v aerobním fermentoru č. 1 o 81,53 % a v aerobním fermentoru č. 2 o 82,86 %. V aerobních fermentorech č. 3 až č. 8 se snížil pod mez detekce přístroje. Vykázal ještě lepší schopnost snižovat svojí koncentraci ve směsi čistírenského kalu a slaměných pelet než ve směsi s obsahem prasečího hnoje.

Iranzo et al. (2018) uvádějí, že kompostování kalu s rýžovou slámou je vhodnou metodou pro degradaci farmak a její účinnost lze zvýšit změnou poměru C:N. Studie analyzovala Azithromycin, Benzylpenicilin, Citalopram, Fluconazole, Fluoxetine, Ibuprofen, Irbesartan, Olanzapine, Telmisartan, a Venlafaxine. Kompostovací proces byl prováděn s rýžovou slámou smícháním s čistírenským kalem. Směs byla připravena do 5 Dewarových nádob, každá o obsahu 8 L. Pokaždé byly odebrány 3 vzorky z 1 nádoby a byly analyzovány podle norem UNE a metod španělského Ministerstva zemědělství, rybolovu a výživy. Každý 2 den byly odebrány vzorky z nádob po dobu 32 dnů z různých míst a hloubek pro zajištění co největší homogenity. Hladina Azithromycinu byla snížena o 50 % u Citalopramu se koncentrace snížila o 10 % a Fluoxetin se po 15 degradoval. Po ukončení experimentu farmaka Zithromycin, Ibuprofen, Irbesartan, Olanzapin a Benzylpenicilin byly odstraněny během všech kompostovacích procesů při různé rychlosti degradace. V případě Aithromycinu, Irbesartanu, Telmisartanu a Venlafaxinu se koncentrace během procesu zvýšila, to ukazuje na schopnost těchto farmak se akumulovat v čistírenském kalu. Ve studii se Telmisartan dokázal snížit jen v 1 fermentoru z 5. V naší studii se Ibuprofen zkoncentroval v celkovém průměru všech aerobních fermentorů 1 až 10 o 140 %. Pro degradaci Ibuprofenu je vhodnější směs čistírenského kalu s rýžovou slámou než směs čistírenského kalu a slaměných pelet. Telmisartan vykázal shodnou vlastnost s našim experimentem. Mikropolutant dokázal snížit koncentraci jen v aerobních fermentorech č. 7 a č. 8. V aerobním fermentoru č. 10 se zkoncentroval nejvíce, viz. kapitola 5.2 Změny vybraných sledovaných látek. V celkovém průměru všech aerobních fermentorů, kromě fermentoru č. 10, se koncentrace Telmisartanu zvýšila o 121,88 %. Citalopram se v naší studii v průměru snížil ve všech aerobních fermentorech o 36 %. Snížení je trojnásobné oproti studii Iranzo et al. (2018) a vykazuje výhodnější podmínky pro degradaci daného farmaka v našich podmínkách. Fluconazole se ve studii Iranzo et al. (2018) snížil pouze v 1 případě. V naší studii se tento farmak vůbec nedetekoval. Venlafaxine se v našem případě ve všech aerobních fermentorech snížil, kromě aerobního fermentoru č. 4 a č. 10. Největší snížení dosáhl aerobní fermentor č. 7, snížení o 54,45 %. Největšího zkoncentrování Venlafaxinu dosáhl aerobní fermentor č. 10,

zkonzentrování o 14,94 %. V porovnání se studií je patrné, že pro cíl snížení daného farmaka pod mez detekce přístroje se lépe hodí směs čistírenského kalu a slaměných pelet než směs čistírenského kalu s rýžovou slámou.

## 7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zaměřit se na osud vybraných mikropolutantů během procesu kompostování směsi čistírenského kalu a slaměných pelet a ověření formulovaných hypotéz.

### Hypotéza č. 1

Hypotéza je formulována následovně: Během kompostování dochází k průkaznému poklesu obsahu mikropolutantů.

Hypotéza byla potvrzena pro proces kompostování v 1 měsíci. Průkazné snížení dosahovaly mikropolutanty v aerobních fermentorech, již po 1 měsíci kompostování. Hypotéza byla statisticky prokázána. U aerobního fermentoru č. 10, nebyly statisticky prokázány významné rozdíly (Wilcoxonův párový test).

Pod mez detekce přístroje se dostaly mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin, Sulfamethoxazole ve všech aerobních fermentorech. Významný pokles zaznamenaly Clarithromycin, Estrone, Hydrochlorothiazide, Omeprazole a Trimethoprim.

Statistické ověření pro otestování hypotézy po uplynutí 4 měsíců kompostování prokázalo průkazné snížení obsahů mikropolutantů. U aerobních fermentorů č. 1, č. 2 č. 3 a č. 4 změny koncentrací mikropolutantů byly statisticky neprůkazné (Wilcoxonův párový test).

### Hypotéza č. 2

Různé zastoupení čistírenských kalů a slaměných pelet má vliv na obsah mikropolutantů ze skupiny farmak a endokrinních disruptorů i v konečném kompostu.

Tato hypotéza se potvrdila. Potvrzení hypotézy dokládají grafy v přílohách 1 až 3 a dále tabulky č. 2 až č. 8, kde byly popsány významné mikropolutanty. V různém zastoupení směsí čistírenského kalu a slaměných pelet se různě mikropolutanty zkoncentrovaly nebo snižovaly (degradovaly) svojí koncentraci.

Pro snížení obsahů koncentrací sledovaných mikropolutantů je vhodný poměr čistírenského kalu, 25 % hm. (11,25 kg) a slaměných pelet, 75 % hm. (20,25 kg).



### Hypotéza č. 3

Jednotlivá farmaka a endokrinní disruptory se během kompostování odbourávají s různou intenzitou.

Tato hypotéza byla částečně potvrzena. Vliv jednotlivých farmak a endokrinních disruptorů na samotný proces byl patrný především na základě výše popsaných změn pro jednotlivé významné mikropolutanty. Sledované mikropolutanty se po uplynutí 1 měsíce různě snižovaly. Po uplynutí 4 měsíců se jednotlivé mikropolutanty spíše zkoncentrovaly. Z výše uvedených důvodů nelze jednoznačně stanovit, že se jednotlivá farmaka a endokrinní disruptory s různou intenzitou odbourávají.

Největší intenzitu odbourávání zaznamenaly mikropolutanty Acetaminophen (Paracetamol), Carbamazepine - 10,11-epoxide, Gabapentin a Sulfamethoxazole, které snížily svojí koncentraci pod mez detekce přístroje.

Největší snížení měřitelných koncentrací (nad mez detekce přístroje) zaznamenaly Trimethoprim (o 92,38 – 100 %), Estrone (o 81,53 – 100 %), Hydrochlorothiazide (o 80,5 - 100 %), Omeprazole (o 100 %, kromě AEF 1 – 29,71 %) a Clarithromycin (o 71 ,44 – 87,68 %).

## 8 Literatura

Ayliara M S, Olanrewaju O S, Babalola O O, Odeyemi O. 2020. Waste Management through Composting: Challenges and Potentials. *Sustainability* 12. DOI: 10.3390/su12114456.

BAUHAUS Česká republika. 2021. Brno. Available from <https://www.bauhaus.cz/termokomposter-22447391> (accessed June 2021).

