

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA
V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE

Současná praxe s provozem kompostovacích toalet
v Praze a okolí a mikrobiologická analýza vzniklého kompostu

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Bakalant: Ivo Pardus

2020

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ivo Pardus

Environmentální vědy
Aplikovaná ekologie

Název práce

Současná praxe s provozem kompostovacích toalet v Praze a okolí a mikrobiologická analýza vzniklého kompostu

Název anglicky

Current practice with operation of composting toilets in Prague and its surroundings and microbiological analysis of the compost

Cíle práce

Práce má za cíl vyhodnotit hygienickou nezávadnost kompostu z kompostovací toalety. Dalším cílem práce je podrobně popsat dosavadní praxi nakládání s kompostovacími toaletami v Praze a okolí. Pokusit se, na základě praxe, zhodnotit každý ze sledovaných typů kompostovacích toalet. Na základě sledovaných kompostovacích toalet posoudit tento decentralizovaný způsob nakládání s lidskými exkrementy.

Metodika

V teoretické části práce bude popsán současný problém nakládání s odpadními vodami. Bude popsán princip kompostovací toalety a nutné podmínky pro hygienizaci lidských exkrementů. Budou uvedeny možnosti využití vzniklého substrátu. V praktické části práce budou popsána a vyhodnocena data analytického rozboru hotových kompostů (mikrobiologické a biologické parametry, fyzikální vlastnosti a anorganické parametry). Pokud to bude možné, budou zanalyzovány i jednotlivé etapy v rámci kompostování s přihlédnutím ke konkrétní praxi. Budou diskutovány jednotlivé postupy a jejich vliv na dosahované výsledky.

Doporučený rozsah práce

35 stran

Klíčová slova

Kompostovací toaleta, kompost, hygienizace lidských exkrementů, suchý záchod, uzavřený cyklus živin, decentralizované nakládání s lidskými exkrementy, exkrement, toaleta.

Doporučené zdroje informací

- Anand C., Apul D.S. (2010): Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets, *Journal of Environmental Management* 92, 419-428
- Anand C., Apul D.S. (2014): Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation – A review, *Waste Management* 34, 329-343
- Rozkošný M., Hudcová H., Plotěný M., Novotný R. a Matysíková J. (2015): Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, roč. 57, č. 6, str. 44–49. ISSN 0322-8916
- Schouw N.L., Danteravanich S., Mosbaek H., Tjell J.C. (2002): Composition of human excreta – a case study from Southern Thailand, *The Science of the Total Environment* 286,155-166
- United States Environmental Protection Agency, Office of Water (1999): Water Efficiency, Technology Fact Sheet, Composting Toilets, Nепublikováno

Předběžný termín obhajoby

2019/20 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Tereza Hnátková, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 6. 2. 2020

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 11. 2. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2020

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, pod vedením Ing. Terezy Hnátkové. Ph.D. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal. Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

Děkuji moc Ing. Tereze Hnátkové Ph.D. za možnost analyzovat vzorky a utříbit si získané informace s realitou v praxi a za čas strávený na konzultacích.

Paní MUDr. Magdaleně Zimové CSc. děkuji za její čas, který mi věnovala. Vážím si také její ochoty nad tématem diskutovat a jejího komplexního pohledu na problémy ze všech úhlů.

Děkuji také všem rodinám i subjektům za důvěru a upřímnost a také za to, že mi dovolili nahlédnout do svých mikrobiálních království uvnitř domů i kompostů na zahradě.

V Měchenicích, dne 30.6.2020

podpis:.....

Abstrakt

Kompostovací záchody přetváří exkrementy do kompostovací zeminy, kterou můžeme obohatit půdu a zlepšit její kondici. Na venkově může kompostování probíhat v místě vzniku exkrementů. V místech, kde je nežádoucí obohacení půdy nutrienty či kvůli bezpečnosti, lze přepravovat do kompostáren. Výhodou přepravy je malý objem a nízká frekvence vyprazdňování oproti konvenční jímce. Tento systém nakládání s výkaly cirkulárně zachází se živinami a neplýtvá zdroji (voda, náklady na vybudování kanalizace). V práci byla řešena hygienická nezávadnost vzniklého kompostu i tekutin a jak toho docílit.

Výhodné je separovat moč i pevné výkaly u zdroje, protože moč je hygienizována po 6 měsících skladování a je nejbohatší na nutrienty. Výkaly je nutné kompostovat, nejméně 3 – 5 let. Nejdůležitější je při vytváření sekundárního kompostu uvážení vytvořit zakládku kompostu s obsahem maximálně 30 % exkrementů na zakládku a obohatit dusíkem, pokud separujeme. Komposty v pilotních rozborech oscilovaly kolem limitních hodnot pro upravený kal při aplikaci, lze tedy očekávat, že nedochází ke gradaci bakterií v průběhu kompostování. Hlavním úkolem je substrát stabilizovat a dostatečně dlouho zdržet, aby patogenní organismy vymizely na únosnou míru a nemohly se dále množit. Kontrolovat teplotu a vlhkost během kompostování a často kompost přehazovat, aby měl dostatek kyslíku. Výslednou kompostovací zeminu využít na neprodukčních plochách a mimo dosah spodní i povrchové vody.

Klíčová slova: kompostovací toaleta, kompost, hygienizace lidských exkrementů, suchý záchod, uzavřený cyklus živin, decentralizované nakládání s lidskými exkrementy, exkrement, toaleta.

Abstract

A composting toilet transforms human waste into compost soil. The compost enriches the soil's nutrients and improves its quality. In the countryside human waste can be composted in situ. In locations where soil enriching is undesirable or where composting of human waste may pose a health risk, excrements can be taken to a composting plant. Compared to a conventional toilet a composting toilet has an advantage as it produces just a small volume of the substrate. It is a circular system of handling human waste that preserves nutrients and helps to save resources (water, costs of a sewage system). This work discusses sanitary aspects relating to the compost and liquids obtained this way and finding of the proper way of composting the human excrements.

Urine and solid excrements are best separated directly at the source; urine is the richest in nutrients. The urine should be stored for six months for sanitation reasons. The solid human excrements should be composted for 3 – 5 years. The most important thing is to put the right materials into the compost pile. The compost pile should contain about 30% of human excrements. If the urine is separated, materials rich in nitrogen should be added onto the pile. A microbial compost analysis shows that the results of microbial activity oscillate close to the limit values for application of processed excrements in the fields in Czechia. There seem to be no bacterial gradation during composting. It is important to stabilize the compost and hold the substrate in the compost pile long enough for pathogenic organisms to be reduced to low levels where they can no longer reproduce. The compost temperature should be under continual control. The compost should have enough water and air. Frequent mixing of the compost is necessary to aerate the pile. The final compost should be used on land that is not used for production and out of reach of water resources.

Key words: composting toilets, compost, hygienic handling of human excreta dry toilets, close cycle of nutrients, decentralized human waste treatment, human excreta, toilets.

Obsah

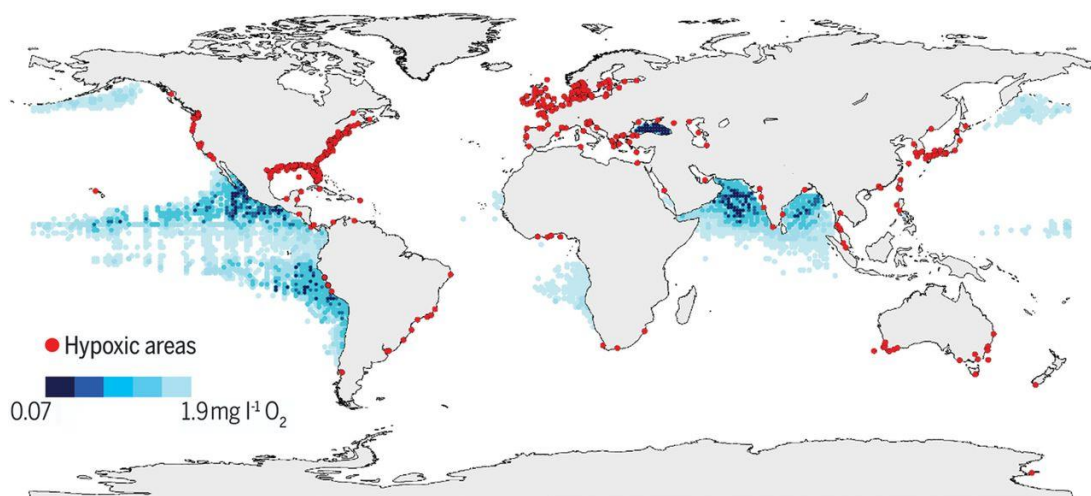
| | | |
|----------|---|----|
| 1 | Úvod..... | 9 |
| 2 | Cíl práce..... | 11 |
| 3 | Literární řešerše | 12 |
| 3.1 | Kompostovací záchody | 12 |
| 3.1.1 | Kompostování..... | 12 |
| 3.1.2 | Systemy kompostovacích záchodů..... | 13 |
| 3.1.2.1 | Separální toaleta..... | 15 |
| 3.1.2.2 | Ekona | 16 |
| 3.1.2.3 | Biolan..... | 17 |
| 3.1.2.4 | Separett | 19 |
| 3.1.2.5 | Zmražení..... | 19 |
| 3.1.2.6 | Mixování exkrementů..... | 19 |
| 3.1.2.7 | Uritonnoir | 20 |
| 3.1.2.8 | MullToa Bioflush | 22 |
| 3.1.2.9 | Aquatron | 22 |
| 3.1.2.10 | ECS Toilet Tech Solution..... | 23 |
| 3.2 | Legislativa a kompost..... | 24 |
| 3.2.1 | Vyhláška č. 341/2008 Sb..... | 24 |
| 3.2.2 | Využití čistírenského kalu na zemědělské půdě | 25 |
| 3.2.3 | Požadavky na ověření účinnosti hygienizace kalů | 27 |
| 3.3 | Hygienizace | 27 |
| 3.3.1 | Rizika..... | 27 |
| 3.4 | Moč a exkrementy jako cenná surovina | 29 |
| 3.4.1 | Exkrementy..... | 29 |
| 3.4.2 | Moč..... | 30 |
| 3.5 | Hnojení statkovými hnojivy | 30 |
| 3.6 | Analýza vzorků..... | 31 |
| 3.6.1 | Koliformní bakterie | 31 |
| 3.6.2 | Intestinální enterokoky | 31 |
| 3.6.3 | Salmonela | 32 |
| 3.6.4 | Heterotrofní bakterie..... | 32 |

| | | |
|-------|--|----|
| 3.6.5 | Vlhkost..... | 32 |
| 3.6.6 | Organické a anorganické parametry | 32 |
| 4 | Výsledné zhodnocení | 33 |
| 4.1 | Praktická část této práce | 34 |
| 4.1.1 | Charakteristika vzorků..... | 34 |
| 4.1.2 | Výsledky praktické části..... | 36 |
| 4.1.3 | Porovnání jednotlivých typů záchodů | 41 |
| 5 | Diskuze | 43 |
| 5.1 | Mikropolutanty a organika v půdě | 43 |
| 5.2 | Sociální aspekt..... | 43 |
| 5.3 | Uritonnoir | 43 |
| 5.4 | Kompostovací toaleta a legislativa..... | 44 |
| 5.5 | Analýza vzorků..... | 48 |
| 6 | Závěr a přínos práce..... | 50 |
| 7 | Seznam literatury a použitých zdrojů | 51 |
| 8 | Seznam obrázků..... | 58 |
| 9 | Přílohy..... | 60 |
| 9.1 | Příloha 1: Odborné posouzení zpracování odpadu z kompostovacích toalet..... | 60 |
| 9.2 | Příloha 2: Příklady patogenů, které se mohou nacházet v lidských výkalech..... | 62 |

1 Úvod

Současné konvenční nakládání s lidskými exkrementy vede ke kontaminaci pitné vody exkrementy při splachování. Na splachování využije průměrný pražský občan 9 m³ pitné vody za rok (Pražské vodovody a kanalizace, a.s. 2018). Při počtu obyvatel naší země 10 668 641 k 30. červnu 2019 (Český statistický úřad, 2019a) se spotřebuje odhadem 96 mil. m³ pitné vody, což odpovídá 90% celkové roční spotřeby vody v Praze (Český statistický úřad, 2019c). Tímto objemem se zvětší i objem nebezpečného objemu odpadu každý rok. Pozitivní je, že se snižuje množství vody při splachování, v USA se na jedno spláchnutí spotřebovalo o 29 % méně vody v roce 2016 než v roce 1999 a další snižování lze očekávat (DeOreo, 2016). Avšak způsob nakládání s odpadními vodami ve vyspělých zemích je značně neefektivní, drahý a energeticky náročný (Anand, 2010). Čištění odpadní vody v místě vzniku je často levnější a jednodušší řešení mohou být i účinnější než centrální městské ČOV – čistírny odpadních vod (Johansson & Lennartsson, 1999). Odpadní vody v centrálních ČOV se míchají s velkým množstvím látek a jsou zatížené mikropolutanty a nemohou se poté aplikovat na zemědělskou půdu a pálí se (Jarolímová, 2019 a Zimová, in verb.). Zároveň organické sloučeniny chybí v půdě a úrodnost polí je značně závislá na obsahu trvalého humusu (Váňa & Ust'ak, 2007), humusu je nedostatek také kvůli klesajícímu počtu hospodářských zvířat (Český statistický úřad, 2019b). Výsledkem je degradovaná půda, které chybí organická hmota důsledkem nedostatečného organického hnojení (Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2018). Organická hmota slouží v půdě jako absorbent živin, zvyšuje retenční kapacitu krajiny a odolnost půdy proti vodní i větrné erozi (Ministerstvo zemědělství, 2019).

V pobřežních ekosystémech moří vznikají takzvané mrtvé zóny vlivem nadbytečného přísunu živin z povodí velkých řek (Johansson & Lennartsson, 1999). Organické zbytky pochází hlavně ze zemědělských hnojiv (N a P) a kanalizace (Breitburg, a další 2018). Tyto organické zbytky mají za následek i populační gradace sinic v nádržích (Johansson & Lennartsson, 1999).



Obrázek č. 1: Pobřežní vody, kde je velmi nízký obsah kyslíku znázorněný červenými tečkami, je zde vidět korelaci k obydleným a zároveň vyspělých státům (Breitburg, a další 2018)

U výpustí z čistíren odpadních vod se vyskytuje řada lidmi vytvořených látek, například syntetický ženský hormon estrogen, používaný jako antikoncepce, způsobuje produkci ženského proteinu u samců ryb, páření samců ryb, a i kolabování rybích populací (Kidd, a další 2007). Kokain a lidokain (příměs drogy pro zmírnění účinků kokainu) byly látky, které byly nalezeny ve všech vzorcích blešivce *Gammarus pulex* odebraných z 15 míst vodní sítě z anglického Suffolk (Miller, a další 2019). Parazitický prvok způsobující toxoplazmózu se nachází v řekách i mořích, do vody se dostane, pokud majitel kočky spláchne kočičí exkrement do kanalizace nebo kočka vykoná potřebu u vody, tímto se poté mohou nakazit mořští savci. Existují důkazy, že delfini na toto onemocnění hynou, protože nebyli evolučně na toto onemocnění zvyklí. (Vládní agentura ochrany přírody na Novém Zélandu, 2019).

Současné nakládání s lidskými exkrementy, potažmo s odpadní vodou je přijímané skoro jako jediné správné, avšak velmi ovlivňuje ekosystémy a je finančně náročnější než alternativy, jako je například kompostování (Anand, 2010). Splašková kanalizace má význam hlavně pro oblasti s velkou hustotou osídlení, kde nezbývá prostor pro zařízení, které nakládají s exkrementy v místě vzniku. (World Health Organization, 1987). Mrháním vody a organického materiálu plyne z přesvědčení, že lidský hnůj a zbytky potravin je odpad, nikoliv recyklovatelné přírodní suroviny (Jenkins, 1999).

2 Cíl práce

Práce má za cíl zjistit, jak používat suchý záchod, nazývaný též kompostovací, aby byla dodržena hygienická nezávadnost výsledného kompostu a dalších produktů jako je moč.

Dalším cílem práce je popsat dosavadní praxi nakládání s kompostovacími toaletami v Praze a okolí. Pokusit se, na základě praxe, zhodnotit každý ze sledovaných typů kompostovacích toalet. Na základě sledovaných kompostovacích toalet, literární rešerše celkově posoudit tento decentralizovaný způsob nakládání s lidskými exkrementy.

3 Literární rešerše

3.1 Kompostovací záchody

Kompostovací záchody přeměňují exkrementy na kompost, který může být následně přeměněn na hnojivo (World Health Organization, 1996). Využívají k tomu organismy, které přeměnu provádějí za pomoci vzduchu (Rogers, 2019). K exkrementům se přidává na uhlík bohatý materiál (piliny, sláma), který slouží jako živiny pro mikroorganismy (dále „MO“) a vytvoří póry pro přívod vzduchu (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999).

Jedná se o decentralizovaný systém nakládání s exkrementy, který nespotřebovává vodu (voda slouží jako dopravní prostředek, v Praze spotřebuje jeden obyvatel 9 m³ vody za rok (Pražské vodovody a kanalizace, a.s., 2018)) a transformuje výkaly do kompostu, kterým lze obohatit půdu. Není nutná následné vysušování kalů či oddělování pevných částí od tekutých (Anand & Apul, 2014). V dnešní době, kvůli znečištění čistírenského kalu mikropolutanty, je nutná často jeho následná likvidace spálením, či energetické využití (Zimová, in verb.).