Bínová M. 2014. Problematika domácího kompostování v ČR [BSc. Thesis]. Univerzita Karlova v Praze, Praha.

Curran M P, Scott L J, Perry M C. et al. 2004. Cetirizine. *Drugs* **64**: 523-561.

ČESKÉ STAVBY.cz. 2016. České Budějovice. Available from <https://www.ceskestavby.cz/> (accessed June 2021).

ČSN 46 5735. 2020. Kompostování. Úřad pro technickou normalizaci, Praha.

Dacies N M & Anderson K E. 2012. Clinical Pharmacokinetics of Diclofenac. *Clin. Pharmacokinet* **33**, 184–213 Němčoko.

Derby N E Hakk H, Casey F X M, DeSutter T M. 2011. Effects of Composting Swine Manure on Nutrients and Estrogens **176**: 91-98. USA.

Diaz L F M. de Bertoldi M, Bidlingmaier W. 2007. *Compost Science and Technolog. Elsevier Science. Waste Management Series 8*: 119-157

Doležal T. 2002. Praha. Telmisartanum. *ReMedia* **2**:85.

Dreslerová D. 2017. Kofein a výživa člověka [BSc. Thesis]. Masarykova univerzita, Brno.

Eklind Y, Beck-Friis B, Bengtsson S, Ejlerstsson J, Kirchmann H, Mathisen B, Nordkvist E, Sonesson U, Svensson B H, Torstensson L. 1997. Chemical characterization of source-separated organic household wastes. *Swedish Journal of Agricultural Research* **27**:167-178

EMAKO. 2021. Hradec Králové. Available from <https://www.emako.cz/zahrada/emako-zahradni-komposter--uzavreny-300-l-8711295776861/> (accessed June 2021).

Epstein E. 2011. *Industrial composting: Enviromental engineering and facilities managment.* CRC Press 1. DOI: 10.1201./b10726.

- GWOZDZ M. 2010. Technologie řízeného kompostování v průmyslových kompostárnách a možnosti využití vzniklého substrátu [BSc. Thesis]. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Háchová J. 2016. Chemické látky, Praha. Available from <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/bisfenol-a>, (accessed February 2022).
- Hejátková K, Jelínek A, Macourek M, Novák P, Ostratický R, Plíva P, Šrefl J, Vostál D, Vostoupal B, Zemánek P, Zimová M. 2002. Faremní kompost: vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem: realizační pomůcka pro zpracování podnikové normy. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.
- Chen L, de Haro Marti M, Moore A, Falen C. 2011. The Composting Process. Dairy composting **1**:1-5
- Chen Z, Qiqi F, Yongsen C, Qinxue W, Yiqi W. 2020. Effects of lime amendment on the organic substances changes, antibiotics removal, and heavy metals speciation transformation during swine manure composting, *Chemosphere* **262**:128-342
- Iranzo M, Gamón M, Boluda R, Mormeneo S. 2018. Analysis of pharmaceutical biodegradation of WWTP sludge using composting and identification of certain microorganisms involved in the process. *Science of The Total Environment* **640 – 641**:840 - 848
- Kopačka M. 2009. Možnosti, metody a technologické postupy při kompostování biomasy [BSc. Thesis]. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, České Budějovice.
- Lazzari L et al. 1999. Gas chromatographic determination of organic micropollutants in samples of sewage sludge and compost: Behaviour of PCB and PAH during composting. *Chemosphere* **38**:1925-1935.
- Linhart I. 2014. Toxikologie: interakce škodlivých látek s živými organismy, jejich mechanismy, projevy a důsledky. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- Meena A Karwal M, Dutta D, Mishra P R. 2021. Composting: Phases and Factors Responsible for Efficient and Improved Composting. Consortium Research Platform on Conservation Agriculture 3. DOI: 10.13140/RG.2.2.13546.

Michel F C Jr & Reddy C.A. 2013. Effect of oxygenation level on yard trimmings composting rate, odor production, and compost quality in bench-scale reactors. *Compost Science & Utilization*, 6. DOI: 10.1080/1065657X.1998.10701936.

Ministerstvo životního prostředí. 2020. Kdo správně třídí biologicky rozložitelný odpad a kompostuje, bojuje proti suchu, Praha. Available from [https://www.mzp.cz/cz/news\\_20200505-kdo-spravne-tridi-biologicky-rozlozitelny-odpad-a-kompostuje-bojuje-proti-suchu](https://www.mzp.cz/cz/news_20200505-kdo-spravne-tridi-biologicky-rozlozitelny-odpad-a-kompostuje-bojuje-proti-suchu) (accessed June 2021).

Ministerstvo životního prostředí. 2021. Biologicky rozložitelné odpady, Praha. Available from [https://www.mzp.cz/cz/biologicky\\_rozlozitelne\\_odpady](https://www.mzp.cz/cz/biologicky_rozlozitelne_odpady) (accessed December 2021).

Nei L, Haiba E, Kutti S, Kipper K, Herodes K, Lillenberg M. 2014. Sewage sludge compost, microbial activity and pharmaceuticals. *Global Journal on Advances in Pure & Applied Sciences* 3:30-37.

Palaniveloo K, Amran M A, Norhashim N A, Mohamad-Fauzi N, Peng-Hui F, Hui-Wen L, Kai-Lin Y, Jiale L, Chian-Yee M G, Jing-Yi L, Gunasekaran B, Razak S A. 2020. Food Waste Composting and Microbial Community Structure Profiling. *Processes* 8. DOI: 10.3390/pr8060723.

Petrлік J & Válek P. 2018. Triclosan, Praha. Available from <https://arnika.org/toxicke-latky/databaze-latek/triclosan> (accessed December 2021).

Plíva P. 2006. Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha.

Rich N & Bharti A. 2015. Assessment of different types of in-vessel composters and its effect on stabilization of MSW compost *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)* 02:37-42.

Rincón A C, De Guardia A, Couvert A, Le Roux S, Soutrel I, Daumoin M, Benoist J C. 2019. Chemical and odor characterization of gas emissions released during composting of solid wastes and digestates. *Journal of Environmental Management* 233:39-53.

Sadef Y, Poulsen T G, Bester K. 2014. Impact of compost process temperature on organic micro-pollutant degradation. *Science of The Total Environment* 494 – 495:306-312.

- Sánchez O J, Ospina D A, Montoya S. 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste Management* 69:136-153
- Shen Y, Chen T B, Gao D, Zheng G, Liu H, Yang Q. 2012. Online monitoring of volatile organic compound production and emission during sewage sludge composting. *Bioresource Technology* 123: 463 – 470.
- Singh J & Kalamdhad S A. 2018. Effects of Heavy Metals on the Environment by Utilization of Urban Waste Compost for Land Application: A Review. *Urban Ecology, Water Quality and Climate Change* 84:329-340.
- Sosna M. 2012. Projektování kompostárny [BSc. Thesis]. Vysoká škola báňská, Ostrava.
- Sundberg C & Jönsson H. 2008. Higher pH and faster decomposition in biowaste composting by increased aeration. *Waste Management* 28:518-526.
- Švihovec J, Kostiluk P, et al. 2021. Citalec (Citalopramum): profil léčivého přípravku. Edukafarm, Praha. Available from <http://www.edukafarm.cz/c448-citalec-citalopramum-profil-leciveho-pripravku> (accessed December 2021).
- Zákon č. 541/2020 Sb. 2020. Zákon č. 541/2020 Sb. Ministerstvo životního prostředí, Praha.
- Zemánek P. 2001. Speciální mechanizace: mechanizační prostředky pro kompostování. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, Brno.
- Zheng G, Wang Y, Wang X, Yanf J, Chen T. 2018. Oxygen Monitoring Equipment for Sewage-Sludge Composting and Its Application to Aeration Optimization. *Sensors* 18. DOI: 10.3390/s18114017.

## 9 Obrázky a tabulky

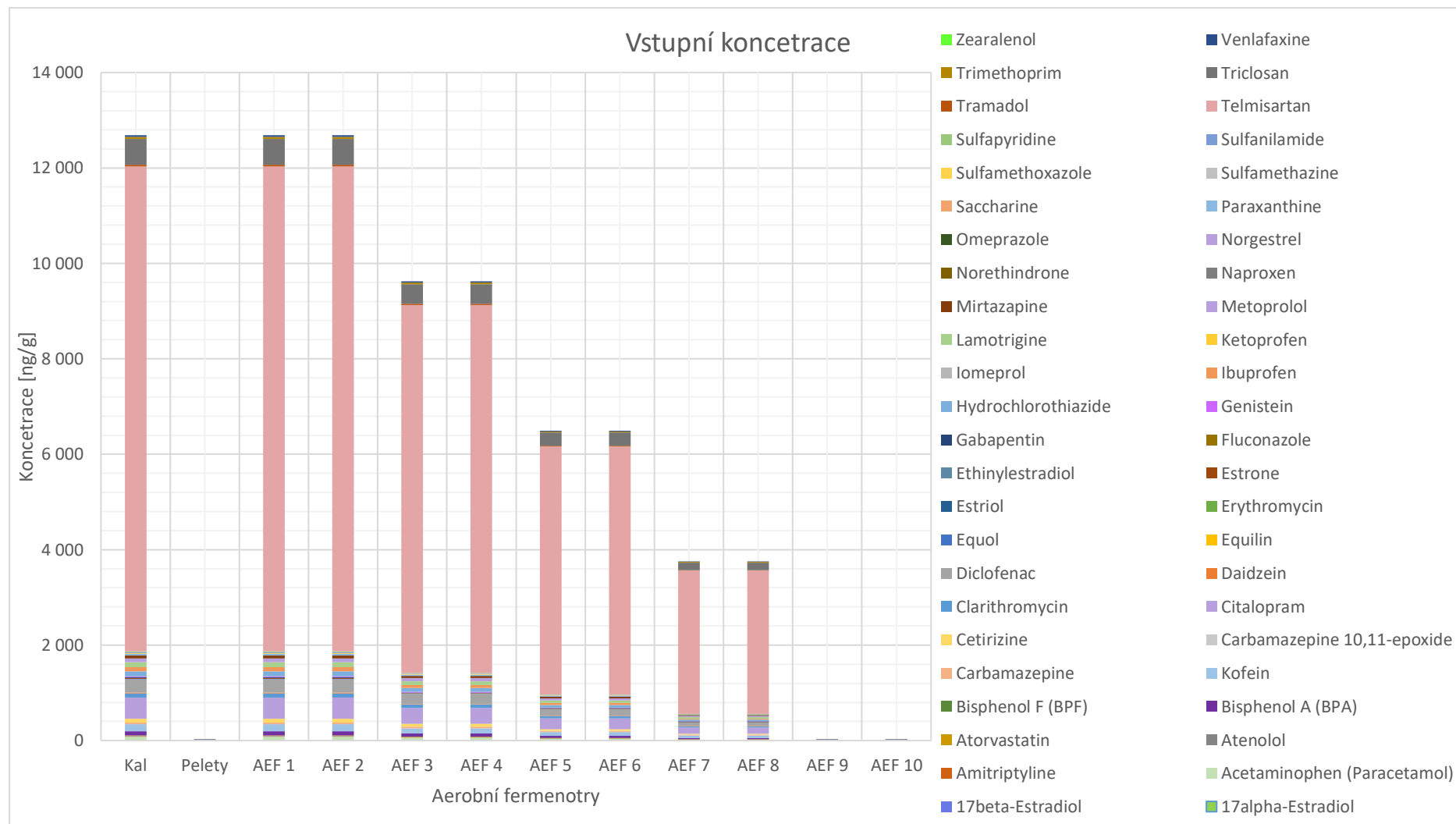
Obrázek č. 1 Uzavřený kompostér (EMAKO.cz 2021) .....	15
Obrázek č. 2 Termokompostér (BAUHAUS 2021).....	15
Obrázek č. 3 Otevřený kompostér (ČESKÉ STAVBY.cz 2021) .....	16
Obrázek č. 4 Znárodněn proces kompostování na volné ploše .....	16
Obrázek č. 5 Graf průběhu teploty během kompostování .....	18
Obrázek č. 6 Aerobní fermentor .....	33
Obrázek č. 7 Konfigurace aerobních fermentorů .....	34
Obrázek č. 8 Nerezové patrony .....	35
Obrázek č. 9 ASE 200 .....	35
Obrázek č. 10 Centrifuga.....	35
Obrázek č. 11 HPLC-MS pro cílenou analýzu .....	37
Obrázek č. 12 Chromatogram.....	37
Obrázek č. 13 Přepočet.....	42
Tabulka č. 1 Poměr vstupních surovin v aerobních fermentorech.....	33
Tabulka č. 2 Statistické vyhodnocení dat po jednom měsíci .....	43
Tabulka č. 3 Změny během procesu kompostování pro látku Telmisartan.....	65
Tabulka č. 4 Změny během procesu kompostování pro látku Triclosan .....	67
Tabulka č. 5 Změny během procesu kompostování pro látku Citalopram.....	68
Tabulka č. 6 Změny během procesu kompostování pro látku Bisphenol A (BPA).....	70
Tabulka č. 7 Změny během procesu kompostování pro látku Diclofenac.....	72
Tabulka č. 8 Změny během procesu kompostování pro látku Cetirizine.....	74
Tabulka č. 9 Změny během procesu kompostování pro látku Kofein .....	75