Primárním cílem kompostovacích toalet je zadržení, imobilizace nebo zničení patogenů a snížení rizika infekce člověka na přijatelnou úroveň. Toho by mělo být dosaženo zamezením kontaktu člověka setkat se s čerstvými exkrementy (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999). Nesprávný design toalety a údržba může vést k zápachu, nesnadnému čištění a k možnému přenosu infekce, stejně jako použití nedostatečně ošetřeného kompostu (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999).

3.1.1 Kompostování

Kompostování je přirozený proces aerobních mikroorganismů usměrněný člověkem transformující organickou hmotu na humusové látky (Rejšek & Vácha, 2018). Hlavní faktory u kompostování jsou přívod vzduchu a teplota (Hassen, et al., 2002). Pokud není kompost dobře obstaráván, může dojít i k pomnožení patogenních bakterií (Beffa, et al., 1995). Kompostováním se přeměňují organické látky stejným způsobem jako v půdě, ale činnost je usměrňována, zrychlena a počty mikroorganismů jsou výrazně vyšší (Váňa & Ust'ak, 2007).

Vhodné je kompost naočkovat ornici či kompostem (Váňa & Ust'ak, 2007). Výrobce kompostovacích toalet z USA uvádí i naočkování koňským exkrementem z okolí (Hill, 2020). Přimíchat 10 % i více zeminy do zakládky a před kompostováním substrát homogenizovat, v první termofilní části kompost překopávat a sledovat teplotu (Urban & Šarapatka, 2003). V kompostárnách v Rakousku tvoří kal jen 30 % celkové zakládky kompostu (Jarolímová, 2019). Obrázek 2 vypisuje hodnoty hlavních parametrů, které jsou potřebné pro správný průběh kompostování. Vhodné množství i zásypového materiálu je zapotřebí, zvyšuje poréznost substrátu, snižuje riziko přenosu chorob a chrání exkrementy před mouchami (World Health Organization, 2006).

| Znaky jakosti | Jednotky | Hodnota znaku jakosti |
|--|----------|---|
| Vlhkost | % hm. | Od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, min. 40 až 65 |
| Spalitelné látky v sušině vzorku | % hm. | min. 25 |
| Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek | % hm. | min. 0,6 |
| Poměr C:N* | | min. 20 (max. 30) |
| pH | - | 6,0 – 8,5 |
| Nerozložitelné příměsi | % hm. | max. 2,0 |

* poměr C:N se vypočítává z obsahu spalitelných látek následovně (spalitelné látky:2):N

Obrázek 2: Hlavní známky jakosti kompostu (Váňa & Ust'ak, 2007)

Biologické cykly závislé na teplotě jsou: termofilní fáze, kdy teplota dosahuje hodnot větších než 55 °C pro maximální sanitaci, mezofilní fáze probíhá při teplotě 45 – 55 °C pro maximální rychlost biodegradace a poslední fáze probíhá při teplotě 35 – 40 °C pro maximální mikrobiální diverzitu (Stentiford, 1996 in Hassen, et al., 2002).

Při termofilní fázi dochází k rozkladu polysacharidů, bílkovin a tuků, rozklad lignocelulózní hmoty provádí termofilní houby a vznikají organické kyseliny (Váňa, 2002). Tato fáze trvá 2 – 3 týdny, při velkém podílu dřevní štěpky může trvat až dva měsíce (Váňa, 2002). Pro udržení termofilní fáze je nutné dodržet přibližný poměr C:N a to 30:1 (Kayhanian & Tchabanoglous, 1992 in Hill, et al., 2013). V mezofilní části se mění složení mikroorganismů, vzniká humus a poté zrající kompost přestává být fytotoxický a měl by mít poměr C:N 25-30:1 (Váňa, 2002).

Během procesu je nutné pravidelné míchání a zavlažování, abychom se vyhnuli ochlazení kompostu před vyvráním (Haug, 1993 in Hill, et al., 2013). Překopávky jsou prováděny pro dostatečný přísun kyslíku, protože rozkladné mikroorganismy jsou vysoce náročné na kyslík (Váňa & Ust'ak, 2007). Dostatečný přísun vzduchu je možné docílit porézní vrstvou v podloží například ze slámy či kůry (Váňa & Ust'ak, 2007). Při kompostování vlivem rozdílných teplot uprostřed kompostovací nádoby a po okrajích může být až 5 % kompostu nesprávně zkompostováno (Vinnerås, 2007). Vysoký obsah amoniaku může výrazně zpomalit hygienizaci (Hill, et al., 2013).

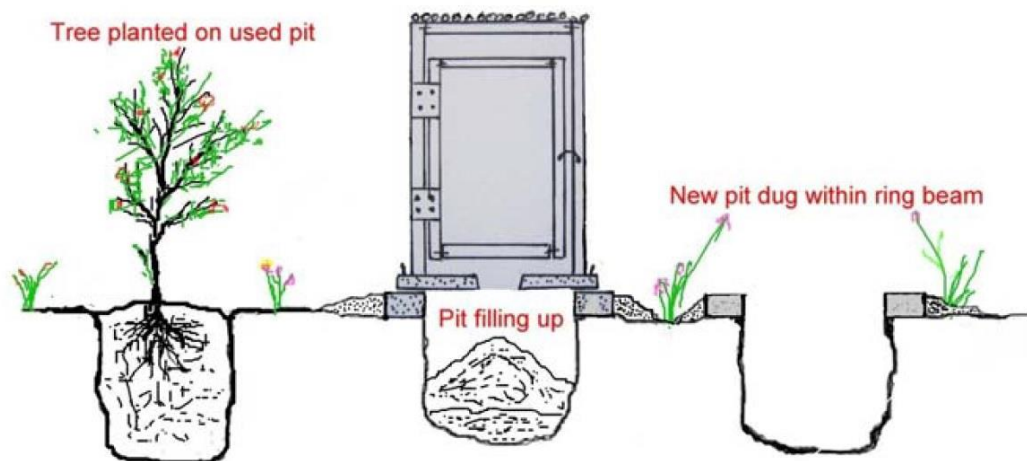
Byla vysledovaná korelace mezi vlhkostí kompostu a jeho bakteriální nezávadností (Redlinger, et al., 2001). Optimální vlhkost je při 70 % zaplnění pórovitosti kompostu vodou, při nedostatku dochází k rozvoji plísní (Váňa, 2002).

3.1.2 Systémy kompostovacích záchodů

Na trhu jsou v současné době dostupné různé systémy kompostovacích toalet. Vybral jsem hlavně ty, které jsem měl možnost navštívit při vytváření praktické části této práce, či měly výborně zpracovaný návod k obsluze společně s hodnocením od

nezávislých institucí (např. Aquatron). Většina toalet označovaných za kompostovací jsou spíše sběrné nádoby (Zimová, 2020), které exkrementy připravují více či méně ke kompostování (vysušují, míchají, zmrazují a zdržují) a výrobce uvádí nutnost vzniklý materiál dokompostovat. Záchod i prostor nutný pro dokompostování je nutný zajistit proti mouchám, protože zde existuje potenciál přenosu patogenů na člověka (Wald, 2016).

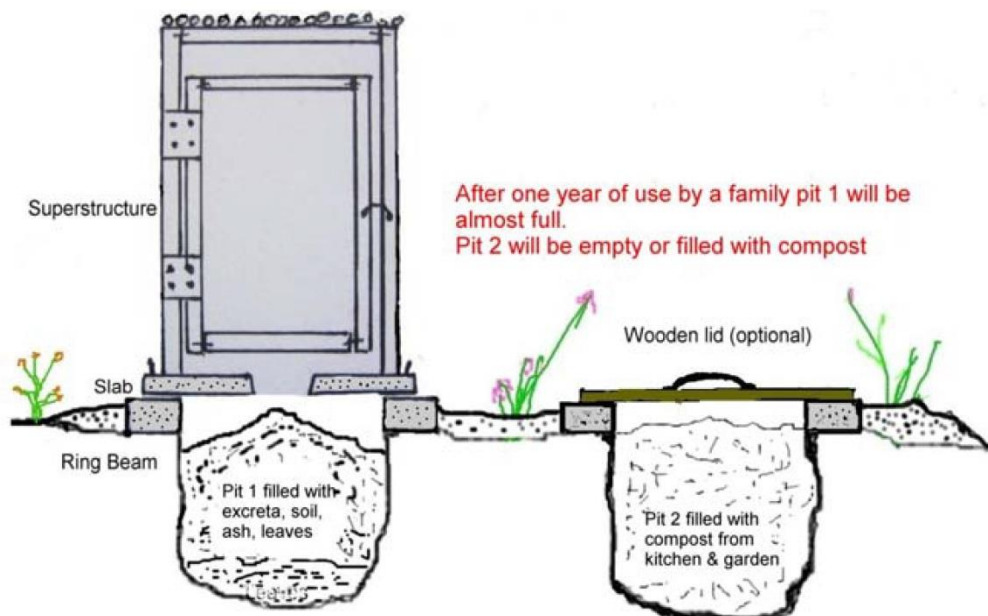
Nejjednodušší kompostovací záchod (Obrázek 3) je vyhloubená jáma, nad kterou se postaví přístřešek, při zaplnění jámy se přístřešek posune nad novou jámu a plná jáma se zakryje vrstvou hlíny (Morgan, 2007). Důležité je, aby se jáma nacházela mimo dosah spodní i záplavové vody a byla minimálně 6 m od obydlí a 30 m od zdroje pitné vody či vodního toku (World Health Organization, 1996). Bohužel, například v národních parcích v USA, se stává, že spodní voda v zimě vystoupá blízko ke sběrnému prostoru a nastává kontaminace, kdy může virus kontaminovat půdu až 3 km od



Obrázek 3: Nejjednodušší kompostovací záchod (Morgan, 2007)

místa záchodu. (Hill, 2014). Ideální je počítat s množstvím $0,06 \text{ m}^3$ za rok pro jednu osobu. Je vhodné, pro lepší kompostování, přidávat do jámy i organický odpad z kuchyně (World Health Organization, 1996).

Další systém se sestává ze dvou vyhloubených jam (jedna používaná, druhá alternativní), 1,5 hlubokých, relativně blízko sebe (Obrázek č. 4). Pro střední rodinu by mělo trvat 12 měsíců, než jámu zaplní, poté začít plnit druhou a z první se stane za rok kompost (Morgan, 2007), tento postup se opakuje. Objem prostoru na výkaly by se měl odvíjet dle velikosti rodiny, a počítat s tím, že jeden člověk vyprodukuje okolo 0,06 m³ za rok (World Health Organization, 1996).



Obrázek č. 4: Záchod s alternativní jámou (Morgan, 2007)

3.1.2.1 Separační toaleta

Moč, jedna na živiny nejbohatších složek lidských výkalů, je nejjednodušší zachytit rovnou u zdroje pomocí speciálních toalet (Johansson & Lennartsson, 1999). Separace moči je vhodná při kompostování pevných výkalů, protože vysoký obsah amoniaku může výrazně zpomalit hygienizaci (Hill, et al., 2013).



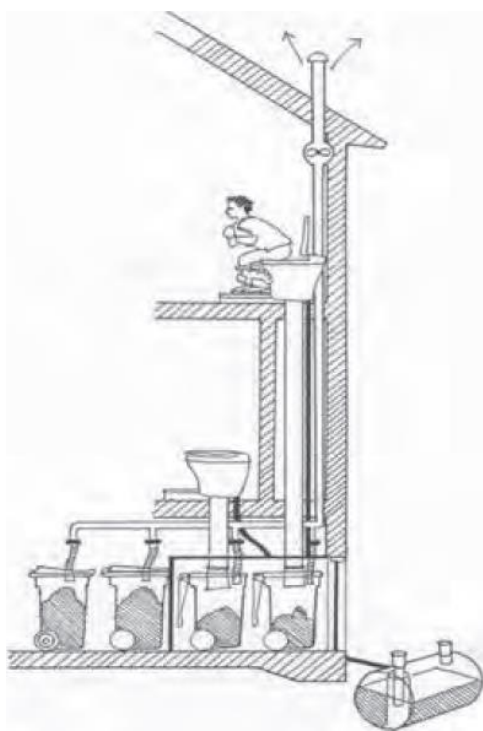
Obrázek 5: Separační toaleta, používající ke splachování vodu, pevné výkaly padají do zásobníku (Wostman Ecology AB, nedatováno)

Obrázek 5 znázorňuje separační toaletu. Jsou různá technická provedení toalet, některé používají splachování vodou jen pro moč, jiné i obou separovaných částí, nebo naopak se voda vůbec nepoužívá (Wostman Ecology AB, nedatováno). O skladování, ředění a využití více v kapitole o moči.

Je zde nutný nový návyk, že při vykonání potřeby si i muži musí sednout, výhodou je, hlavně u kompostovacích toalet, že je redukován zápach z toalety (West, 2001 a Rogers, 2019). Zápach u separovaných toalet nebyl detekován u 64,5 % ze zkoumaných 90 toalet (Redlinger, et al., 2001). Častým problémem bylo ucpávání filtru nebo zahnuté trubičky (funkce sifonu), které se vyřešilo novějším modelem a pravidelným čištěním hydroxidem sodným (Johansson & Lennartsson, 1999).

Tento systém toalety lze i instalovat do obytných prostor (Obrázek 5). Moč je v tomto případě splachována 1-2 dl vody a sbírána do nádoby, kdy je nutné počítat s přibližným objemem 0,5 m³ na osobu za rok (Johansson & Lennartsson, 1999).

Schéma separačního záchodu (Obrázek 6), kde moč je sbírána do kanystrů. Pevné výkaly padají do zásobníku, který může být vynášen na sekundární kompost, nebo může být prováděno samotné kompostování. Vysušování je prováděno samovolně či pomocí ventilátoru (Johansson & Lennartsson, 1999).



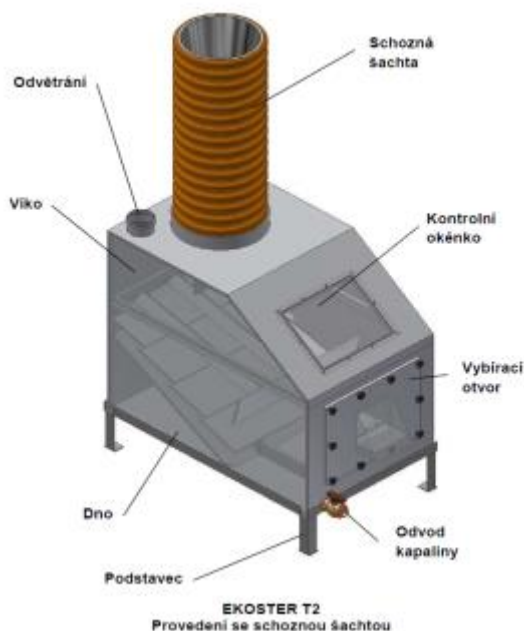
Obrázek 6: Schéma kompostovacího záchodu se separací moči (Winblad & Simpson-Hébert, 2004 in World Health Organization, 2006)

3.1.2.2 Ekona

Zásobník na výkaly, do kterého padají výkaly tekuté i pevné na šikmou plochu. Ventilátor přispívá k odvětrání přebytečné vody, odtahu pachu a k přísunu čerstvého vzduchu, aby mohl běžet aerobní proces kompostování. Možné je použít i separační

toaletu, aby byla docílena ideální vlhkost (Ekona, spol. s.r.o., 2014). Ve spodní části je otvor na odebrání vzniklého kompostu (Ekona, spol. s r. o., 2020). Po manipulaci je nutné očištění a dezinfekce náčiní a obuvi (Ekona, spol. s.r.o., 2014).

Často je situován do sklepa, což může příznivě ovlivňovat teplotu kompostování, hlavně v zimních měsících, nebo může být i zahrabán v zemi, jako jsem měl možnost zhlédnout. Tento systém je možné použít přímo v domácnosti. Často tento typ toalety má otvor na vypouštění přebytečné průsakové vody (Anand & Apul, 2014), dle osobního ohledání má i Ekoster výpusť. Dle výrobce lze přebytečnou vodu odvětrat, vypustit do jímky nebo splaškové kanalizace (Ekona, spol. s.r.o., 2014). Předkompostování má výhodu ve zmenšení objemu a tím se prodlouží interval vybírání (u systému Aquatron se uvádí zmenšení objemu při kompostování). Vyrábí se ve dvou velikostech - pro dvě nebo čtyři osoby při celoročním používání (Ekona, spol. s r. o., 2020). Výrobce uvádí, že vzniklý kompost je nutné dokompostovat a to v objemu 20-40 l za osobu a rok (Ekona, spol. s r. o., 2020).



Obrázek č. 7: Ekoster - kompostovací toaleta od výrobce Ekona (Ekona, spol. s r. o., 2020)



Obrázek č. 8: Fotografie nově zabudovaného záchodu Ekoster (fotografie autor, 2019)

3.1.2.3 Biolan

Kompostovací záchody od firmy Biolan mají několik modifikací, typ Eco i Populett mají objem 200 l (Biolan Oy, 2020a), záchod má odvětrávací vývod, který musí vést přímo vzhůru až nad střechu, tímto je zajištěno odvětrávání samovolně, bez nutnosti použití ventilátoru, který je ale možno použít. Typ Populett i Eco má sedátko výše a je nutné v jeho polovině vybudovat podlahu. Nádoba na průsakovou kapalinu musí být situována pod záchodem, aby tekutina odtékala samospádem. Při využívání záchodu v zimě v nevytápěném prostoru je zapotřebí záchod vyhřívat, aby hadice na

průsakovou vodu nezamrzla (Biolan Oy, 2020a). Na tekutinu lze také použít odpařovací vanu s rašelinou (Biolan Oy, 2020a).

Výrobce uvádí počítat s objemem tekutiny 0,2 až 0,5 l na uživatele za den u modelu Eco bez separace, doporučuje před použitím jako hnojivo okrasných rostlin skladovat 1 rok, při aplikaci ředit 1:5 nebo ji využít na závlivku kompostu (Biolan Oy, 2020a).

Dle výrobce se začnou exkrementy kompostovat po naplnění ½ nádoby a za 6 až 7 týdnů vznikne nestabilní kompost. Každou potřebu je nutné zasypat 0,2 až 0,5 l zásypového materiálu (Biolan Oy, 2020a), který se skládá z kůry jehličnanů (borovice), dřeva a rašeliny (Biolan Oy, 2020b), borovicová kůra má odpuzovat hmyz.

Dle návodu u modelu Eco je obvykle kompostovací hmota ze záchodu vyžralá do stadia krycí zeminy, použitelné výhradně k okrasným rostlinám, při použití na jedlé rostliny výrobce doporučuje kompostovat ještě jeden rok (Biolan Oy, 2020a).

Kladně hodnotím informace o likvidaci samotného produktu, z jakých surovin je výrobek vyroben a jaké jsou možnosti jeho zneškodnění či recyklace.



Obrázek 9: Biolan Populett - u záchodu je zvýšená podlaha, uvnitř je separace moči. (fotografie autor, 2019)

Oproti tomu u modelu Populett, který separuje moč a pevné výkaly je nutné počítat s 1 až 1,5 litru na osobu/den a před použitím uvádí skladovat 3 měsíce, protože se jedná jen o moč, nebo ji odvést do ČOV.

Odpad ze separačních toalet výrobce doporučuje vždy následně kompostovat i s ostatním bioodpadem, dodržovat místní předpisy a vzdálenosti, hlavně od vodních zdrojů. Kompostování zabezpečit proti pronikání výluhů do půdy. Výsledný kompost je možné po ½ roce použít na okrasné rostliny, po roce kompostování pro jedlé rostliny, zakopávání výkalů do země je zakázáno (Biolan Oy, 2015). Kompostovací zemina vznikne podle výrobce po 1-3 letech, kdy je potřeba kompost obohatit vodou a dusíkem, například i separovanou močí. Uvádí nutnost jednou kompost přeházet a vzniklý kompost je možné použít kdekoliv. Nakonec návod vyzývá ke kontaktování vodoprávního úřadu pro zjištění místních předpisů (Biolan Oy, 2015).

3.1.2.4 Separett

Jedná se o sofistikovanější toaletu, která má uzavřený otvor pod WC-prkénkem, po sednutí a zatížení prkénka se otevře. Design je navržený na separaci moči. Neustále je prostor pod víkem odvětráván ventilátorem, který by měl být vyveden ven. Pevné výkaly musí být pravidelně vynášeny, v záchodě probíhá spíše vysušování, kompostování probíhá až v kompostéru mimo toaletu. Dle návodu od výrobce se má



Obrázek 10: Záchod značky Separett, vyroben z plastu, má horní odvod vzduchu sloužící k odvětrávání. První obrázek zavřené toalety. Na druhém obrázku je separace moči a na třetím vnitřek záchodu (fotografie autor, 2020).

zacházet s odpadními produkty dle pokynů odboru ochrany životního prostředí (Separett AB, 2007).

Dle zkušeností rodiny (tříčlenná) vynáší pevné výkaly na sekundární kompost každý týden. Moč je skladována společně s odpadní vodou z kuchyně a vyvážena.

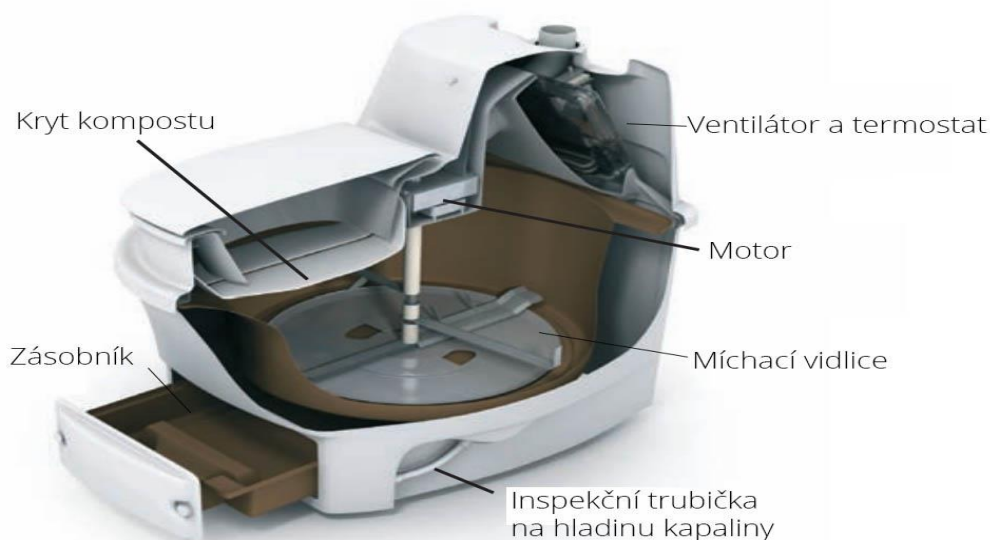
3.1.2.5 Zmražení

Společnosti Biolan (model Icelett) i Separett (model Freeze 2000) vyrábějí záchodovou mísu, která je připojena na elektrickou síť s průměrným denním odběrem 0,73kW (Biolan Oy, 2012). V míse je kompostovatelný sáček s objemem 20 l, který je záchodem zmražen na $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, aby neprobíhal mikrobiální rozklad, při kterém vzniká i nepříjemný zápach (Biolan Oy, 2012). Obsah je vynášen na sekundární kompost, kde začíná kompostování. Výrobce Biolan uvádí kompostovat půl roku při využití pod okrasné rostliny a rok při využití pro jedlé rostliny. Freeze 2000 má velmi podobné parametry, výrobce navíc uvádí hlučnost 39 dB a oproti Biolanu neuvádí jak naložit se vzniklým kompostem (Separett AB, 2020).

3.1.2.6 Mixování exkrementů

Společnost Swedish Ecology AB vyrábí kompostovací záchod MullToa, který zamíchá obsahem uvnitř záchodu každých 30 minut, nebo po vykonané potřebě (Swedish Ecology AB, 2018). Vyprázdnění záchodu by mělo nastat, pokud se obsah dostane k poslednímu míchacímu noži (Aasen, 2004). Zásobník by se měl vyprázdnit

po 14 dnech při používání dvěma lidmi, tekutina se odpařuje pomocí přídavného topení a ventilátoru, kdy míra topení i ventilace je řízená plovákem (Swedish Ecology AB, 2018).



Obrázek 11: Schéma záchodu MullToa (Swedish Ecology AB, 2020b)

Podle zkoušek záchod běžel bez vyprázdnění 8 týdnů při používání 4 osob (Aasen, 2004). Pro kontinuální používání je vhodné mít dvě nádoby na sběr kvůli dozrání kompostu (Aasen, 2004). Podle protokolu po 11 týdnech po vyprázdnění bylo množství termotolerantních koliformních bakterií v normě (Aasen, 2004).

3.1.2.7 Uritonnoir



Obrázek 12: Princip fungování pisoáru a příklad použití (L'uritonnoir, nedatováno)

Společnost Uritonnoir z Francie vymyslela pisoár, který se skládá ze slámy. Lehkost použití – balík slámy s levnou plastovou nálevkou, pochopitelná grafika i

technologie (Obrázek 12) a hygienická nezávadnost, udělali z tohoto řešení zajímavé téma i pro média (The Guardian, idnes.cz). Pro hygienizaci moči je nutné ji skladovat 6 měsíců (Johansson & Lennartsson, 1999), což se kompostováním slámy s močí docílí (Obrázek 12). Řešení je vnímáno jako „ecofriendly“ a podle výrobce se využívá na festivalech. Do měst přišlo architektonické studio Faltazi, které stojí za tímto nápadem, s městským zařízením. Květináč (Obrázek 13), který v podstavci ukrývá slámu, má ulevit městům od ulevujících kolemdoucích. V pisoáru je nutné podle užívání měnit slámu, maximum výrobce uvádí 60 uživatelů za den a po dobu 2-3 dní.

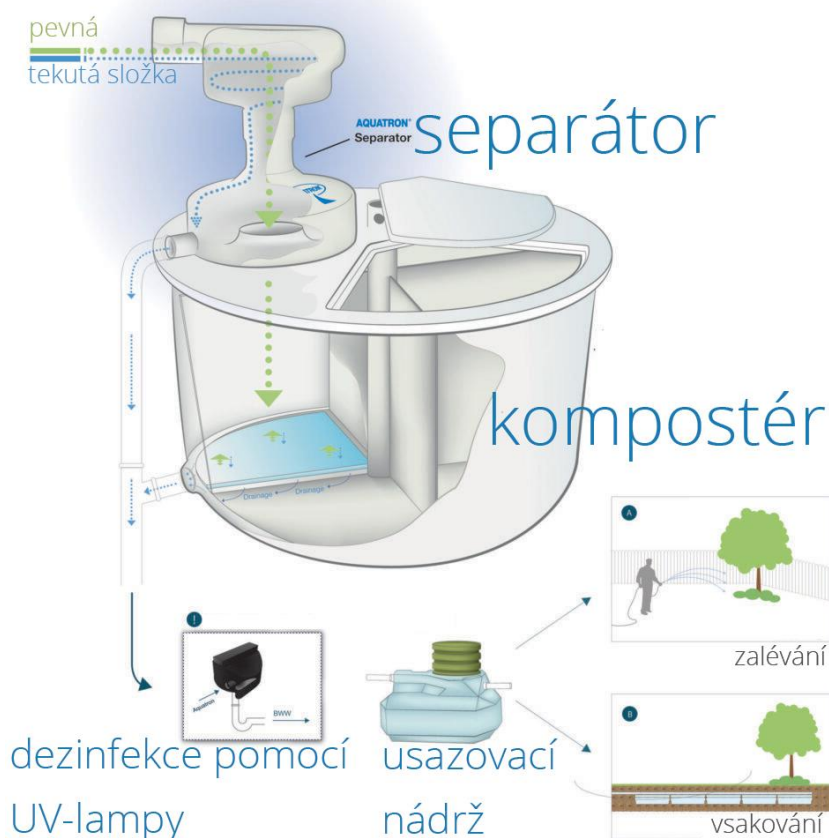
Sláma z obilí obsahuje 86 % hmotnosti sušiny, 0,45 % hmotnosti N a poměr C:N má 80-100 (Richter & Římovský, 1996 in Hlušek, 2004). Pro kompostování je ideální poměr C:N 20-30:1 (Váňa, 2002). Samotné zaorávání slámy je nezbytné provést s aplikací dusíku (minerální hnojivo, či kejda). Dusík se aplikuje v dávce 10 kg dusíku na ha se slámou (Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2012), jinak by si půdní mikroorganismy při přeměně slámy odebíraly dusík z půdního profilu (Hlušek, 2004). Pro představu přepočtu v diskusi hmotnost dusíku dodaného do slámy a stanovím jeho předpokládaný poměr.



Obrázek 13: Pisoár objevující se ve městech po celé Francii - upraveno (L'uritonnoir, nedatováno)

3.1.2.8 MullToa Bioflush

Švédský výrobce MullToa vyrábí porcelánovou mísu, která splachuje menším množstvím vody 0,5 l vody (AVLOPPSCENTER, nedatováno). Kompostování probíhá v kontejneru, který může být až 10 m daleko, pevná část se zachytí na filtru a kapalná



proteče na dno, které je odvětrávané a i vyhřívané, aby se veškerá voda odpařila (Swedish Ecology AB, 2020b). Kompostovací kontejner obsahuje dva filtry, kdy se toaleta přepojuje na nový po 2 měsících, kdy první je vyprázdněna až při dalším napojení (Swedish Ecology AB, 2020b). Podrobnější informace se mi nepodařilo najít, všechny zdroje k tomuto systému jsou hlavně ve švédštině.

Obrázek 14: Aquatron - schéma, přeloženo a upraveno (Aquatron International AB)

3.1.2.9 Aquatron

Zařízení Aquatron lze připojit na záchod splachující vodou, nejlépe separační, kdy moč je vedena odděleně a stolice je konvenčně splachovaná. Zařízení od společnosti Aquatron International AB pevné výkaly oddělí od vody pomocí druhého separátoru ve tvaru přesýpacích hodin, který je technicky navržen tak, aby mohl fungovat bez elektrické energie a pohyblivých částí. Separátor oddělí 98% vody. Pro správnou funkci separátoru je ale nutné dodržet pevný sklon a délku přívodního odpadního potrubí (Jordforsk - , 2005).

Pevná část se zmenší časem o 90 % vlivem mokrého kompostování, které ideálně probíhá mezi 12 - 25 °C a trvá 3 – 5 let (West, 2001). V Novém Jižním Walesu v Austrálii musí být pevná část zakopána v zemi minimálně 300 mm hluboko a přikrytá hlínou v okrasné části zahrady (Environment Protection Authority Victoria, AU, 2016).

UV lampa dezinfikuje od bakterií vodu, která pochází jak z oddělného separátoru, tak i z výluhu z kompostéru. Testy potvrdili, že obsah bakterií ve vodě ozářené

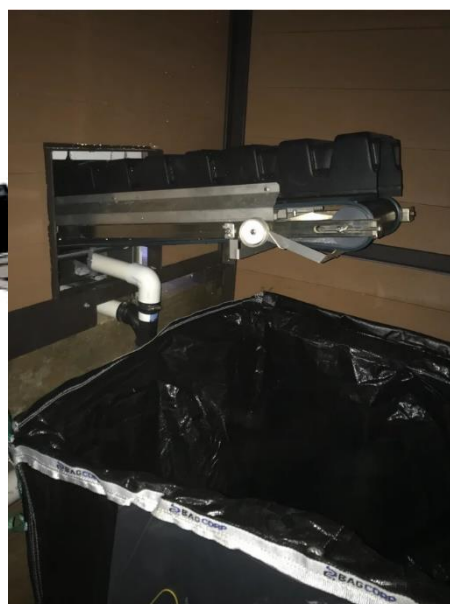
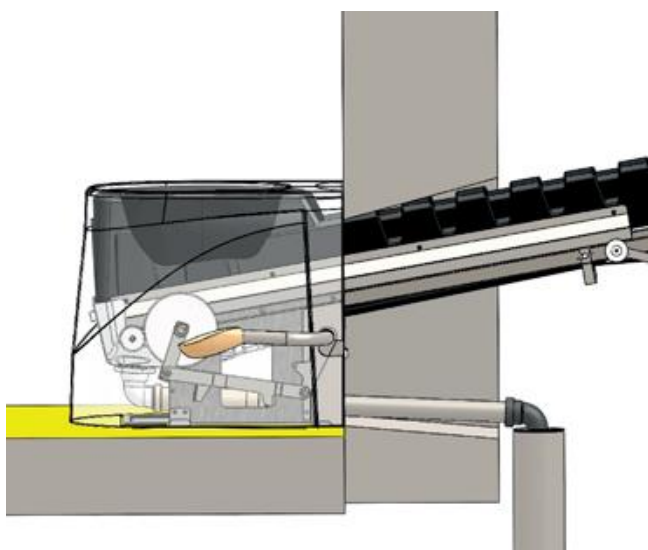
UV lampou v tomto navrženém systému jsou nulové a splňují tak limit i pro pitnou vodu ve Švédsku (Jakubowicz & Ekendahl, 2005). Lampa je účinná a ničí termotolerantní bakterii, i když jsou obsažené na drobných nečistotách obsažených ve vodě a podle druhé studie ničí bakterie na 99,929 % - 99,999 % (Jordforsk - , 2005). Na základě těchto zjištění se může voda vycházející z takto navrženého systému vsakovat do půdy, pokud je nainstalován usazovač kalů (Jordforsk - , 2005).

Výhody a nevýhody tohoto systému jsou (West, 2001):

- Menší nároky na prostor
- Ideální pro odlehlejší místa, nepřístupná pro fekální vůz
 - Jedná se o mokré kompostování, proto tento typ není například povolen v oblastech umožňující připojení na kanalizaci, platí pro Nový Jižní Wales v Austrálii (Environment Protection Authority Victoria, AU, 2016)
- Uzavřený cyklus živin

3.1.2.10 ECS Toilet Tech Solution

Společnost Toilet Tech Solution v USA si nechává vyrábět separační toaletu, která funguje bez přívodu elektrické energie. Pevné výkaly padají na posuvný pás, který je mechanicky posunut po vykonané potřebě pákou. Posuvný pás je nakloněn a pevné výkaly jsou mírně vyzdviženy. Sklon pásu je opačný než směr posunu, tudíž kapalná část teče na druhou stranu, tímto je zajištěna separace moči od pevných výkalů. Za rok tento typ záchodů obslouží více jak 3 milióny návštěvníků a obyvatel a to hlavně v národních parcích v Kanadě a USA (Hill, 2020)..