## 10 Seznam použitých zkratk a symbolů

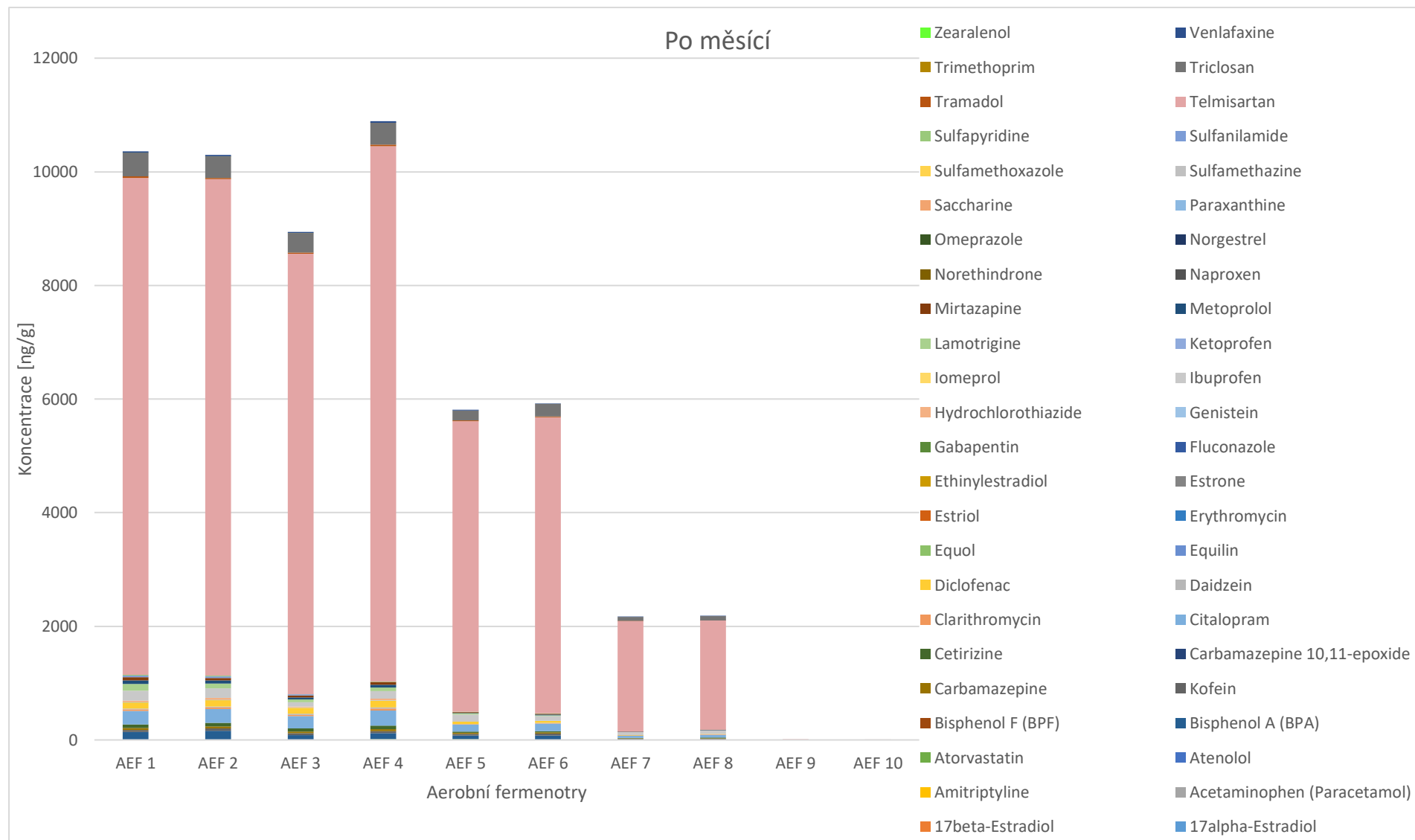
BRO.....	Biologicky rozložitelný opad
AEF.....	Aerobní fermentor
OEF .....	Faktory emisí zápachu (Odor emission factors)
SPE.....	Extrakce v pevné fázi (Solid-phase extraction)
OU <sub>E</sub> .....	Míry emisí zápachu (Odor emission rates)
OM <sub>0</sub> .....	počáteční organická hmota (initial organic matter)