Obrázek 15: Schéma separačního záchodu od Toilet Tech Solution (vlevo) (Ecodomeo, 2020)

Obrázek 16: Dopravení pevné části výkalů do sběrného vaku (Hill, 2020)

3.2 Legislativa a kompost

3.2.1 Vyhláška č. 341/2008 Sb.

Vyhláška č. 341/2008 Sb. upravuje podrobnosti s nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (dále „bioodpady“) na základě zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. podle § 33b odst. 3. Uvádím zde parametry jen pro kompostování bioodpadu, dále se snažím vybrat informace relevantní k decentralizovanému nakládání s exkrementy.

Tabulka č. 2. 1. Teplotní režimy při hygienizaci kompostováním

| Technologie | Vstupy | Teplota, doba |
|--------------------------------------|---|--------------------------------|
| Malé zařízení | Odpady ze zahrad a zeleně | ≥45 °C, 5 dní |
| Kompostování | Odpady ze zahrad a zeleně, zbytková biomasa ze zemědělství | ≥45°C, 10 dní |
| Kompostování | Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1 seznam A) | ≥55°C, 21 dní ≥65 °C, 5 dní |
| Kompostování v uzavřených prostorách | Biologicky rozložitelné odpady (dle přílohy č. 1, seznam A) | ≥65 °C, 5 dní |

Obrázek 17: Technologické požadavky na úpravu bioodpadů z 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (AION CS, s.r.o., nedatováno)

Vyhláška stanovuje u malých zařízení nejméně dvě překopávky. Obrázek 17 obsahuje v tabulce minimální teplotní režimy, kde stanovení teploty se provádí ideálně ve středu zakládky¹. Minimální čas kompostování je stanoven na 60 dnů.

Pro potřeby kontroly účinnosti hygienizace se používá, dle vyhlášky 341/2008 Sb:

- monitoring technologie (teplota, vlhkost a čas)
- ověření procesu pomocí vnesením organismů, hlavně pro zařízení, které zpracovává čistírenský kal

Úspěšná kontrola procesu nastane, když

- byly dodrženy podmínky stanovené řádem
- výstup odpovídá kritériím indikátorových organismů (Obrázek 18)²
- počet kolonií tvořících jednotku u vneseného organismu se během procesu sníží minimálně o 6 řádů

¹ Při zakládce vyšší než 2 m minimálně 1 m pod povrchem, nižších zakládek minimálně 0,5 m od povrchu zakládky (Anon., nedatováno)

² Při nevyhovujících hodnotách dvakrát po sobě odebraných vzorků, je také nutné provést ověření procesu pomocí vnašením organismů

Tabulka č. 5.4. Kritéria pro kontrolu účinnosti hygienizace prováděné na základě sledování indikátorových mikroorganismů

| Indikátorový mikroorganismu | Výstup | Jednotky | Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu | Limit (nález/KTJ ³) |
|---|--|---------------|--|-----------------------------------|
| <i>Salmonella spp.</i> | Rekultivační kompost/rekultivační digestát | nález v 50g | 5 | negativní |
| <i>Termotolerantní koliformní bakterie</i> ** | Rekultivační kompost/rekultivační digestát | KTJ v 1 gramu | 5 | 2 3 <10 ³ <50 |
| <i>Enterokoky</i> ** | Rekultivační kompost/rekultivační digestát | KTJ v 1 gramu | 5 | 2 3 <10 ³ <50 |

Poznámky k tabulce č. 5.4.:

*KTJ = kolonie tvořící jednotky

** Z odebraných 5 vzorků musí minimálně stanovený počet vyhovět předepsaným limitům

Obrázek 18: Z přílohy č. 5 vyhlášky č. 341/2008 Sb. (AION CS, s.r.o., nedatováno)

Vyhláška č. 341/2008 Sb. uvádí základní požadavky na zřízení malého kompostovacího zařízení s minimální zakládkou 10 t a roční zpracování bioodpadu o váze do 150 t, sledované komposty v této práci mají většinou rozměr 1 m³ a odhadují, že nepřesahují hmotnosti jedné tuny do roka³, toto jsou informace o kompostech

- sklon do 3°
- možno zastřešit, přikrýt
- minimální vzdálenost od zdrojů pitné vody, od povrchových vod, dle hydrologických situací, ochranných pásem a mimo záplavová území
- označení a zabezpečení proti vniknutí neoprávněných osob
- vést provozní deník (identifikace provozovatele, parcely) a mít provozní řád (informace o postupu pro splnění hygienizace)
- vzorek pro kontrolu hygienizace se uchová do 6 °C a předá se tak, aby byl zpracován do 48 h po odběru, četnost pro malé kompostárny je jednou do roka

3.2.2 Využití čistírenského kalu na zemědělské půdě

Dle vyhlášky 437/2016 Sb. musí být upravené kalý po výstupu z technologické úpravy aplikované do 8 měsíců, pokud se lhůta prodlouží, je nutné znovu stanovit mikrobiální rozbor (Obrázek č. 19) a do 30 dnů zapravit kal do půdy, od rozprostření na poli do 48 h zapravit do půdy. Pravidelné odběry vzorků upraveného kalu se odebírají opakovaně, dle objemu produkce provozu, viz příloha č. 3 až 5 k vyhlášky č. 437/2016 Sb.. Vyhláška také stanovuje, že vždy musí být odebráno 5 vzorků během jednoho dne, aby byl monitorován celý profil posuzovaného materiálu. Odebraného množství musí být nejméně 500 g. Vzorkovnice se plní do 80 % obsahu a musí být uzavřena

³ Hmotnost vlhkých exkrementů, vezmeme-li horní mez, je 400 g (Schouw, et al., 2002), čtyřčlenná rodina vyprodukuje tedy maximálně za den 1,6 kg separovaných pevných výkalů, za rok to činí 584 kg, je zde pořád rezerva do odhadované 1 tuny pro posypový materiál, která se odpařením vody ještě zvětší.

volně. Vzorky se přepravují při teplotě od 1 °C do 8°C. Analýza se provádí do 72 hodin.

Mikrobiologická kritéria pro upravený kal pro aplikaci na zemědělské půdě

| Indikátorový mikroorganismus | Jednotky | Počet zkoušených vzorků při každé kontrole výstupu | Limitní hodnota (nález/ KTJ*) |
|----------------------------------|----------------|--|-------------------------------|
| Salmonella spp. | nález v 50g | 5 | negativní |
| Escherichia coli nebo enterokoky | KTJ* v 1 gramu | 5 | < 10 ³ |
| | | 1 | < 5.10 ³ |

* KTJ - kolonie tvořící jednotku

Obrázek č. 19: Příloha č. 4 k vyhlášce č. 437/2016, limity mikrobiální nezávadnosti upraveného kalu (AION CS, s.r.o., nedatováno)

Na 1 ha může být použito maximálně 5 t sušiny, pokud kal obsahuje méně než polovinu limitního množství každé ze sledovaných rizikových látek a prvků, může se aplikovat do 10 t sušiny kalů na 1 ha. Toto omezení je kvůli riziku kontaminace zemědělských půd (Rozkošný, et al., 2015). Obrázek č. 20 uvádí mezní hodnoty sledovaných prvků.

| Riziková látka | Mezní(maximální) hodnoty koncentrací v kalech (mg.kg ⁻¹ sušiny) |
|--|--|
| As - arzén | 30 |
| Cd - kadmium | 5 |
| Cr - chrom | 200 |
| Cu - měď | 500 |
| Hg - rtuť | 4 |
| Ni - nikl | 100 |
| Pb - olovo | 200 |
| Zn - zinek | 2500 |
| AOX | 500 |
| PCB (suma 7 kongenerů -28+52+101+118+138+153+180 | 0,6 |
| PAU (suma antracenu, benzo(a) antracenu, benzo(b) fluoranthenu, benzo(k) fluoranthenu, benzo(a) pyrenu, benzo(ghi) perylenu, fenantrenu, fluoranthenu, chrysenu, indeno(1,2,3 -cd)pyrenu, naftalenu a pyrenu) | 10 |

Obrázek č. 20: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů), příloha č. 3 k vyhlášce č. 437/2016 Sb. (AION CS, s.r.o., nedatováno)

Kal musí splňovat i další vlastnosti a jeho použití je také definováno:

- Minimálně kal obsahuje 18 % sušiny
- Minimální vzdálenost od povrchových vod je 50 m, od zdrojů pitné vody 100 m a od obytné zástavby 300 m

- Pozemky nesmí být meliorovány, nejedná se o trvale zamokřené pozemky ani lehké písčité propustné půdy

Tyto parametry byly sledované i v praktické části této práce.

3.2.3 Požadavky na ověření účinnosti hygienizace kalů

Ověření účinnosti se provádí, dle vyhlášky 437/2016 Sb., na základě odebrání 10 vzorků během 48 hodin na vstupu a odebráním dalších 10 vzorků během 48 hodin na výstupu. Vzorky na vstupu a výstupu se odeberou s maximálním rozestupem 30 dnů. Minimální rozdíl před a po úpravě kalu musí být 10^5 KTJ.g⁻¹ pro *Escherichia coli* nebo enterokoky, přitom parametry na výstupu musí být v souladu s limitními hodnotami indikátorových MO uvedených v příloze č. 4 této vyhlášky.

Pokud kal obsahuje na vstupu hodnoty menší než 10^5 KTJ.g⁻¹ pro výše uvedené MO, musí vzorky na výstupu vykazovat negativní nálezy uvedených MO.

3.3 Hygienizace

Je proces, který snižuje mikrobiální znečištění látky pod stanovenou mez. Jsou dva hlavní parametry, které v procesu kompostování přispívají k deaktivaci patogenů. Zaprvé aerobní mikroorganismy působí jako antibióza patogenním bakteriím (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999). Biologicky rozložitelné složky jsou činností MO (převážně bakteriemi a houbami) přeměněny na humus (Hubálek, 2007).

Zadruhé je to čas, většina patogenů není schopná v nepříznivých podmínkách přežít delší dobu. Čas je jeden z faktorů ovlivňující počet bakterií, a je obecně přijímáno, že skladováním je většina patogenů redukována z důvodů odlišných životních podmínek (Strauch, 1991). Obrázek 21 znázorňuje závislost teploty a času na vybrané patogeny. Obrázek č. 22 popisuje čas přežití patogenů v různých podmínkách. Mikrobiální ukazatelé nám nastiňují okamžité kontaminace a pro zemědělskou aplikaci jsou přípustné jen stabilizované kaly (Rozkošný, et al., 2015).

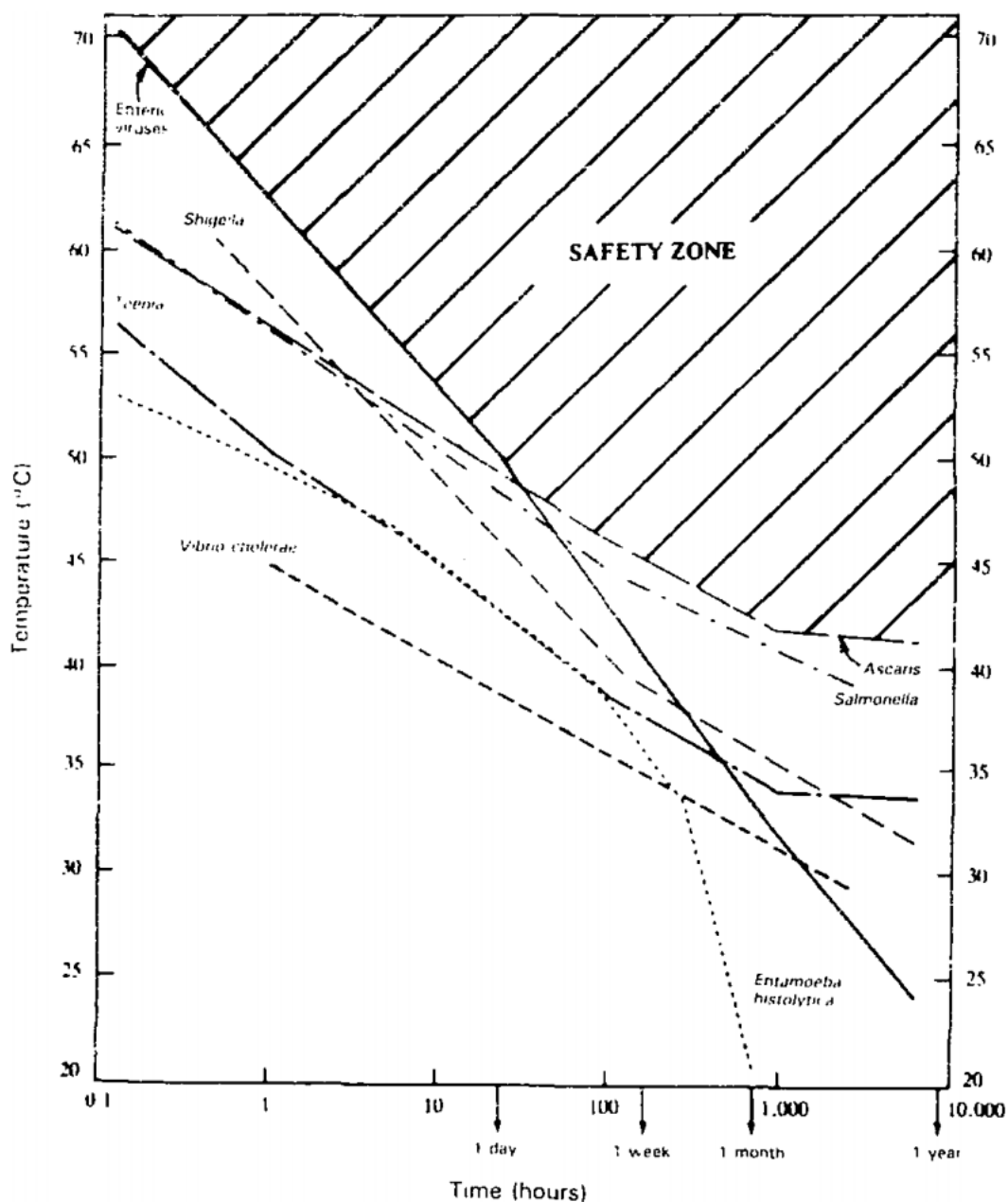
Názory na hygienizaci exkrementů v kompostu se významně ve zdrojích liší. Zásobník na výkaly by měl být vyměněn jednou za 2-3 měsíce, dokořpostován a poté 6 měsíců skladován z hygienických důvodů před aplikací na zahradu (Johansson & Lennartsson, 1999). WHO oproti tomu doporučuje kompost nechat dva roky odležet před následným využitím (World Health Organization, 1996). Jiné zdroje uvádí po pokusech nechat stolici kompostovat 3-5 let (Environment Protection Authority Victoria, AU, 2016).

Přidáním moči se (6 % moči na vzorek) se zvýší pH a zvyšuje se také účinnost hygienizace (Vinnerås, 2007). Naopak vysoký obsah amoniaku může výrazně zpomalit hygienizaci (Hill, et al., 2013).

3.3.1 Rizika

Původci mnoha nemocí jsou vyměšovány výkaly, největší problém mohou nastat při vyměšování přenašeči, klinicky zdravými lidmi (Strauch, 1991). I dnes se mnoho patogenů nachází v čistírenském kalu, ovlivněno epidemiologickou situací v

regionu (Strauch, 1991). Je velice pravděpodobné, že *Escherichia coli* se objevují na rostlinách, pokud je jimi půda kontaminovaná nebo je zavlažována kontaminovanou vodou. Je dokázáno, že bakterie druhu *Escherichia coli* jsou transportovány kořenovým systémem do listů (Solomon, et al., 2002).



Obrázek 21: Efekt teploty a času na některé patogeny při kompostování čistírenského kalu (Strauch, 1991)

Salmonella spp. přežívá v půdě několik měsíců (Islam, et al., 2004), dostává se do půdy např. z neupraveného masa a nejohroženější skupinou jsou malé děti a staří lidé, hrozí jim dehydratace (Zimová, in verb.). Hlavně kvůli *Salmonella spp.* je vhodné pohlížet na větší množství kalu či hnoje jako na rizikový materiál (Strauch, 1991). Z pokusů vyplynulo, že při aplikaci kontaminovaného hnoje *Salmonella spp.* se doba přežití lišila v zimě (104 – 350 dní) a v létě (424 – 820 dní) (Strauch, 1991), avšak obecně platí, že v chladnějších zeměpisných pásmech je hygienizace kompostu pomalejší (World Health Organization, 2006).