# 11 Samostatné přílohy

**Příloha 1.** Vstupní koncentrace v jednotlivých aerobních fermentorech

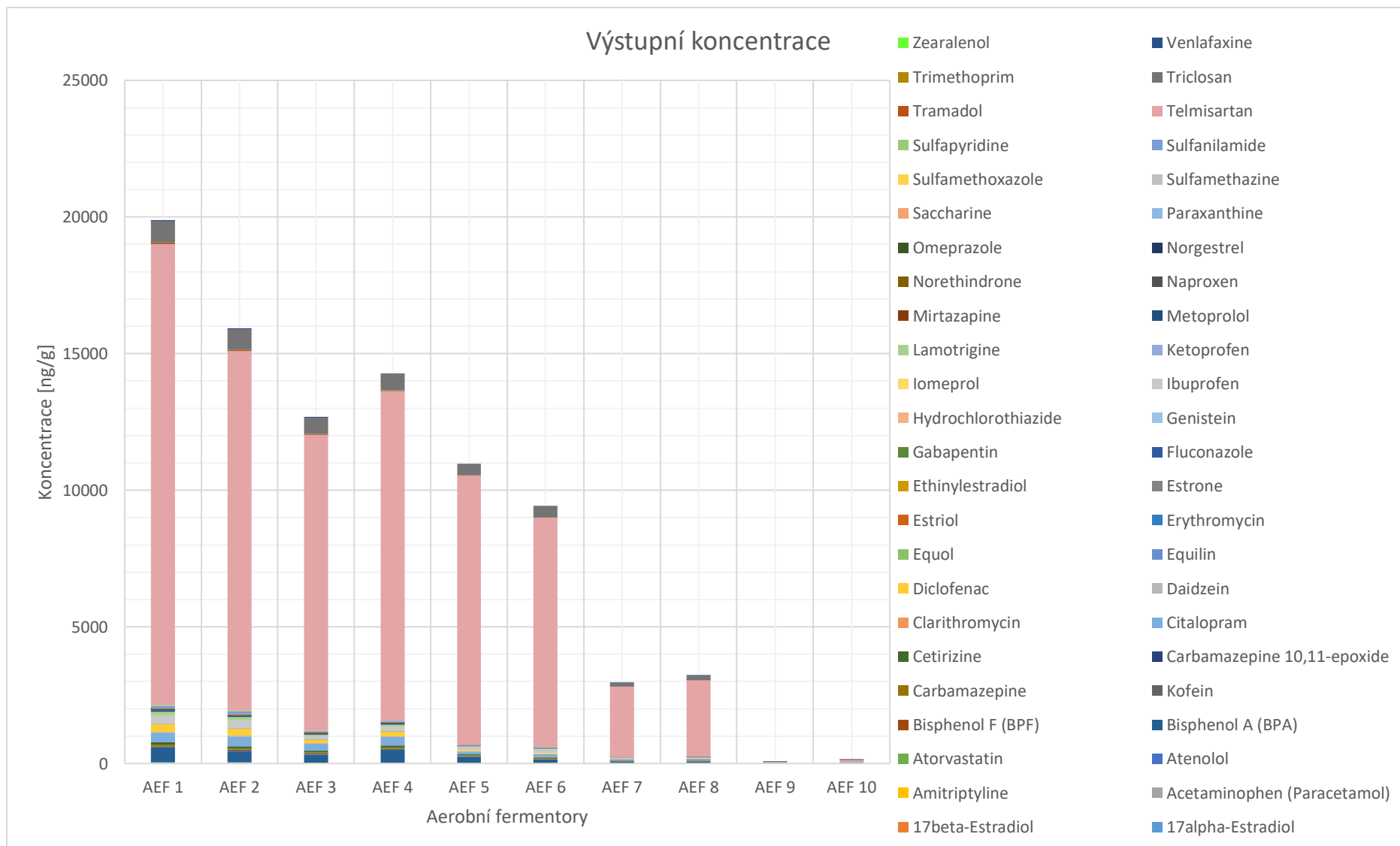


**Příloha 2.** Po měsíci kompostování a jejích koncentrace v jednotlivých aerobních fermentorech





**Příloha 3.** Mikropolutanty a jejich koncentrace po ukončení kompostování v jednotlivých aerobních fermentorech



**Příloha 4.** Tabulka 10 Podmínky měření v programu MassHunter Workstation Optimizer a Source Optimizer

Farmaka a produkty osobní péče	Retenční čas [min]	Kvantifikační/kvalifikační přechod	Polarita	Kolizní energie [V]	Fragmentor [V]	Napětí kolizní cely [V]
Acetaminophen (Paracetamol)	3,2	152.1 → 65.0	Pozitivní	32	100	3
		152.1 → 110.1	Pozitivní	18	100	3
Amitriptyline	7,5	278.2 → 233.1	Pozitivní	16	120	4
		278.2 → 105.1	Pozitivní	28	120	4
Atenolol	3,1	267.2 → 145.1	Pozitivní	28	120	3
		267.2 → 56.0	Pozitivní	32	120	3
Atorvastatin	9,9	559.3 → 440.2	Pozitivní	24	165	3
		559.3 → 250.1	Pozitivní	48	165	3
Caffeine	4,0	195.1 → 138.0	Pozitivní	20	105	4
		195.1 → 110.0	Pozitivní	26	105	4
Carbamazepine	7,0	237.1 → 194.1	Pozitivní	20	120	4
		237.1 → 179.1	Pozitivní	40	120	4
Carbamazepine - 10,11-epoxide	5,4	253.1 → 210.1	Pozitivní	12	65	4
		253.1 → 236.1	Pozitivní	8	65	4
Cetirizine	8,4	389.2 → 201.0	Pozitivní	20	110	3
		389.2 → 165.1	Pozitivní	48	110	3
Citalopram	5,5	325.2 → 109.1	Pozitivní	28	95	4
		325.2 → 234.1	Pozitivní	32	95	4
Clarithromycin	8,5	748.5 → 158.0	Pozitivní	32	100	4
		748.5 → 590.3	Pozitivní	20	100	4
Diclofenac	10,2	296.0 → 213.9	Pozitivní	40	85	4
		296.0 → 179.0	Pozitivní	60	85	4
Erythromycin	7,4	734.5 → 158.1	Pozitivní	32	105	4
		734.5 → 576.4	Pozitivní	20	105	4
Flukonazol	4,7	307.2 → 238.0	Pozitivní	16	95	4

		307.2 → 220.0	Pozitivní	20	95	4
Gabapentin	3,7	172.1 → 154.1	Pozitivní	14	95	3
		172.1 → 55.0	Pozitivní	28	95	3
Hydrochlorothiazide	3,1	296.0 → 268.9	Negativní	18	80	3
		296.0 → 205.0	Negativní	18	80	3
Ibuprofen	10,5	205.1 → 161.1	Negativní	4	65	4
		-				
lomeprol	2,9	777.9 → 405.0	Pozitivní	48	150	4
		777.9 → 686.8	Pozitivní	20	150	4
Ketoprofen	8,3	255.1 → 77.0	Pozitivní	48	110	3
		255.1 → 105.0	Pozitivní	28	110	3
Lamotrigine	4,6	256.0 → 43.2	Pozitivní	44	145	4
		256.0 → 211.0	Pozitivní	28	145	4
Metoprolol	4,5	268.2 → 74.1	Pozitivní	24	125	3
		268.2 → 56.0	Pozitivní	32	125	3
Mirtazapine	4,6	266.2 → 195.1	Pozitivní	32	95	4
		266.2 → 72.2	Pozitivní	20	95	4
Naproxen	8,7	231.1 → 185.1	Pozitivní	14	100	3
		231.1 → 170.1	Pozitivní	28	100	3
Omeprazole	6,7	346.1 → 198.1	Pozitivní	10	95	3
		346.1 → 136.1	Pozitivní	44	95	3
Paraxanthine	3,6	181.1 → 124.1	Pozitivní	20	90	4
		181.1 → 42.0	Pozitivní	48	90	4
Saccharine	3,1	182.0 → 42.0	Negativní	20	105	4
		182.0 → 106.0	Negativní	36	105	4
Sulfamethazine	4,0	279.0 → 186.0	Pozitivní	15	100	3
		279.0 → 124.0	Pozitivní	15	100	3
Sulfamethoxazole	4,3	254.1 → 65.0	Pozitivní	48	100	3

		254.1 → 156.0	Pozitivní	14	100	3
Sulfanilamide	1,6	173.0 → 92.0	Pozitivní	20	70	3
		173.0 → 156.0	Pozitivní	2	70	3
Sulfapyridine	3,5	250.1 → 92.0	Pozitivní	28	110	3
		250.1 → 156.0	Pozitivní	18	110	3
Telmisartan	9,5	515.2 → 276.1	Pozitivní	56	210	4
		515.2 → 497.2	Pozitivní	40	210	4
Tramadol	4,4	264.2 → 58.2	Pozitivní	20	95	4
		264.2 → 42.2	Pozitivní	84	95	4
Triclosan	11,4	289.0 → 35.0	Negativní	8	70	3
		289.0 → 37.0	Negativní	8	70	3
Trimethoprim	3,8	291.1 → 230.1	Pozitivní	24	140	3
		291.1 → 261.1	Pozitivní	28	140	3
Venlafaxine	5,2	278.2 → 58.2	Pozitivní	20	70	4
		278.2 → 260.2	Pozitivní	12	70	4
<b>Endokrinní disruptory</b>	<b>Retenční čas [min]</b>	<b>Kvantifikační/kvalifikační přechod</b>	<b>Polarita</b>	<b>Kolizní energie [V]</b>	<b>Fragmentor [V]</b>	<b>Napětí kolizní cely [V]</b>
17alfa-Estradiol	9,2	271.2 → 145.1	Negativní	44	160	3
		271.2 → 183.1	Negativní	48	160	3
17beta-Estradiol	8,9	271.2 → 145.1	Negativní	44	160	3
		271.2 → 183.1	Negativní	48	160	3
Bisphenol A (BPA)	8,0	227.1 → 212.1	Negativní	20	115	4
		227.1 → 133.0	Negativní	28	115	4
Bisphenol F (BPF)	6,6	199.1 → 105.0	Negativní	24	125	4
		199.1 → 93.0	Negativní	24	125	4
Daidzein	6,2	253.1 → 223.0	Negativní	40	145	4
		253.1 → 208.0	Negativní	36	145	4
Equilin	8,7	267.1 → 265.1	Negativní	24	145	4
		267.1 → 143.0	Negativní	36	145	4

Equol	6,7	241.1 → 119.0	Negativní	20	110	4
		241.1 → 121.0	Negativní	12	110	4
Estriol	6,0	287.2 → 145.0	Negativní	60	95	4
		287.2 → 255.1	Negativní	60	95	4
Estrone	7,1	269.2 → 159.0	Negativní	32	125	4
		269.2 → 143.1	Negativní	60	125	4
Ethinylestradiol	9,0	295.2 → 145.0	Negativní	48	200	3
		295.2 → 159.0	Negativní	36	200	3
Genistein	7,1	269.0 → 133.0	Negativní	32	140	4
		269.0 → 63.0	Negativní	28	140	4
Norethindrone	8,8	299.2 → 109.1	Pozitivní	32	130	4
		299.2 → 91.0	Pozitivní	56	130	4
Norgestrel	9,6	313.2 → 109.1	Pozitivní	32	130	3
		313.2 → 91.1	Pozitivní	48	130	3
Zearalenol	9,1	319.2 → 275.2	Negativní	20	160	3

**Příloha 5. Vstupní hodnoty koncentrací jednotlivých sledovaných mikropolutantů**

Vstupní hodnoty												
koncentrace [ng/g]	Kal	Pelety	AEF 1	AEF 2	AEF 3	AEF 4	AEF 5	AEF 6	AEF 7	AEF 8	AEF 9	AEF 10
17alpha-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
17beta-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Acetaminophen (Paracetamol)	85,718	N/A	85,718	85,718	64,997	64,997	43,815	43,815	25,256	25,256	N/A	N/A
Amitriptyline	5,185	N/A	5,185	5,185	3,932	3,932	2,650	2,650	1,528	1,528	N/A	N/A
Atenolol	5,106	N/A	5,106	5,106	3,872	3,872	2,610	2,610	1,504	1,504	N/A	N/A
Atorvastatin	12,371	N/A	12,371	12,371	9,381	9,381	6,323	6,323	3,645	3,645	N/A	N/A
Bisphenol A (BPA)	88,781	N/A	88,781	88,781	67,320	67,320	45,380	45,380	26,158	26,158	N/A	N/A
Bisphenol F (BPF)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Caffeine	141,812	10,229	141,812	141,812	110,004	110,004	77,487	77,487	50,431	50,431	10,229	10,229
Carbamazepine	38,508	N/A	38,508	38,508	29,200	29,200	19,683	19,683	11,346	11,346	N/A	N/A
Carbamazepine 10,11-epoxide	3,725	N/A	3,725	3,725	2,824	2,824	1,904	1,904	1,097	1,097	N/A	N/A
Cetirizine	78,946	N/A	78,946	78,946	59,862	59,862	40,353	40,353	23,260	23,260	N/A	N/A
Citalopram	440,281	N/A	440,281	440,281	333,850	333,850	225,048	225,048	129,724	129,724	N/A	N/A
Clarithromycin	89,017	N/A	89,017	89,017	67,499	67,499	45,501	45,501	26,228	26,228	N/A	N/A
Daidzein	14,732	N/A	14,732	14,732	11,171	11,171	7,530	7,530	4,341	4,341	N/A	N/A
Diclofenac	284,219	N/A	284,219	284,219	215,514	215,514	145,277	145,277	83,742	83,742	N/A	N/A
Equilin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Equol	8,848	N/A	8,848	8,848	6,709	6,709	4,523	4,523	2,607	2,607	N/A	N/A
Erythromycin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Estriol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Estrone	15,641	N/A	15,641	15,641	11,860	11,860	7,995	7,995	4,609	4,609	N/A	N/A
Ethinylestradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Fluconazole	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Gabapentin	15,448	N/A	15,448	15,448	11,714	11,714	7,896	7,896	4,552	4,552	N/A	N/A
Genistein	14,812	N/A	14,812	14,812	11,232	11,232	7,571	7,571	4,364	4,364	N/A	N/A
Hydrochlorothiazide	103,926	N/A	103,926	103,926	78,804	78,804	53,121	53,121	30,621	30,621	N/A	N/A
Ibuprofen	87,332	N/A	87,332	87,332	66,221	66,221	44,639	44,639	25,731	25,731	N/A	N/A
lomeprol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ketoprofen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Lamotrigine	104,844	N/A	104,844	104,844	79,500	79,500	53,590	53,590	30,891	30,891	N/A	N/A
Metoprolol	82,558	N/A	82,558	82,558	62,601	62,601	42,199	42,199	24,325	24,325	N/A	N/A
Mirtazapine	63,265	1,750	63,265	63,265	48,395	48,395	33,193	33,193	20,120	20,120	1,750	1,750
Naproxen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Norethindrone	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Norgestrel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Omeprazole	1,273	N/A	1,273	1,273	0,965	0,965	0,651	0,651	0,375	0,375	N/A	N/A
Paraxanthine	28,597	N/A	28,597	28,597	21,684	21,684	14,617	14,617	8,426	8,426	N/A	N/A
Saccharine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sulfamethazine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sulfamethoxazole	21,421	N/A	21,421	21,421	16,243	16,243	10,949	10,949	6,311	6,311	N/A	N/A
Sulfanilamide	15,823	N/A	15,823	15,823	11,998	11,998	8,088	8,088	4,662	4,662	N/A	N/A
Sulfapyridine	15,221	1,692	15,221	15,221	11,951	11,951	8,607	8,607	5,915	5,915	1,692	1,692
Telmisartan	10 161,604	3,743	10 161,604	10 161,604	7 706,112	7 706,112	5 195,886	5 195,886	2 997,168	2 997,168	3,743	3,743
Tramadol	36,553	N/A	36,553	36,553	27,717	27,717	18,684	18,684	10,770	10,770	N/A	N/A
Triclosan	543,237	N/A	543,237	543,237	411,918	411,918	277,673	277,673	160,059	160,059	N/A	N/A
Trimethoprim	45,062	N/A	45,062	45,062	34,169	34,169	23,033	23,033	13,277	13,277	N/A	N/A
Venlafaxine	33,966	1,671	33,966	33,966	26,159	26,159	18,178	18,178	11,420	11,420	1,671	1,671
Zearalenol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