Aktuálně i virus 2019-nCoV se přenáší i exkrementy (Yong, et al., 2020). Nemoc šílených krav i slintavka se rozšířila po aplikaci infikovaného hnoje (Zimová, in verb.). V současné době se také zkoumá vznik rezistence na antibiotika v odpadních vodách (Zimová, in verb.). Problémy mohou být s oportunními patogeny, které jsou rizikem pro oslabené jedince (Pumann, 2014). Rozšíření mnoha chorob, jako je cholera, tyfus, úplavice bylo vymýceno právě izolací člověka od exkrementů prostřednictvím kanalizace a zvýšené hygieně (Strauch, 1991).

| Typičtí patogeny a jejich doba přežití při teplotě od 20°C do 30°C v různém prostředí | | | |
|--|------------------------|--------------------|-------------------------|
| patogenní organismus | Doba přežití (dny) | | |
| | čerstvá a odpadní voda | plodiny | půda |
| Bakterie | | | 1 rok, obvykle 2 měsíce |
| Fekální koliformní | < 60, obvykle < 30 | < 30, obvykle < 15 | < 120, obvykle < 50 |
| <i>Salmonella sp.</i> | < 60, obvykle < 30 | < 30, obvykle < 15 | < 120, obvykle < 50 |
| <i>Shigella</i> | < 30, obvykle < 10 | < 10, obvykle < 5 | < 120, obvykle < 50 |
| <i>Vibrio cholerae</i> | < 30, obvykle < 10 | < 5, obvykle < 2 | < 120, obvykle < 50 |
| Prvoci | | | |
| <i>Cysta Entamoeba histolytica</i> | < 30, obvykle < 15 | < 10, obvykle < 2 | < 20, obvykle < 10 |
| Helmité | | | 7 let, obvykle roky |
| Vajíčka <i>Ascaris lumbricoides</i> (škrkavka) | měsíce | < 60, obvykle < 30 | měsíce |
| Viry | | | 1 rok, obvykle 2 měsíce |
| Enteroviry | < 120, obvykle < 50 | < 60, obvykle < 15 | < 100, obvykle < 20 |

Obrázek č. 22: Typické patogenní organismy a jejich doba přežití při teplotě od 20°C do 30°C (Crites, R. & Tchobanglous, G. in *Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999; World Health Organization, 2006*)

3.4 Moč a exkrementy jako cenná surovina

Člověk průměrně vyprodukuje 1,0 - 2,5 l moči a 120 – 400 g vlhkých exkrementů za den (Schouw, et al., 2002), velký rozptyl u exkrementů je dán množstvím přijímané vlákniny. V rozvojových zemích je zpravidla obsah vlákniny, tedy i exkrementů vyšší (Schouw, et al., 2002). Obsahově to odpovídá: 7,6-7,9 g N, 1,6-1,7 g P, 1,8-2,7 g K, 1,0-1,1 g S, 0,75-1,5 g Ca, 0,25-0,4 Mg a 9-16 mg Zn. Prvky N, P, K, S převážně močí, Ca, Mg a Zn převážně pevnými výkaly (Schouw, et al., 2002).

3.4.1 Exkrementy

Exkrementy mají samy o sobě malý objem a obsahují většinu patogenů (Johansson & Lennartsson, 1999). Většina bakterií žijících v lidském střevě je neškodných, a dokonce prospěšných a umírají krátce po opuštění lidského těla (Rogers, 2019). Střevo obsahuje ale také bakterie, které způsobují nemoci i u jiného hostitele a mohou přežít i mimo lidské střevo (Rogers, 2019). Obsah živin i dalších látek závisí na chování obyvatel i kolik času stráví v nemovitosti (Johansson & Lennartsson,

1999). Při kompostování je nutné s exkrementy co nejméně nakládat, aby se zamezilo přenosu nákazy (World Health Organization, 2006).

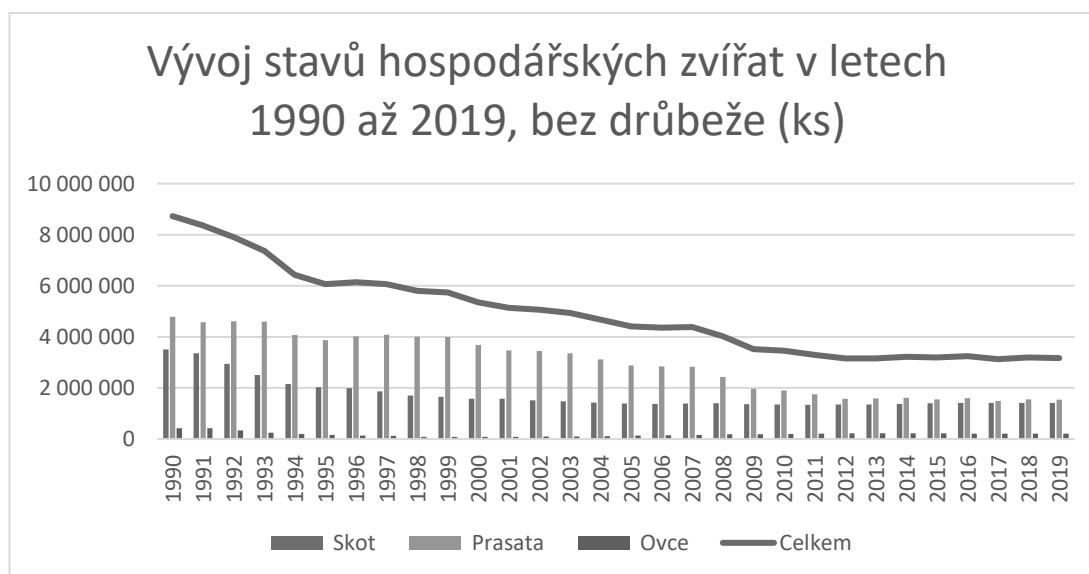
3.4.2 Moč

Tekutina vylučována ledvinami, v čistírenství označovaná jako žlutá voda. Moč obsahuje 80 – 90 % dusíku, 90 % draslíku a 50 % fosforu, který se objevuje v odpadních vodách z domácností (Johansson & Lennartsson, 1999). Moč je často kontaminována patogeny z výkalů (World Health Organization, 2006). Spory HIV byly nalezeny i v moči (Marshall et al., 1975; Grange & Yates, 1992 in World Health Organization, 2006) Pokud se jí rozhodneme zachytávat, tak do uzavřené nádoby, aby amoniak nevyprchal a pro hygienizaci je nutné ji skladovat minimálně 6 měsíců (Johansson & Lennartsson, 1999; World Health Organization, 2006), skladování je nutné pro redukování virů a prvoků (World Health Organization, 2006). Poté je možné ji použít naředěnou jako hnojivo.

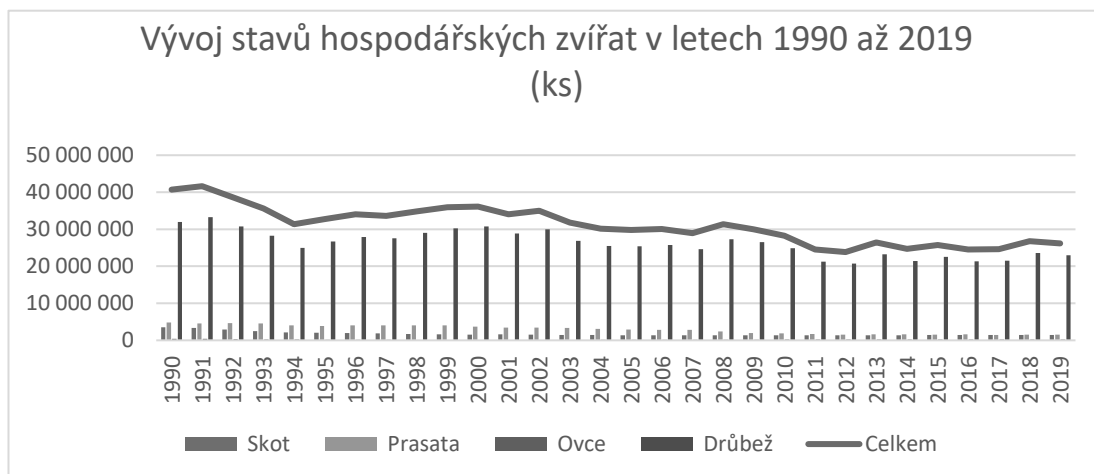
Při hnojení dusíkem se uvádí například u pšenice ozimé minimální dávka 20 kg na ha, jak v základním hnojení na podzim, tak i produkčním (Zimolka, 2005). Při přepočtení stejného obsahu N na plochu, denní dávka jednoho člověka stačí na hnojení dusíkem 3,95 m², což může být menší záhon v domácnosti. Při sledování nabídky společnosti Agro CS a. s. lze vidět i korelaci v poměru živin u Univerzálního hnojiva NPK, kde je N:P:K = 11:7:7 a v naší moči je 9:2:2, u kapalného hnojiva pro surfinie je 8:4:4 (Agro CS a. s., 2019).

3.5 Hnojení statkovými hnojivy

Vzhledem k poklesu chovaných hospodářských zvířat (viz Obrázek 23 a Obrázek 24) za posledních 19 let v České republice dochází i k poklesu aplikace statkových hnojiv na pole.



Obrázek 23: Vývoj stavu chovu hospodářských zvířat bez drůbeže v ČR, z celkové křivky lze vyčíst, že počet kusů dobytka soustavně klesá (Český statistický úřad, 2019b)



Obrázek 24: Vývoj stavu dobytka v ČR i s drůbeží, která byla z důvodu vyšších počtů kusů (nevhodné měřítko pro ostatní skupiny) v prvním grafu vyřazena. I s drůbeží je trend klesající. (Český statistický úřad, 2019b)

3.6 Analýza vzorků

Mikrobiální rozbor v praktické části této práce je velmi obecný, má za cíl sledovat parametry, které jsou zakotvené v legislativě. Tyto mikroorganismy jsou hlavně indikátorovými organismy fekálního znečištění, které by měly odhadovat množství patogenních mikroorganismů, avšak jejich vypovídací hodnota pro hlubší zkoumání je nedostatečná (Zimová, in verb.).

3.6.1 Koliformní bakterie

Koliformní bakterie se používají jako indikátor patogenních fekálních mikroorganismů, protože se vyskytují ve větším množství a jejich detekce je jednodušší (Hassen, et al., 2002). Mezi koliformní bakterie patří aerobní a fakultativně anaerobní, gram-negativní a nesporulující (Redlinger, et al., 2001). V pokusech tyto bakterie po zmenšení počtu po termofilní fázi opět v mezofilní části stoupaly, což mohlo být způsobeno druhotnou kontaminací (Hassen, et al., 2002). Nyní namísto koliformních bakterií se používá *Escherichia coli*, protože se zjistilo, že se jedná o heterogenní skupinu zahrnující i druhy, které se ve fekáliích zásadně nevyskytují (Baudišová, 2017). *Escherichia coli* vždy pochází ze zaživačích ústrojí teplokrevných živočichů (Baudišová, 2017), tudíž indikuje fekální znečištění. V pokusech s kompostováním klesla z 10^7 na 10^3 KTJ na g, ale na konci pokusu opět stoupla na 10^4 KTJ na g. (Hassen, et al., 2002).

Mikrobiologické rozborů o počtu kolonií poskytují relativní výsledky a jsou závislé na metodě a délce kultivace (Pumann, 2014).

3.6.2 Intestinální enterokoky

Intestinální enterokoky jsou tradičním a významným indikátorem fekálního znečištění (Baudišová, 2017), avšak mají pomalejší rychlost umírání oproti *Escherichia coli* při zvýšené teplotě (Eller, Norin & Stenstroem, 1996 in World Health Organization, 2006)

3.6.3 Salmonela

Pochází z jídla, hlavně z masa, mléčných produktů a v pokusných kompostech zmizela v termofilní fázi vždy 25. dnem (Hassen, et al., 2002).

3.6.4 Heterotrofní bakterie

Všudypřítomné bakterie živí se organickou hmotou. Heterotrofní bakterie představují velice široké spektrum druhů (Pumann, 2014) a jsou identifikátory celkové bakteriální aktivity. Patogenních heterotrofních bakterií bylo do roku 1991 extrahováno z čistírenského kalu ve středoevropských podmínkách celkem 21 druhů (Strauch, 1991).

3.6.5 Vlhkost

Ideální vlhkost pro bakteriální biodegradaci je mezi 40 % - 60 % (Redlinger, et al., 2001). Nejlépe je obsah vlhkosti 60 % (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999). Sušší kompost je náchylný na plísně a houby, v převlhčeném kompostu schází kyslík (Váňa & Ust'ak, 2007)

3.6.6 Organické a anorganické parametry

Poměr C : N je ideální mezi 15:1 až 30:1, přirozený poměr výkalů obecně je 5:1 až 8:1, proto se přidává materiál bohatý na uhlík (Redlinger, et al., 2001; (World Health Organization). Při užším poměru pod 20:1 převyšuje obsah dusíku metabolickou potřebu mikroorganismů a doba zrání se prodlužuje, při širokém poměru se doba zrání také prodlužuje (Váňa & Ust'ak, 2007). Při vyšším poměru než 40 se stává organický materiál rezistentní pro mikrobiální degradaci (Braguglia, et al., 2018). Poměr C : N se vypočítává ze stanovení obsahu spalitelných látek následovně: (spalitelné látky:2):N (Anon., nedatováno)

Obsah sušiny, jeden z parametrů na zjištění vyžralosti a stabilizace kompostu, optimum 40 % (Hill, et al., 2013)

Fosforu by měl kompost obsahovat minimálně 0,2 % v sušině, běžně je dodáván formou zeleně (Váňa & Ust'ak, 2007).

Amoniakální dusík $N-NH_4^+$ se vyskytuje v kompostu hlavně z moči (Hill, et al., 2013) a také se nejdříve uvolňuje do kompostu při rozkladu organické hmoty. Dusičnanový dusík $N-NO_3^-$ se používá při posuzování zralosti kompostu (Hill, et al., 2013), protože jeho obsah stoupá vlivem bakterií, které oxidují amoniakální dusík. Dusičnanový dusík je velmi mobilní v půdě a při vydatných deštích se vyplavuje do pitné vody, což je nebezpečné hlavně pro kojenec.

Kompost by měl mít hodnoty pH mezi 6,5-7,5 (Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999).

4 Výsledné zhodnocení

Jedná se o decentralizované nakládání s výkaly, které nespotřebovává vodu. Kompostovací záchody začínají kompostování a dokompostování, stabilizaci a hygienizaci, je nutné provádět na sekundárním kompostu. Cílem kompostování výkalů je snížení rizika infekce substrátu z výkalů a také zmenšit vliv našich výkalů na životní prostředí a šetřit zdroji.

Za správné kompostování jsou zodpovědné hlavně aerobní mikroorganismy, proto je nutné mít v kompostu porézní materiál a kompost přehazovat, aby se udržela termofilní hygienizační fáze kompostování po co nejdelší dobu. Naopak, pokud není kompost správně obhospodařován, hrozí i pomnožení patogenních organismů (Beffa, et al., 1995). Sledováním jakosti kompostu můžeme celý proces kompostování urychlit – jedná se hlavně o vlhkost, spalitelné látky, celkový dusík, poměr C:N a pH.

Dusík je v kompostu potřebný pro udržení teploty. Udává se minimálně 6000 mg/kg hmotnosti sušiny (Váňa & Ust'ak, 2007), avšak, pokud je v kompostu přebytek moči, může způsobit ve formě amoniaku zpomalení hygienizaci (Hill, et al., 2013). Moč často silněji zapáchá a jejím separováním hned u zdroje, využitím separační toalety, snížíme zápach toalety i zrychlíme průběh hygienizace. Moč, jedna ze složek nejvíce bohatých na nutrienty (N, P) se samohygienizačními účinky během skladování po dobu šesti měsíců (World Health Organization, 2006). Po této době je preferováno moč naředit a využít ji jako zálivku u rostlin a to i u produkčních záhonů.

Většina typů záchodů má podobný systém, mají sběrné místo na výkaly, kde jsou rozkládány za přítupu vzduchu, často i odvětrávané. Sběrná komora a toaleta je dodávána v rámci „kompaktu“, či je sběrná komora větší a umístěna pod toaletou (Anand & Apul, 2014). Existují i složitější systémy, kdy jsou výkaly klasicky splachovány vodou, ale jsou separovány a následně kompostovány, voda takto vzniklá je zapotřebí hygienizovat a separovat z ní zbytkové části sedimentací.

| Moč | Exkrementy |
|-----------------------------|---------------------------------------|
| Samosanitační (uskladněním) | Obsahují většinu patogenů |
| 1,0 - 2,5 l za den | 120 – 400 g za den |
| Převážně N, P, K | Na živiny chudší: převážně Ca, Mg, Zn |
| Tekutá – možná separace | Pevné |

Obrázek 25: Srovnání moči a exkrementů

Výhodou kompostovacích záchodů je možnost jejich využití na místech bez vodovodní přípojky i elektrické energie. Vzniklý materiál se vlivem kompostování až o 90 % zmenší (West, 2001), proto je možné vzniklý materiál odvážet z místa po dlouhých intervalech, nebo šetřit prostorem, toho se využívá v národních parcích, kde je nežádoucí obohacovat nutričně půdu.

Sekundární kompostování by mělo podporovat hygienizaci substrátu teplotou, aerobní organismy jsou také antibiózou pro patogenní organismy a pokud celý proces

probíhá dostatečně dlouho, uvádí se 3 – 5 let (West, 2001), počty patogenních organismů by se měly snížit na bezpečnou mez. Nejdéle v substrátu přetrvávají helmité (Obrázek č. 22).