## Příloha 6. Po měsíci hodnoty koncentrací jednotlivých sledovaných mikropolutantů

Po měsíci																																	
koncentrace [ng/g]	1A AEF1	1B AEF1	1C AEF1	2A AEF1	2B AEF1	2C AEF1	3A AEF1	3B AEF1	3C AEF1	4A AEF1	4B AEF1	4C AEF1	5A AEF1	5B AEF1	5C AEF1	6A AEF1	6B AEF1	6C AEF1	7A AEF1	7B AEF1	7C AEF1	8A AEF1	8B AEF1	8C AEF1	9A AEF1	9B AEF1	9C AEF1	10A AEF1	10B AEF1	10C AEF1			
17alpha-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A				
17beta-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Acetaminophen (Paracetamol)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Amitriptyline	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Atenolol	2	3	3	3	4	3	N/A	N/A	1	4	3	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Atorvastatin	1	2	5	7	5	6	5	4	5	10	12	12	N/A	1	1	N/A	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Bisphenol A (BPA)	164	142	103	102	156	202	65	83	92	146	69	103	54	85	45	66	106	57	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Bisphenol F (BPF)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Caffeine	39	44	24	25	43	48	34	32	29	35	34	33	29	28	29	28	31	35	20	18	16	23	22	25	4	5	4	3	4	2			
Carbamazepine	37	39	24	23	40	38	29	29	28	33	35	34	18	16	20	19	19	22	7	7	8	8	10	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Carbamazepine 10,11-epoxide	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Cetirizine	88	68	40	40	75	80	55	55	55	63	61	65	26	25	28	23	29	26	7	7	7	9	8	8	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Citalopram	209	339	157	164	235	334	225	212	209	260	256	280	128	120	127	116	148	132	50	39	41	55	51	54	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Clarithromycin	29	30	16	21	31	24	27	25	24	32	32	35	8	8	7	6	9	7	5	3	4	6	4	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Daidzein	14	17	20	20	20	12	26	21	21	26	24	27	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Diclofenac	78	164	65	65	94	177	102	105	97	121	128	109	41	36	42	30	36	32	4	3	4	10	6	9	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A			
Equilin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Equol	6	7	6	6	6	7	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Erythromycin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Estriol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Estrone	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Ethinylestradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Fluconazole	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Gabapentin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Genistein	2	3	4	4	2	3	5	4	4	5	6	4	3	2	2	3	5	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Hydrochlorothiazide	29	35	27	27	44	31	15	12	18	30	26	28	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Ibuprofen	193	216	109	109	232	159	79	89	75	151	133	112	98	158	106	83	62	83	57	59	59	66	70	57	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
lomeprol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Ketoprofen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Lamotrigine	200	104	60	60	75	111	51	45	50	63	68	67	23	21	22	19	22	20	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Metoprolol	103	57	28	28	68	68	33	31	31	46	42	45	11	9	11	9	11	11	4	4	4	4	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Mirtazapine	62	59	27	27	45	68	37	38	37	45	48	50	16	14	15	14	18	17	3	2	3	5	4	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Naproxen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Norethindrone	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Norgestrel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Omeprazole	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Paraxanthine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Saccharine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Sulfamethazine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Sulfamethoxazole	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Sulfanilamide	26	45	26	26	30	33	20	16	15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Sulfapyridine	12	16	7	7	12	14	8	6	6	8	9	9	3	2	2	2	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Telmisartan	9819	11540	4887	4887	10953	10367	7529	7973	7743	8771	8955	10551	5344	4808	5202	5003	5255	5392	2212	1657	1973	1996	1895	1873	3	4	4	4	12	3	3		
Tramadol	26	38	15	15	27	32	23	22	21	24	28	30	9	8	9	7	9	8	2	3	3	4	3	4	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Triclosan	517	463	258	258	476	398	346	340	342	394	357	401	191	160	185	214	244	218	86	57	55	87	65	77	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Trimethoprim	1	2	1	1	1	3	1	1	1	1	1	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Venlafaxine	24	31	16	16	28	30	21	21	20	24	25	25	11	11	12	10	12	11	4	3	4	5	5	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Zearalenol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

## Příloha 7. Výstupní hodnoty koncentrací jednotlivých sledovaných mikropolutantů

Po čtyřech měsících																															
koncentrace [ng/g]	1A AEF4	1B AEF4	1C AEF4	2A AEF4	2B AEF4	2C AEF4	3A AEF4	3B AEF4	3C AEF4	4A AEF4	4B AEF4	4C AEF4	5A AEF4	5B AEF4	5C AEF4	6A AEF4	6B AEF4	6C AEF4	7A AEF4	7B AEF4	7C AEF4	8A AEF4	8B AEF4	8C AEF4	9A AEF4	9B AEF4	9C AEF4	10A AEF4	10B AEF4	10C AEF4	
17alpha-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
17beta-Estradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Acetaminophen (Paracetamol)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Amitriptyline	5	6	5	5	6	5	4	4	4	5	4	4	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Atenolol	4	3	4	4	3	3	2	2	3	3	3	5	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Atorvastatin	32	35	32	43	35	29	22	18	18	25	17	22	9	8	9	3	3	5		1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Bisphenol A (BPA)	590	364	659	316	493	383	394	204	303	448	512	440	271	238	203	238	58	108	96	48	72	40	115	45	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A		
Bisphenol F (BPF)	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Caffeine	46	58	55	55	58	84	43	37	40	47	37	41	19	17	20	20	29	28	22	23	21	31	27	26	8	10	15	25	10	12	
Carbamazepine	40	56	56	50	53	51	44	41	43	49	43	47	29	29	29	31	34	33	14	13	14	16	15	14	2	1	1	3	2	2	
Carbamazepine 10,11-epoxide	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Cetirizine	131	63	74	57	79	72	60	60	64	59	63	84	37	33	34	30	34	32	12	11	12	15	14	13							
Citalopram	341	359	350	342	397	334	269	271	259	311	302	365	113	94	111	84	117	123	46	44	47	58	56	53	3	2	2	4	4	4	
Clarithromycin	12	22	11	10	11	11	19	12	12	27	16	15	6	6	7	10	9	9	4	4	4	3	3	3	1	1	1	N/A	N/A	N/A	
Daidzein	18	24	20	22	23	25	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Diclofenac	247	260	277	241	245	232	122	125	120	171	151	162	39	44	41	31	36	39	10	9	10	10	12	10	3	2	2	4	3	3	
Equilin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Equol	13	14	13	14	13	10	12	11	10	12	11	11	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Erythromycin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Estrilol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Estrone	N/A	3	2	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Ethinylestradiol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Fluconazole	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	2	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Gabapentin	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Genistein	2	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Hydrochlorothiazide	21	24	16	18	15	20	11	6	8	9	14	18	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Ibuprofen	291	279	275	250	359	267	118	109	82	163	148	143	176	114	90	157	133	111	43	45	48	35	27	31	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Iomeprol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Ketoprofen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Lamotrigine	148	152	149	75	141	114	48	71	69	48	78	103	27	26	28	20	22	29	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Metoprolol	47	80	42	32	63	55	30	34	45	33	39	59	13	11	12	12	15	16	6	5	6	7	6	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Mirtazapine	20	61	55	48	49	43	44	43	42	48	50	51	16	17	18	16	19	19	5	4	5	7	6	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Naproxen	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Norethindrone	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Norgestrel	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Omeprazole	1	1	1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Paraxanthine	10	16	17	16	22	14	10	18	15	14	16	19	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2	N/A	5	8	N/A	8
Saccharine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sulfamethazine	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sulfamethoxazole	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Sulfanilamide	67	114	97	66	113	101	34	31	37	34	38	40	21	20	25	21	26	26	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	10	7
Sulfapyridine	32	33	34	32	38	29	14	13	12	17	16	17	5	5	5	6	6	6	3	2	2	3	3	3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	
Telmisartan	14211	15575	20852	13083	13048	13341	11064	10879	10537	12272	11823	12017	10486	8494	10525	8206	8465	8508	2596	2458	2655	2827	2862	2725	54	22	22	69	79	96	
Tramadol	47	40	52	57	43	37	33	25	27	37	30	28	10	9	10	10	10	10	4	4	4	5	5	4	1			2	2	2	
Triclosan	793	724	856	695	764	786	660	604	544	591	580	613	408	421	404	386	420	410	180	120	143	202	149	179	2		2	3	4	4	
Trimethoprim	7	1	2	1	3	2	1	2	2	2	2	2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
Venlafaxine	24	36	35	32	34	28	24	22	22	29	24	27	11	11	12	12	13	12	5	5	5	6	6	6	1	1	1	2	2	2	
Zearalenol	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A