Bylo by vhodné, aby výsledný substrát splňoval kritéria pro upravený kal podle příloh č. 3 a č. 4 vyhlášky 437/2016 Sb., pokud se kompostuje v domácích podmínkách, kde se nekontroluje průběh kompostování a není ověřena hygienizace. Substrát by se měl využívat uváženě, například na okrasných rostlinách a mimo ochranných pásem. Kde časem, pokud aplikujeme stabilizovaný substrát s nízkým rizikem zdravotního ohrožení, dojde k rozkladu v půdě. Výkaly mají potenciál být využity jako obohacující organický materiál na zemědělské půdě, důvodem je deficit organické hmoty v půdě, který má za následek nedostatečné retenční kapacity krajiny a je to jedna z příčin častějšího vzniku povodní, déle trvajících sucha i náchylnosti půd k erozi.

Mikrobiální rozbor, který se dle vyhlášek u kalu stanovuje je zaměřen na indikační organismy fekálního znečištění, avšak přesná korelace s patogenními organismy je nejasná.

4.1 Praktická část této práce

Pro přehled a lepší pochopení teoretické problematiky byly navštíveny záchody a komposty u obyvatel a subjektů, kteří vlastní kompostovací toaletu, a z některých byly odebrány vzorky pro následnou analýzu. Vzorky byly umístěny do vzorkovnice ze skla, kdy zůstalo 10 % vzorkovnice nezaplněno. Vzorkovnice byly v chladu přepraveny do laboratoře. Vše bylo analyzováno v laboratořích firmy Dekonta.

Stanovovaly se anorganické parametry jako je obsah makro elementů a těžkých kovů (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Ni, Pb, Zn, P, Ca, Mg, K, N), obsah sušiny, pH, ztráta žíháním, poměr C:N, amoniakální kationt a dusičnanový aniont. Dále byli požadováni ukazatelé mikrobiálního fekálního znečištění. Byl stanoven počet kolonií tvořící jednotky na gram u termotolerantních koliformních bakterií (do této skupiny patří *Escherichia coli*), intestinálních enterokoků. Obraz o bakteriální aktivitě byl stanoven pomocí heterotrofních bakterií. Zjišťovala se i přítomnost bakterií rodu *Salmonella*.

4.1.1 Charakteristika vzorků

Bylo odebráno celkem 15 vzorků ze 7 lokalit. Vzorkovalo se několik fází - přímo čerstvý exkrement, před kompostováním, v procesu kompostování i po skončení kompostování. Jednalo se o pilotní testování a z každé fáze bylo testováno jen několik vzorků.

Materiál po dvou či více měsících po naplnění nádoby a před sekundárním kompostováním se blíží vzhledově již kompostu (vlastní pozorování).

Pro zachování anonymity neuvádím lokalitu, kde byl vzorek odebrán, avšak pro účely této práce je dostačující informace ohledně probíhajícího procesu, ze kterého byl vzorek odebrán, typu záchodu a metodiky nakládání se substrátem.

| Vzorek | Popis místa odběru |
|------------|--|
| vzorek č.1 | Ekoster - střed šikmé plochy, záchod používán celoročně, venku bez odvětrávání, plný před vybráním |
| vzorek č.2 | Ekoster - konečná fáze, záchod používán celoročně, venku bez odvětrávání, plný před vybráním |
| vzorek č.3 | Jáma v zemi na louce, hluboká 1,8 m; 2 roky nevybírání, používaný, separovaný – moč vsakována (Obrázek 32) |
| vzorek č.4 | Biolan Populett – separace moči – ihned vsakována, 4 měsíce bez provozu - v provozu jsou dva zároveň, plný se vyprázdní po naplnění druhého, to trvá cca 4 měsíce, sekundární kompostování začne až po tomto zdržení v záchodu, strukturou připomíná vysušený kompost (Obrázek 9) |
| vzorek č.5 | Založený sekundární kompost z Biolan Populett, ke konci kompostování; zakládka obsahovala uleželý obsah z Biolan Populett a čerstvou trávu; kompostováno celkem minimálně 8 měsíců; vlivem lidské chyby nelze vyloučit kontaminaci čerstvými výkaly, které byly vynášeny z jiného záchodu na dřívě založený kompost |
| vzorek č.6 | Založený sekundární kompost z Biolan Populett, ke konci kompostování; zakládka obsahovala uleželý obsah z Biolan Populett a čerstvou trávu; kompostováno celkem minimálně 8 měsíců; vlivem lidské chyby nelze vyloučit kontaminaci čerstvými výkaly, které byly vynášeny z jiného záchodu na dřívě založený kompost |
| vzorek č.7 | Biolan Populett - v provozu, horní čerstvá část, druhá sběrná nádoba k záchodu ze vzorku č.4 |
| vzorek č.8 | Vzniklý kompost ze Separett , kompostovaný nedbale (nejdříve v igelitu, poté samovolně, tudíž jednou přeházen), ale celkem 4 roky, vzhledově připomínal kvalitní černozem, moč separována a vyvážena na ČOV (Obrázek 10) |
| vzorek č.9 | Používaný kompost ze Separett (2 roky, bez přehazování); vzhledem k velmi malému objemu vzniklého kompostu není zapotřebí zakládat nový kompost (konstrukce toalety Separett dovoluje používání bez zásypového materiálu, vynášen obsah záchodu jednou za 3 týdny, dle zdržování se v domě), kompostováno společně bioodpadem z kuchyně, neodděleno od podloží, bez blízkosti vodního toku (na kopci), hojně se vyskytují žížaly, vzhled kvalitní černozemě, avšak možná kontaminace z důvodu stálého plnění. |

| Vzorek | Popis místa odběru |
|-------------|--|
| vzorek č.10 | <p>Uzavřená nádoba výkalů plněno průběžně, zásyrový materiál byla dřevní štěpka a dřevěné uhlí a uzavřeno 11.8.2019, rozbor proveden 4.2.2020 (více jak půl roku od posledního použití); kompostovací záchod vyroben svépomocí, dle ohledání 100 % plní svoji funkci, nemá vypouštěcí otvor, jen odvětrávání, vzhledově vysušený kompost; byla dodržována separace moči – na tento záchod se na malou nechodilo; přes toto léto je plánované sekundární kompostování. Nachází se na zahradě, kde není připojení pro konvenční WC, pro rodinu hospodařící na zahradě, případně návštěvy (Obrázek 31)</p> |
| vzorek č.11 | <p>Vzhledově čerstvě vynešený záchod, moč ze záchodu je separovaná a vsakována, kompost s namoklým papírem, velmi blízko malého vodního toku, ohraničen jen ze dvou vrstev cihel, v komunitní zahradě, muži zde chodili na malou, podle vzhledu, kompostování probíhalo pomalu. Nedostatečně odděleno od dospělých i dětí, vodního toku, do základky nic nepřidávané, subjektivně nejhorší zkušenost se záchodem (Obrázek 26).</p> |
| vzorek č.12 | <p>Vermikompostér, základka vytvořena z listí, bioodpadu ze zahrady a ze substrátu ze sekundárního kompostu ze záchodu, který byl analyzován pod vzorkem č. 4 a č. 5. Vzhledově kvalitní černozem, množství žížal, odděleno od okolního prostředí, kompostováno velké množství: 1,5 m x 1,5 m a výška 50 cm.</p> |
| vzorek č.13 | <p>Vermikompost, který byl úplně bez výkalů, vermikompost, zakoupený v r 2016, pro porovnání</p> |
| vzorek č.14 | <p>Vermikompostér, bez výkalů, čerstvě kompostovaný odpad z kuchyně (čaje, ohryzek), kompostér Urbalive, zařízení v kanceláři</p> |
| vzorek č.15 | <p>Domácí kompost ze zahrady, bez výkalů, z kuchyně i ze zahrady</p> |



Obrázek 26: Kompost na komunitní zahradě, 1 m od vodního toku, neodděleno od návštěvníků

Obrázek 27: Popis odběrných míst

4.1.2 Výsledky praktické části

Výsledky vzorků jsou přepsány přehledně do tabulek. Hodnoty, které se odlišují od ideálního kompostu jsou barevně odlišeny. Čísla vzorků vedle sebe, která nesou stejnou barvu jsou odebrány ve stejný den a na stejném stanovišti.

| Vzorek/parametr | požadované | č. 1 | č. 2 | č. 3 | č. 4 | č. 5 | č. 6 | č. 7 | č. 8 | č. 9 | č. 10 | č. 11 | č. 12 | č. 13 | č. 14 | č. 15 |
|---|------------|--------|---------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|
| sušina (hm. %) | min. 18* | 86,0 | 13,0 | 30,6 | 28,5 | 31,2 | 33,3 | 26,0 | 50,8 | 34,3 | 39,9 | 29,4 | 26,4 | 67,6 | 20,4 | 29,4 |
| pH | 6,0 - 8,5 | 5,69 | 7,59 | 7,57 | 5,66 | 7,26 | 7,27 | 7,75 | 6,53 | 8,23 | 8,54 | 8,21 | 7,86 | 6,18 | 6,05 | 7,29 |
| As (mg/kg suš.) | max. 30 | 1,87 | < 2,22 | 4,43 | < 1,29 | 5,83 | 7,68 | < 1,34 | 8,15 | 5,29 | < 0,632 | 4,79 | 4,52 | 2,64 | 1,25 | 11,8 |
| Cd (mg/kg suš.) | max. 5 | 0,352 | < 0,445 | 0,552 | < 0,259 | 0,823 | 0,855 | < 0,268 | 1,55 | 0,5 | 0,268 | 0,949 | 0,445 | 0,814 | < 0,30 | 0,675 |
| Cr (mg/kg suš.) | max. 200 | 5,77 | 0,941 | 9,74 | < 0,259 | 16,3 | 14,8 | 0,569 | 29,4 | 18,4 | 2,77 | 17 | 16,5 | 16,9 | 3,03 | 46 |
| Cu (mg/kg suš.) | max. 500 | 44,8 | 55,9 | 11,8 | 4,75 | 34,9 | 37,6 | 6,25 | 47,7 | 27,8 | 35,5 | 67,2 | 58,3 | 46,2 | 54,4 | 63,2 |
| Hg (mg/kg suš.) | max. 4 | 0,395 | 0,254 | < 0,05 | < 0,050 | 0,066 | 0,120 | < 0,050 | 1,28 | 0,206 | < 0,05 | < 0,05 | 0,165 | 0,055 | 0,107 | 0,172 |
| Ni (mg/kg suš.) | max. 100 | 6,11 | 6,80 | 5,49 | < 1,29 | 10,8 | 11,9 | < 1,34 | 13,6 | 9,3 | 4,7 | 11,2 | 10,1 | 8,92 | 3,86 | 25 |
| Pb (mg/kg suš.) | max. 200 | 5,50 | 3,51 | 8,97 | 2,36 | 17,7 | 18,9 | 2,31 | 54,4 | 19,4 | 2,01 | 17,6 | 15,6 | 11,2 | 4,36 | 57,6 |
| Zn (mg/kg suš.) | max. 2500 | 200 | 290 | 60,7 | 27,3 | 201 | 171 | 44,1 | 1 860 | 208 | 184 | 606 | 158 | 279 | 50,8 | 390 |
| P celk. (mg/kg suš.) | min. 2000 | 7 540 | 14 460 | 1 530 | 1 700 | 5 050 | 4 590 | 3 330 | 8 530 | 5 090 | 9 820 | 7 900 | 4 770 | 11 810 | 2 540 | 3 920 |
| Ca (mg/kg suš.) | | 16 480 | 32 900 | 8 910 | 3 300 | 35 270 | 36 400 | 4 720 | 33 440 | 18 790 | 16 780 | 83 810 | 30 640 | 47 190 | 16 090 | 26 080 |
| Mg (mg/kg suš.) | | 11 100 | 4 150 | 3 980 | 1 550 | 4 810 | 3 990 | 2 030 | 4 030 | 4 000 | 6 190 | 8 590 | 5 590 | 6 400 | 4 800 | 6 620 |
| K (mg/kg suš.) | | 7 570 | 8 910 | 7 230 | 3 780 | 12 180 | 10 790 | 6 080 | 228 | 693 | 469 | 609 | 14 350 | 14 520 | 26 260 | 10 630 |
| N celk. (mg/kg suš.) | min. 6000 | 7 920 | 7 300 | 3 400 | 4 280 | 3 180 | 3 096 | 9 770 | 5 410 | 4 250 | 4 620 | 2 440 | 3 650 | 1 980 | 8 690 | 4 620 |
| ztráta žiháním % suš | min. 25 | 72,6 | 84,6 | 68,1 | 96,9 | 55,6 | 46,9 | 94,8 | 32,8 | 40,4 | 85,7 | 59,8 | 59,4 | 44,5 | 80,8 | 51,6 |
| poměr C:N | 20-30 | 45,8 | 57,9 | 100 | 113 | 87,4 | 75,6 | 48,6 | 30,3 | 47,5 | 92,7 | 123 | 81,4 | 112 | 46,5 | 56 |
| N-NH ₄ ⁺ (mg/kg suš.) | | 311 | 240 | 39,1 | 798 | 65,3 | 16,3 | 4 850 | 40,1 | 144 | 37,1 | 155 | 189 | 54,1 | 422 | 281 |
| N-NO ₃ ⁻ (mg/kg suš.) | | 7935 | 183 | 48,5 | 2360 | 2270 | 1605 | 6330 | 1 575 | 304 | 74,7 | 156 | 49,7 | 8 590 | 9 710 | 16,5 |

Obrázek 28: Anorganický rozbor, * optimálně 40

| Označení vzorku | popis vzorku | <i>Salmonella</i> spp. | Termotolerantní koliformní bakterie (KTJ.g ⁻¹) | Intestinální enterokoky (KTJ.g ⁻¹) | Heterotrofní bakterie (KTJ.g ⁻¹) |
|-----------------|---|------------------------|--|--|--|
| vzorek č.1 | střed šikmé plochy, Ekoster | negativní | 3,00E+02 | 1,40E+03 | 6,30E+06 |
| vzorek č.2 | konečná fáze, před vydáním Ekoster | negativní | 1,00E+02 | 6,00E+02 | 3,50E+06 |
| vzorek č.3 | 2 roky nevybíraný, separovaný, jáma | negativní | 1,20E+03 | 8,30E+02 | 8,90E+06 |
| vzorek č.4 | Biolan, 4 měsíce po, před 2. kompostováním | negativní | <50 | 1,00E+02 | 1,10E+06 |
| vzorek č.5 | hygienizovaný kompost | negativní | 1,00E+02 | 7,30E+02 | 6,10E+05 |
| vzorek č.6 | hygienizovaný kompost | negativní | 5,00E+01 | 6,50E+02 | 6,20E+05 |
| vzorek č.7 | Biolan v provozu, horní čerstvá část | negativní | <50 | 1,00E+02 | 8,10E+05 |
| vzorek č.8 | 2-4 roky uleželý kompost, v igelitu, s trávou | | <50 | 3,00E+03 | |
| vzorek č.9 | používaný kompost (2 roky), žížaly | | 2,00E+02 | 3,30E+03 | |
| vzorek č.10 | uzavřená nádoba se štěpkou 11/8/19 | | 1,60E+03 | 7,50E+02 | |
| vzorek č.11 | čerstvě vyneseny | | 1,50E+03 | 1,50E+03 | |
| vzorek č.12 | vermikompostér se vzorkem č. 5 a č.6 | | <50 | 2,00E+02 | |
| vzorek č.13 | bez výkalů, vermikompost, zakoupený v r 2016 | | <50 | 3,00E+02 | |
| vzorek č.14 | bez výkalů, vermikompost, odpad z kuchyně (čaje, ohryzek) | | 1,90E+03 | 1,50E+02 | |
| vzorek č.15 | bez výkalů, kompost, domácí i zahradní odpad | | 1,90E+03 | 7,00E+02 | |

Obrázek 29: Mikrobiální rozbor vzorků, zvýrazněné hodnoty jsou na hraně s legislativou o použití upraveného kalu na zemědělské půdě; čísla vzorků se stejnou barvou vedle sebe jsou odebrána na stejné lokalitě; popis vzorků, který je zeleně, označuje vzorek, který by měl mít kvalitu upraveného kalu, protože se již jedná o konečný produkt, bílý popis vzorku označuje rozbor z různých fází.

Z 15 vzorků jen čtyři analyzovaly vzniklý kompost. Tři z nich splňovaly normu pro aplikaci kalu (vzorky č. 5, č. 6, č. 12) na zemědělskou půdu. Z pilotních výsledků mají největší obsah bakterií vzorky, které se nacházejí uprostřed rozkladného procesu (vzorky č. 1, č. 3, č. 9, č. 10 a č. 11 i vzorky bez výkalů č. 14 a č. 15). Z toho vyplývá, že je nejdůležitější nechat kompost dokompostovat až do vyzrání substrátu.

U separovaných toalet byl také nižší obsah amoniakálního dusíku. Moč nebyla u většiny toalet před vypuštěním ½ roku skladována a většinou byla vsakována do půdy. Jen v jednom případě byla jímána a poté vyvážena na ČOV společně s šedou vodou z domácnosti.

U vzorku č. 1 a č. 2 jsou mikrobiální parametry pohybují těsně kolem hranice, ale nejspíše se jedná o nestabilizovaný kompost, který by se měl dále kompostovat a upravit zakládku kompostu, i zde je vysoký poměr C:N.

V konečné fázi se počty bakterií snižují pod požadovanou mez pro aplikaci kalu na zemědělskou půdu, ale rozhodně zde nedošlo ke snížení počtu KTJ bakterií o pět řádů, tudíž samotné kompostování nemůžeme považovat za dostatečně hygienizující, ale samotný čas také ne (vzorek č.8), je zapotřebí obou těchto faktorů.

Naopak nejméně se bakterie nachází ve vrstvě, která je aktuálně používána, spíše, než že by nehrozilo riziko, se v této vrstvě mikroorganismy nestačily dostatečně namnožit, nejedná se o stabilizovaný substrát – vzorek č.7, 11. U vzorku č. 7 vidíme také největší obsah amonného kationtu, který může signalizovat nedávné obohacení močí i nedostatečnou stabilizaci.

Naprostá většina (14/15) vzorků měla velmi vysoký poměr C:N signalizující malé množství dusíku v substrátu. Příčinu odhaduji ve velkém množství zásypového materiálu a malého přísunu moči, či suroviny bohaté na dusík. Poměr byl nad hodnotu 40, lze očekávat, že důsledkem nedostatku dusíku byla degradace významně zpomalena. Jen vzorek č. 8 měl ideální poměr 30, bohužel i tady chyběl dostatek celkového dusíku a vzhledově chyběl v kompostu porézní materiál, aby mohl být aerobní proces aktivní. Tato fakta mohla vést k tomu, že vzorek č. 8 nevyšel z hlediska mikrobiologie uspokojivě, ačkoliv byl kompostován až 4 roky, ale byl zavřený po větší část v igelitu a následně mu nebyl dodán porézní materiál. Zde vidíme, jak je zapotřebí mít správnou zakládku i správně kompost obhospodařovat, aby mohl vzniknout substrát, který je hygienicky nezávadný.



Obrázek 30: Vzorek č. 6 byl odebrán z tohoto kompostu, bohužel kvůli nedostatečné informovanosti jednotlivých členů jsou pokládány nové výkaly na vrchol kompostu a mohlo tedy dojít k sekundární kontaminaci

Nejlépe dopadly vzorky č. 5 a č. 6, které byly pečlivě obhospodařovány, vzhledem k založení a přehazování. Tyto vzorky byly již zkompostované exkrementy, celkové množství heterotrofních bakterií je nižší, než u vzorku č. 4 (před kompostováním), ale v anorganickém rozboru vidíme, že by mohl být kompost stabilizovanější, přestože amoniakální kationty jsou v malém množství oproti dusičnanovým aniontům, avšak celkového dusíku je nedostatek pro řádné kompostování. Pro ještě lepší výsledek mohl být přidán dusík.

Tento materiál byl, dle slov majitele, dále kompostován ve vermikompostéru a ve vzorku č. 12 je opravdu velice málo mikroorganismů, avšak i zde chybí dostatek dusíku a poměr amoniakálního kationtu a dusičnanového aniontu je opačný. Vzorek byl odebrán necelé tři měsíce po založení, a samotné kompostování probíhalo ve třech zimních měsících a mělo by tedy probíhat déle, samotné snížení bakterií mohlo způsobit i naředění substrátu. Poměry zakládky mi bohužel sděleny nebyly. Zde hraje roli zda se jedná o příměsi z hlediska lepší skladby kompostu nebo ředění materiálu.

Pro porovnání byly analyzovány i komposty bez obsahu exkrementů. První vzorek č. 13 byl zakoupen jako vermikompost od certifikovaného výrobce v roce 2016, zde nelze úplně vyloučit přimíchání kalu, ale měl by být již nezávadný. Termotolerantních bakterií obsahoval málo, avšak obsahem intestinálních enterokoků se nelišil od ostatních.

Vzorky č. 14 i č. 15 měly vyšší obsah termotolerantních koliformních bakterií, jedná se opět o komposty bez obsahu exkrementů. Zajímavostí je, že nestabilizovaný (podle kationtů a aniontů dusíku a s malým obsahem celkového dusíku) kompost č. 15 měl velmi podobné počty KTJ bakterií se vzorkem č. 10 (výkaly před sekundárním kompostováním).



Obrázek 31: Místo odběru vzorku č. 10, nádoba, ze které byl odebraný vzorek a zásypový materiál (piliny a dřevěné uhlí)

Poslední tři vzorky jsem se rozhodl analyzovat z důvodu, zda náhodou sledované mikroorganismy se nenachází přirozeně v kompostu a při rozborech bychom se měli více zaměřit na mikroorganismy, které jsou patogenní. Domnívám se, že větší důraz by měl být kladen na celkovou stabilizaci kompostu, která by měla zaručit, že nedojde k nebezpečné gradaci bakterií v substrátu. Hlavní parametr přenosu nemocí je dávka a domnívám se, že vlivem zvýšené teploty mohou počty bakterií klesnout, ale v nestabilním substrátu se mohou opět výrazně namnožit.

4.1.3 Porovnání jednotlivých typů záchodů

Měl jsem možnost si prohlédnout a odebrat vzorky z těchto typů záchodů

- Jáma nad kterou bylo separační zařízení
- Domácí výroba sběrné nádoby (Obrázek 31)
- Ekoster od Ekony
- Populett od Biolanu
- Separett

U Separettu se vlivem intenzivního odtahu vzduchu nuceným odvětráváním nemusí používat zásypový materiál, ale sběrná nádoba je nejmenší ze všech sledovaných, frekvence vynášení je nejčastější, u tříčlenné rodiny jednou týdně. V případě potřeby zvýšené hygieny lze i vynášet denně a na noc poté vypnout odvětrávání.

Ekoster má velký objem, při plnění je vhodné již řešit obsah zakládky, aby se rozběhlo správně kompostování, zmenšil se objem a záchod nezapáchal. Je vhodné vložit nad sběrnou nádobu separační toaletu. Vzhledem k velikosti bude vyprázdnění tohoto záchodu nejpracnější, avšak umožňuje odebírat jen ½ polovinu nejzralejšího

obsahu. Na jedné toaletě byl Ekoster přeplněn, nebyl použit společně se separační toaletou a vzniklý substrát byl značně zavodněn. Na druhé se proces kompostování teprve rozbíhal.

Populett je jednoduchá sběrná nádoba se separací, má samočinné odvětrávání, kde je nutné použít zásypový materiál, je vhodné řešit již skladbu zakládky kompostu. Objem 200 l se opět plní delší dobu. Je vhodné mít dvě toalety, aby se mohl kompost stabilizovat před manipulací.

Jáma v zemi je nejlevnější řešení, avšak se nehodí všude vzhledem k možným průsakům. Složitější také bude vybírání vzniklého substrátu. Je i možné, že tento typ záchodu se jen zahrabe a nebude se obsah likvidovat, proto vhodné opět řešit zakládku,



Obrázek 32: Separální latrina a pod ní jáma, dva roky v provozu, zatím nevybírané; poslední fotka znázorňuje odběr vzorku

v tomto vzorku chyběl dostatek fosforu i dusíku a poměr C:N byl také moc vysoký pro správné kompostování.

Sledované toalety bych rozdělil na dvě skupiny, a to na první, ve které kompostování neprobíhá – Separett, výkaly se zmenší jen vlivem vysušení. Ve druhé skupině, do které patří ostatní sledované toalety, se proces kompostování rozběhne. Výhodou je zmenšení objemu vzniklého substrátu, možná stabilizace před manipulací a několika měsíční frekvence vyprazdňování. Nevýhodou je horší obstarávání kompostu a nemožnosti kompost přehazovat až do doby vyjmutí obsahu. Proto by bylo dobré řešit zakládku z hlediska vhodné skladby nutrientů i dostatkem porézního materiálu. Zvýšené množství porézního materiálu umístit na dno, aby i zde byl dostatek vzduchu a nezačalo v nádobě anaerobní hnití. Pro tyto možnosti mají nádoby výpusti, avšak výluh je nutné také zkompostovat, respektive s ním v příznivý čas zvlhčit kompost. Všechny sledované záchody neprodukují nezávadný kompost. Je nutné jejich obsah vložit na sekundární kompost, kde se bude substrát stabilizovat a kompostovat dostatečně dlouhou dobu.

5 Diskuze

Současné nakládání s odpadními vodami má negativní dopady na přírodu, hlavně v povodí řek a okolo ústí řek do moří (Johansson & Lennartsson, 1999). Tyto ekosystémy jsou nyní zatěžovány přísunem živin a mikropolutantů.

5.1 Mikropolutanty a organika v půdě

Mikropolutanty se dostávají do kanalizační sítě většinou od menších provozoven, u kterých není zákonem požadovaná vlastní ČOV (Zimová, in verb.). Dále se budou dostávat do výkalů i mikropolutanty ze spotřební chemie (Jarolímová, 2019). Tyto mikropolutanty kontaminují většinu exkrementů, které by mohly být jinak použitelné k obohacení organické hmoty na polích. Proto se ve Švýcarsku kaly z ČOV pálí, v Německu mohou na zemědělský půdní fond jen z ČOV, na kterou je napojeno do 100 000 EO, a od roku 2032 jen 50 000 EO (Jarolímová, 2019). Na druhou stranu nám na polích chybí organická hmota, která zadržuje vodu a snižuje vodní i větrnou erozi. Domnívám se, že čím bude větší diverzifikace nakládání s výkaly, ne odpadními vodami, tím se budou ekosystémy lépe vyrovnávat s negativními dopady. Preferuji tedy více možností, jak nakládat s odpady a domnívám se, že i legislativa by měla diverzifikaci zpracování exkrementů podporovat.

5.2 Sociální aspekt

Zároveň je zde i důležitá psychologická úroveň. Domnívám se, že by legislativa i její úřední zmocněnci neměli bránit jednotlivcům jejich snahy ke zmírnění svého dopadu na životní prostředí, ačkoliv se zdá, že jedinec nemůže toho moc změnit. Jsem opačného názoru, že každý má začít u sebe, a postupně jeho zaseté semínko, pokud ho provádí správně, inspiruje přátele.

5.3 Uritonnoir

Systém Uritonnoir využívá principu suchého záchodu a je již nyní v několika velkých městech, včetně Paříže, kde může velmi pozitivně řešit zápach z rohů a dalších veřejných míst, která jsou využívána pro malou potřebu mužů. Osobně vidím nevýhodu v pravidelném obstarávání záchodu, kdy může lidský faktor selhat, na druhou stranu i konvenční veřejné záchody potřebují každodenní péči. Potřeba vyměnit náplň tohoto zařízení vede k tomu, že lze toto decentralizované zařízení umístit přesně tam, kde je nejvíce potřeba, bez zvýšených nákladů na dodatečnou infrastrukturu.

Uritonnoir šetří pitnou vodu a napomáhá navrátit živiny do půdy. Z lidských výměšků je moč, z hlediska hygienizace, dle mého názoru, bezproblémová (v tomto případě stačí pro hygienizaci čas a před použitím naředit). Tento systém by mohl dobře navracet organickou hmotu do půdy. Přibližné obohacení dusíkem: Balík slámy váží 350 kg (do 1 t se vejde přibližně 2,86 balíků). Do jednoho balíků lze podle výrobce instalovat 6 pisoárů, do každého lze vykonat potřebu 60krát denně po dobu maximálně tří dní, celkem tedy lze do tuny slámy vykonat 3089 potřeb. Dle údajů člověk vyprodukuje za den 1,0 - 2,5 l moči a 7,6-7,9 g N (Schouw, et al., 2002) a začne se mu chtít

na záchod, když má v močovém měchýři okolo 250 ml (zdravcentra.cz, 2008). Při průměrném objemu 1,75 l bude člověk vykonávat potřebu přibližně 7krát, to je tedy 1,1 g N na jednu malou potřebu (=dávka moči). Celkem tedy 1 t slámy je obohacena o 3 420 g N. Poměr C:N se tedy zmenší na 45,8. Očekávám, že se do kompostu přidá hmota bohatá na N. Při aplikaci sledovat celý proces kompostování, jaký je poměr živin a podle toho nastavit kompostování.

Možný problém vidím, že ve městech se bude využívat hlavně v noci a na festivalech, a domnívám se proto, že zde bude větší výskyt degradačních produktů z drog a farmak. Především na některých místech a z mimořádných akcí, které by se mohly předem vytipovat a následně analyzovat výsledný produkt a vyhnout se tak znehodnocení ostatního kompostu. V této souvislosti mě napadá, že by se dalo sledovat i používání návykových látek podle výsledků z různých míst „pisoárů“, ale toto by mohlo vést k vyhýbání se pisoárům, data by proto měla být značně anonymizována, či nepoužívána. Rozbory by měly sloužit jen pro posouzení kvality vzniklého kompostu, protože přínos tohoto decentralizovaného způsobu zacházení s močí převyšuje, podle mého názoru, krátkodobou efektivností tohoto opatření a následně by způsobilo jen vyhýbání se Uritonnoiru. Zároveň lze očekávat, že o Uritonnoir budou mít zájem vynovači zdravého životního stylu a se zájmem o environmentalismus a bude vznikat vysoce kvalitní hnojivo.

5.4 Kompostovací toaleta a legislativa

Zařazení kompostovacích záchodů do správné sekce dle zákona je z mého pohledu značně nejednoznačné a zákon by si zasloužil úpravu v tomto ohledu, proto tyto informace uvádím až v diskusi.

Podle zákona o odpadech 185/2001 Sb., by mohly kompostovací toalety spadat pod pojem biologicky rozložitelný odpad, podle § 33a odstavce a). Biologicky rozložitelný odpad zákon definuje jako jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Poté bude substrát spadat v zákoně o odpadech mezi vybrané odpady, na které se vztahují povinnosti původců odpadů, podle § 25 odstavce d) kaly z ČOV a další biologicky rozložitelný odpad. Vyplývá z toho povinnost podle § 33 stejného zákona, že je možné užívat na půdě jen upravený kal, tak aby se nezhoršila kvalita půdy, povrchové i spodní vody. Dále jsou upravené podmínky použití podle § 33 odstavce 3 je zakázáno upravený kal používat zcela na zemědělských plochách v chráněných územích, lesních půdách, kde se klasicky pěstuje les, v ochranných pásmech vod, záplavovém území. Dále se nemůže upravený kal používat v intenzivních sadech, na trvale travnatém porostu ve vegetačním období a na pozemcích, kde se pěstuje polní zelenina (ECO trend Research centre s.r.o., 2015).

Podle § 32 zákona o odpadech klasifikují vzniklý substrát jako kal ze septiků a jiných podobných zařízení, či upraveným kalem, který byl podroben biologické, tepelné úpravě a dlouhému skladování, respektive byl dostatečnou dobu kompostován. Domnívám se, že podle § 33 odstavce 3 písmeno k) by bylo vhodné před aplikací

zjistit, zda upravený kal splňuje normu pro aplikaci upraveného kalu na zemědělskou půdu.

Zákon o odpadech stanovuje podle § 33 odstavec 4 písmeno h), že Ministerstvo zemědělství a zdravotnictví stanoví vyhláškou technické požadavky na úpravu kalů a požadavky na ověření účinnosti technologie úpravy kalů. V této souvislosti, z mého pohledu, chybí vyhláška upravující nakládání s kompostem z toalet. Z hlediska objemu zpracování není nutné zařízení schvalovat.

Zároveň podle podstaty vzniku této suroviny a podobného rizika je nejbližší právě termínu odpadní vody (Zimová, 2020), avšak vzniklá surovina není smíchávána s vodou, při separaci moči by neměl vznikat ani výluh. Proto si myslím, že při separaci moči nemůžeme exkrementy brát jako odpadní vodu podle zákona o odpadech § 2 odstavce 1) a písmene a) a posuzovat surovinu jako odpadní vodu. Domnívám se, že normální fekální vůz nebude schopný kvůli konzistenci materiál nasát a klasická ČOV bude schopna tento materiál zpracovat, a pokud ano, tak jen v případě jeho předchozího naředění vodou, které by bylo v tomto ohledu značně nelogické.

Sběrná nádoba na pevné výkaly může být označována, podle posouzení Státního zdravotního ústavu viz příloha 1, za septik či žumpu a vzniklý substrát za kal ze septiků a žump pod katalogovým číslem 20 03 04 (Zimová, 2020).

Pokud jsou kompostovací záchody označeny tímto způsobem, bereme vzniklý substrát jako druh odpadu pod katalogovým číslem 20 03 04 Kal ze septiků a žump a můžeme vzniklý produkt nechat odborně zpracovat. Domnívám se, že by bylo nejlepší využít služeb kompostárny, která může tento druh odpadu podle zákona o odpadech kompostovat. Otázkou je, které kompostárny přijímají kal, protože i přes naplnění hygienických požadavků, například na čistírenský kal, je neochota kal přijmout na kompostárně (Wanner, 2019). Dle telefonní komunikace s Jiřím Kalendou, z kompostárny v Líšnici, berou jen již hygienizovaný čistírenský kal. Oproti tomu, podle telefonického rozhovoru s paní Adriánou Borovičkovou, z kompostárny Hořátek s.r.o., by například její kompostárna substrát z kompostovací toalety přijala.

Avšak některé kompostárny nemusí chtít exkrementy přijmout, protože výsledný kompost nemůže nést certifikát evropské shody „CE“, ať pro tuhé organické hnojivo či organickou pomocnou látku, protože obsahuje exkrementy (Houček, 2016). Tento certifikát ztrákněje výsledný substrát při prodeji v zahraničí a udává, že má požadovanou kvalitu. Ačkoli na základě novely vyhlášky 341/2008 Sb. mohou již kompostárny kal přijímat a hodnotí se účinnost hygienizace na výsledném kompostu dle přílohy č. 5 vyhlášky 341/2008 Sb. a tabulky č. 5.4 (Obrázek 18), mírnější využití může mít rekultivační kompost podle tabulky č. 5.3.