**Příloha 8. Vstupní hodnoty koncentrace čistírenského kalu a slaměných pelet**

Vstupní koncentrace čistírenského kalu a slaměných pelet								
koncentrace [ng/g]	17alpha-Estradiol	17beta-Estradiol	Acetaminophen (Paracetamol)	Amitriptyline	Atenolol	Atorvastatin	Bisphenol A (BPA)	Bisphenol F (BPF)
pelety 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
kal 1	N/A	N/A	107	6	5	11	121	N/A
kal 2	N/A	N/A	79	5	5	12	58	N/A
kal 3	N/A	N/A	72	5	5	14	88	N/A
koncentrace [ng/g]	Caffeine	Carbamazepine	Carbamazepine 10,11-epoxide	Cetirizine	Citalopram	Clarithromycin	Daidzein	Diclofenac
pelety 1	6	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 2	10	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 3	15	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
kal 1	128	37	4	80	444	90	16	300
kal 2	130	38	4	79	435	87	15	266
kal 3	167	40	4	78	442	90	13	287
koncentrace [ng/g]	Equilin	Equol	Erythromycin	Estriol	Estrone	Ethinylestradiol	Fluconazole	Gabapentin
pelety 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
kal 1	N/A	8	N/A	N/A	14	N/A	N/A	15
kal 2	N/A	11	N/A	N/A	17	N/A	N/A	17
kal 3	N/A	8	N/A	N/A	16	N/A	N/A	14
koncentrace [ng/g]	Genistein	Hydrochlorothiazide	Ibuprofen	Iomeprol	Ketoprofen	Lamotrigine	Metoprolol	Mirtazapine
pelety 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2
pelety 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2
pelety 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2
kal 1	15	153	86	N/A	N/A	166	130	67
kal 2	15	84	100	N/A	N/A	70	55	58
kal 3	15	75	76	N/A	N/A	78	63	65
koncentrace [ng/g]	Naproxen	Norethindrone	Norgestrel	Omeprazole	Paraxanthine	Saccharine	Sulfamethazine	Sulfamethoxazole
pelety 1	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 2	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
pelety 3	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
kal 1	N/A	N/A	N/A	2	20	N/A	N/A	22
kal 2	N/A	N/A	N/A	1	31	N/A	N/A	20
kal 3	N/A	N/A	N/A	1	35	N/A	N/A	22
koncentrace [ng/g]	Sulfanilamide	Sulfapyridine	Telmisartan	Tramadol	Triclosan	Trimethoprim	Venlafaxine	Zearalenol
pelety 1	N/A	2	4	N/A	N/A	N/A	2	N/A
pelety 2	N/A	2	3	N/A	N/A	N/A	2	N/A
pelety 3	N/A	2	4	N/A	N/A	N/A	2	N/A
kal 1	14	17	10357	33	600	53	28	N/A
kal 2	16	14	10417	39	553	35	41	N/A
kal 3	17	15	9711	38	477	47	33	N/A

## Příloha 9. Statistické vyhodnocení vstupních dat

Statistické vyhodnocení			
Mikropolutant	Vstupní hodnoty		
	Průměr	Sm.Odch.	Rozptyl
17alpha-Estradiol	0,000	0	0,000
17beta-Estradiol	0,000	0	0,000
Acetaminophen (Paracetamol)	43,774	1147	33,862
Amitriptyline	2,648	4	2,048
Atenolol	2,607	4	2,017
Atorvastatin	6,318	24	4,887
Bisphenol A (BPA)	45,338	1230	35,072
Bisphenol F (BPF)	0,000	0	0,000
Kofein	77,664	2687	51,841
Carbamazepine	19,665	231	15,212
Carbamazepine 10,11-epoxide	1,902	2	1,471
Cetirizine	40,316	973	31,187
Citalopram	224,841	30251	173,929
Clarithromycin	45,459	1237	35,165
Daidzein	7,523	34	5,820
Diclofenac	145,144	12606	112,278
Equilin	0,000	0	0,000
Equol	4,518	12	3,495
Erythromycin	0,000	0	0,000
Estriol	0,000	0	0,000
Estrone	7,988	38	6,179
Ethinylestradiol	0,000	0	0,000
Fluconazole	0,000	0	0,000
Gabapentin	7,889	37	6,103
Genistein	7,564	34	5,851
Hydrochlorothiazide	53,072	1686	41,055
Ibuprofen	44,598	1190	34,500
Iomeprol	0,000	0	0,000
Ketoprofen	0,000	0	0,000
Lamotrigine	53,541	1715	41,418
Metoprolol	42,160	1064	32,614
Mirtazapine	33,205	589	24,277
Naproxen	0,000	0	0,000
Norethindrone	0,000	0	0,000
Norgestrel	0,000	0	0,000
Omeprazole	0,650	0	0,503
Paraxanthine	14,604	128	11,297
Saccharine	0,000	0	0,000
Sulfamethazine	0,000	0	0,000
Sulfamethoxazole	10,939	72	8,462
Sulfanilamide	8,080	39	6,251
Sulfapyridine	8,640	28	5,322
Telmisartan	5191,198	16101913	4012,719
Tramadol	18,667	209	14,440
Triclosan	277,417	46053	214,601
Trimethoprim	23,012	317	17,801
Venlafaxine	18,202	162	12,735
Zearalenol	0,000	0	0,000

**Příloha 10.** Statistické vyhodnocení dat po čtyřech měsících kompostování

Statistické vyhodnocení			
Mikropolutant	Po čtyřech měsících		
	Průměr	Sm.Odch.	Rozptyl
17alpha-Estradiol	0,000	0,000	0,000
17beta-Estradiol	0,000	0,000	0,000
Acetaminophen (Paracetamol)	0,000	0,000	0,000
Amitriptyline	2,680	4,000	2
Atenolol	1,273	3,000	2
Atorvastatin	12,321	199,000	14
Bisphenol A (BPA)	221,202	38804,000	197
Bisphenol F (BPF)	0,000	0,000	0,000
Caffeine	32,179	311,000	18
Carbamazepine	28,521	372,000	19
Carbamazepine 10,11-epoxide	0,000	0,000	0,000
Cetirizine	38,297	1019,000	32
Citalopram	162,113	21433,000	146
Clarithromycin	8,390	42,000	6
Daidzein	4,421	87,000	9
Diclofenac	88,689	10111,000	101
Equilin	0,000	0,000	0,000
Equol	4,793	39,000	6
Erythromycin	0,000	0,000	0,000
Estriol	0,000	0,000	0,000
Estrone	0,557	1,000	1
Ethinylestradiol	0,000	0,000	0,000
Fluconazole	0,813	1,000	1
Gabapentin	0,000	0,000	0,000
Genistein	1,148	2,000	1
Hydrochlorothiazide	5,985	68,000	8
Ibuprofen	116,489	11027,000	105
Iomeprol	0,000	0,000	0,000
Ketoprofen	1,593	9,000	3
Lamotrigine	44,904	2814,000	53
Metoprolol	22,510	478,000	22
Mirtazapine	23,121	435,000	21
Naproxen	0,000	0,000	0,000
Norethindrone	0,000	0,000	0,000
Norgestrel	0,000	0,000	0,000
Omeprazole	0,089	0,000	0
Paraxanthine	7,425	57,000	8
Saccharine	0,000	0,000	0,000
Sulfamethazine	0,000	0,000	0,000
Sulfamethoxazole	0,000	0,000	0,000
Sulfanilamide	31,233	1245,000	35
Sulfapyridine	11,243	162,000	13
Telmisartan	7661,825	34973667,000	5914
Tramadol	18,442	322,000	18
Triclosan	388,342	86778,000	295
Trimethoprim	0,853	1,000	1
Venlafaxine	15,019	143,000	12
Zearalenol	0,000	0,000	0,000