Domnívám se, že likvidování v kompostárně má smysl hlavně pro větší subjekty, které potřebují doložit, že s tímto odpadem bylo správně naloženo – lesní mateřské školky, národní parky, kempy atd. Domnívám se, že důsledná hygienizace je důležitá hlavně u toalet, kde se střídá větší množství osob z různých míst, kde by

mohlo dojít k šíření nemocí. Je pravděpodobné, že při centrálním zpracování exkrementů může být snadněji kontrolovaná kvalita výstupů i celého procesu (World Health Organization, 2006). Avšak z hlediska nákladů na přepravu a spotřeby surovin i času by bylo vhodné preferovat zpracování v místě vzniku, a stanovit podmínky k tomuto naložení s exkrementy, které bude vycházet ze zkušeností z kompostáren. Jako je správné nastavení postupu, dodržení správné zakládky kompostu, která obsahuje do 30 % kalu a poté následné přidání do další zakládky pro správné kompostování (Jarolímová, 2019).

Podle textu metodiky k povolení suchých kompostovacích záchodů v Austrálii je povoleno mít kompostovací záchody i v oblastech, kde je možnost se připojit na kanalizační řád, protože se jedná o předcházení vzniku odpadu a šetření vodou a vzniklý substrát je možné za uvedených podmínek kompostovat lokálně (Environment Protection Authority Victoria, AU, 2016). Pokud zařadíme vzniklý substrát pod katalogové číslo 20 03 04, bude spadat pod komunální odpady, a řídit se budeme zákonem o odpadech. V zákoně o odpadech se uvádí hierarchické zacházení s odpady, kdy jako první je § 9a odstavce 1) písmene a) uvedeno předcházení vzniku odpadu. Použitím kompostovacího záchodu nám odpadá nutnost nakládání s vodou, která by byla kontaminovaná lidskými výkaly. Proto bych suché záchody označil jako opatření v zákonech o odpadech 185/2001 Sb. podle § 4 odst. 2 písmene f), kdy došlo k omezení množství odpadu (každé spláchnutí exkrementů zvětší objem o 9 litrů (Pražské vodovody a kanalizace, a.s., 2018)).

Dle předběžných výsledků z praktické části této práce, která byla sice opravdu jen orientační, vidím trend, že mikrobiální patogenní organismy se zde nepřemnožují, jako v případě čistírenského kalu. V případě sociálních zařízení (lesní školky, školy, tábory) by mělo být více řešeno umístění toalety i kompostu a možnosti aplikovat vzniklý humus mimo zahrady zařízení.

Bohužel jsem nenašel dostatek vzorků již vzniklých kompostů, protože většina osob, které se mi podařilo kontaktovat, měla výsledný kompost již využít na půdě. Vzhledem k typu záchodů se domnívám, že bývá kompost předčasně aplikován na půdu bez stabilizace a dostatečného zdržení. Dle dostupných informací předpokládám, že v těchto místech nebude probíhat kompostování déle než rok. Domnívám se, že příčinou mohou být nedostatečné informace o nakládání s kompostem a výkaly v češtině.

Z mého pohledu by stálo za to prozkoumat, zda je možné exkrementy na sekundárním kompostu dostatečně stabilizovat, aby nehrozilo přemnožení patogenů, a patogenní organismy by časem vymřely (Strauch, 1991) či se redukovali (World Health Organization, 2006). Z mého pohledu je nejdůležitější stabilizace kompostu. Z předběžných rozborů v každé části procesu bylo množství mikroorganismů relativně nízké a oscillovalo kolem hodnoty 10^3 KTJ*g⁻¹. Čím nižší budou počty patogenních organismů na počátku kompostování, tím je čas jejich vymizení kratší (Strauch, 1991). V USA jsou nyní schopni zkompostovat celá lidská těla, jako alternativa ke spalování nebožtíků, a to dokonce do půl roku. Proč bychom my nebyli schopni zkompostovat

tedy jen exkrementy, a to třeba i s trváním 3 – 5 let? Na první pohled se může zdát 5 let opravdu hodně, avšak samotné množství zkompostovaných exkrementů je dle mých zkušeností velmi malé, je uváděno, že je jen na 10 % původního objemu (West, 2001), tudíž nároky na prostor jsou velmi malé. Výhodné může být v našich podmínkách i aplikovat vzniklý kompost v období zimy, přeživší patogenní organismy by mohly vymrznout, frekvence osob pohybující se venku je také menší.

Myslím, že bychom se mohli inspirovat u států, kde experimenty i cesty do zahraničí podnikly. Například v Austrálii Sarah West, pracující pro EPA Victoria, podnikla cesty do Evropy s cílem posoudit kompostovací záchody. Na základě zkušeností vyhodnotili délku kompostování 3 – 5 let. Ve Vietnamu dokázali, že je možné usmrtit všechna vajíčka *Ascaris* a snížit obsah indikačních virů o sedm řádů během šesti měsíců (při průměrné teplotě okolí 31-37 °C, pH substrátu 8,5–10,3 a vlhkosti substrátu 24-55 %) (Carlander & Westrell, 1999; Chien et al., 2001 in World Health Organization, 2006), při okolní teplotě okolo 20 °C je nutné pro usmrcení vajíček *Ascaris* delší čas (Phi et al., 2001 in World Health Organization, 2006), avšak redukce indikačních virů v chladnějších podmínkách v Číně byla stejně účinná (Wang, 1999; Lan et al., 2001 in World Health Organization, 2006). Na základě výzkumů byla stanovena doba v podnebních podmínkách s teplotou 2-20 °C na uskladnění suchých exkrementů 1,5 - 2 roky (World Health Organization, 2006). Bylo by vhodné vyzkoumat, jak by se změnila mikrobiální aktivita a stabilizace substrátu u vzorku č. 10, pokud by byly suché exkrementy (Obrázek 31) skladovány dva roky.

Z mého pohledu kompostovací záchody jsou nejvíce přiblíženy původnímu, primitivnímu, nakládání s exkrementy, které umožňují uzavřený koloběh živin. Zde vyvstávají nové výzvy, které je potřeba u kompostovacích záchodů řešit – jako první vidím zvolit si odzkoušený systém, který má jasně dané provozní podmínky, které je nutné dodržovat. Tento problém je, myslím, celkem vyřešen dostupnými řešeními. Toalety hlavně řeší počáteční sběr s nastartováním kompostování, a snižují riziko zápa- chu i přenosu patogenů. Nutné si uvědomit, že v toaletě není vyvážená skladba „živin“ pro správný průběh kompostování. Výrobci skladbu kompostu podrobně neřeší, avšak pro správné kompostování a vyžrání kompostu je nejdůležitější. Důvodem může být složitost procesu i velmi rozdílné okolní podmínky ke kompostování napříč konti- nenty, které by měly být modifikovány (World Health Organization, 2006). Domní- vám se, že při následném zpracování exkrementů na sekundárním kompostu je nutné upravit skladbu, aby bylo možné substrát využít s velmi nízkým rizikem. Dobře zalo- žený kompost by se měl sledovat dostatečně dlouhou dobu, měl by mít dostatek pro- vzdušněných pórů i vzduchu (docílíme přehazováním a vhodně přidaným materiálem), správnou vlhkost (přikryté, ve stínu a v případě potřeby zalévat) a správnou teplotu (nutné sledovat). Minimální ošetření teplotou nad 50 °C je uváděno po dobu delší než jeden týden (World Health Organization, 2006), avšak nemusí být ošetřen celý substrát (Vinnerås, 2007), proto bychom měli vždy aplikovat průnik několika ověřených metod a systém posuzovat komplexně od vzniku exkrementů po využití vzniklé komposto- vací zeminy. Vzniklý kompost je možné aplikovat na neprodukční části pozemku, mimo zdrojů pitné vody.

Existují zde rizika přenosu bakteriálních onemocnění, salmonel či helmintů, například škrkavčí vajíčka přežijí v půdě měsíce, jiných helmintů roky. Největší riziko je spojováno s nedostatečně ošetřeným kompostem, následnou aplikací na produkční plochy a konzumací nezpracované zeleniny – salátů, cibule, kořenové zeleniny (World Health Organization, 2006). Dále může být z hlediska kompostování exkrementů zajímavé téma rezistence bakterií vůči antibiotikům v kompostech. Myslím, že i na toto téma by bylo zajímavé prozkoumat kompostovací záchody. Domnívám se, že z předběžných výsledků z praktické části této práce nedochází k masivnímu přemnožení bakterií, tudíž přenos rezistence nemusí probíhat tak masivně. Zadržím celkové množství bakterií, od všech možných původců, se nepotká v jednom zařízení. Zatřetí v lokálních kompostovacích záchodech nebudou antibiotika dodávána nepřetržitě do kompostovacího substrátu, například moje rodina neměla antibiotika po dobu 15 let. Tudíž se sníží kontakt antibiotik s bakteriemi při lokálním zacházení s odpady, oproti tomu například v kompostárně bude zpracování již centrální, navíc zde mohou být antibiotika podávána hospodářským zvířatům.

Při přenosu chorob v rámci rodinné komunity často dochází dříve, než by tato situace mohla nastat prostřednictvím výkalů. Většinou s rodinou společně jíme, atd. Tudíž předpokládám, že pravděpodobnost přenosu v rámci rodiny je menší než například v rámci vícečetné komunity, kde by měla být pravidla nakládání s exkrementy přísnější.

Velice kontroverzní může být srovnání MO v zažívacím traktu u domorodců v Africe a u nás a s tím související civilizační choroby. Honbou za sterilitou, požíváme mnohem větší jedy atd. než by mohl být sám patogen, popřípadě mohou výkaly naši mikrobiotu obohatit - transplantace exkrementů. Zároveň rozmach Říma možná souvisel i s výstavbou kanalizace, proto je nutné všechna pro a proti zvážit, aby se zabránilo rozvoji chorob, které jsou nyní vymýceny. S tímto systémem nakládání s exkrementy bude důležitá důsledná péče a i základní povědomí o procesu a rizicích, které z toho plynou.

5.5 Analýza vzorků

Domnívám se, že indikační organismy, které se používají pro přítomnost fekálního znečištění, nemusejí být vhodné mikroorganismy, podobně jako tomu je u pitné vody (Baudišová, 2017). Stejně bakterie jsem objevil i u kompostu bez exkrementů. Myslím si, že v půdě žije velké množství různých bakterií, které jsou prospěšné i z hlediska rozpadu organické hmoty a mohou nám dávat falešné pozitivní výsledky, tento problém by měl být z mého pohledu dále zkoumán. Domnívám se, že namísto termotolerantních koliformních bakterií jsem měl analyzovat počet kolonií tvořící jednotek bakterie *Escherichia coli* (Baudišová, 2017; World Health Organization, 2006).

Vyšší mikrobiální aktivita u výsledných vzorků mohla být způsobena i vyšším poměrem C:N, který mohl být zapříčiněn přílišným používáním zásypového materiálu. Vzhledem k vyššímu poměru by mohlo pomoci i společně s exkrementy kompostovat odpad z kuchyně (World Health Organization, 2006).

U čistírenského kalu je známá gradace bakterií (Strauch, 1991). Domnívám se, podle předběžných výsledků této práce, že, vlivem přidávání materiálů bohatých na uhlík a menšího zamokření substrátu, v kompostu z výkalů nedochází k významné gradaci bakterií. Domnívám se, že při rozbořech pilotních vzorků jsem měl klást větší důraz na rozbor úrovně stabilizace kompostu, která je neméně důležitá. Dále jsem vůbec neanalyzoval výskyt parazitů (prvoků a helmintů), které jsou velmi časté například v Africe (Strauch, 1991), ale vlivem změny klimatu se může jejich výskyt do budoucna zvyšovat i u nás. Parazité mají nejdelší dobu přežití, ve formě vajíček, která setrvávají v půdě až 14 let (Strauch, 1991; World Health Organization, 2006).

6 Závěr a přínos práce

Z praktické části této práce lze vysledovat, že v substrátu, který vzniká po celou dobu skladování i kompostování, osciluje obsah bakterií těsně kolem mezních hodnot mikrobiálního znečištění upraveného čistírenského kalu podle příloh č. 3 a č. 4 vyhlášky 437/2016 Sb, který je možný aplikovat na zemědělskou půdu. Domnívám se, že by bylo vhodné upravit zakládku kompostu, dostatečně dlouho kompost a substrát tím stabilizovat, a v podstatě hygienizovat časem. Výsledný substrát aplikovat na okrasné rostliny, aby se minimalizovalo riziko přenosu chorob.

Tento systém by měl být, podle mého názoru podporován, aby se minimalizovalo plýtvání vodou i živinami. Zároveň postrádám v České republice metodiku, jak s kompostováním výkalů postupovat. Problém ve zpracování výkalů kompostováním shledávám v nevhodné zakládce kompostu, z tohoto důvodu neprobíhá kompostování intenzivně a tím je i hygienizace pomalá.

U kompostovacích záchodů, navštěvovaných větším počtem vzájemně nepříbuzných osob, například v národních parcích, školních zařízeních, kempech atd., bych z hlediska zvýšeného rizika přenosu chorob navrhol likvidaci vzniklého substrátu na specializované kompostárně, která zajistí odbornou hygienizaci.

Ideální zpracování vzniklého kompostu vidím na kompostárně, která přijímá odpad pod katalogovým číslem 20 03 04 kal ze septiků a žump, protože tímto způsobem by měla být hygienizace provedena. Upřímně sděluji, že jsem neměl možnost prostor kompostárny navštívit osobně a zhodnotit, zda vše probíhá takto ideálním způsobem. Zároveň jsem přesvědčen, že z hlediska přenosu rezistence vůči antibiotikům a i zvýšené množství druhů patogenních organismů, by bylo vhodné tento materiál ukládat na lokální a menší kompostárny, než podporovat soustředěné velké kompostárny, kde se smíchá odpad od velkého počtu osob. Popřípadě přísnější pravidla pro kompostování v místě vzniku odpadu, a i pravidla pro využití vzniklého substrátu na neprodukčních pozemcích.

Moč je ideální separovat a dle teoretické části této práce skladovat 6 měsíců a poté ji jako nejhodnotnější část lidských výkalů naředit a použít jako hnojivo. Obsah těžkých kovů v pevných exkrementech je nízký, protože z podstaty věci naše výkaly neobsahují velké množství těžkých kovů a pokud tento zdroj organické hmoty separujeme hned při vstupu do prostředí, nestačí se kontaminovat a tato organická hmota může být dále využita.

Můj přístup je, aby člověk vzal za svoje působení na zemi zodpovědnost, a neutvářel domněnku, že za něj vše vyřeší vědci, či jiní. Stejně jako v principu fungování naší společnosti cítíme potřebu a uvědomujeme si, že by bylo vhodné naše hospodářství přetransformovat od lineárního zacházení se zdroji k cirkulárnímu. Jsem přesvědčen, že bychom si tento přístup měli osvojit i s nakládáním s tímto zdrojem, kterým jsou živiny v půdě a voda.

7 Seznam literatury a použitých zdrojů

Aasen, R., 2004. *Ecolabel testing of the self contained toilet MullToa 60*. As(Sweden): Jordforsk - Norwegian Centre for Soil and Environmental Research.

Agro CS a. s., 2019. *Agro*. [Online]
Available at: <https://www.agro.cz/cs/produkty/hnojiva/kapalna-hnojiva/>

AION CS, s.r.o., nedatováno www.zakonyprolidi.cz. [Online].

Alca plast, s.r.o., nedatováno www.alcaplast.cz. [Online]
Available at: <https://www.alcaplast.cz/vyrobky/ventily/wc-plastove-nadrzky/a93-1-2-detail>

Anand, C. A. D., 2010. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets. *Journal of Environmental Management*, p. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.08.005>.

Anand, C. K. & Apul, D. S., 2014. Composting toilets as a sustainable alternative to urban sanitation - A review. *Waste Management*, Issue 34, pp. 329-343.

Anon., nedatováno *185/2001 Sb. Zákon o odpadech*. [Online]
Available at: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2008-341>

Anon., nedatováno *341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady*. [Online].

Aquatron International AB, nedatováno www.aquatron.se. [Online].

AVLOPPSCENTER, nedatováno www.avloppscenter.se. [Online]
Available at: <https://www.avloppscenter.se/en/our-products/dry-composting-toilets/water-flush-composting-toilet/mulltoa-bioflush.html>
[Přístup získán 2020].

Baudišová, H., 2017. *MIKROBIOLOGICKÝ ROZBOR PODLE NOVELY VYHLÁŠKY O PITNÉ VODĚ*, Praha: Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka, v.v.i..

Beffa, T. a další, 1995. *Taxonomic and metabolic microbial diversity during composting*. Glasgow: Blackies Academic and Professional.

Biolan Oy, 2012. *Biolan Icelett, Instructions for installation, use and maintenance*. [Online]
Available at: https://www.biolan.com/media/ohjeet-ja-esitteet/en/5700_icelett_kayttoohje_en.pdf

Biolan Oy, 2015. [Online]
Available at: https://www.biolan.com/media/ohjeet-ja-esitteet/erotteleva_kaikki_kielet_lr.pdf

Biolan Oy, 2020a. *Kompostovací záchod Biolan Eco - Návod k obsluze*. [Online]

Available at: https://www.biolan.com/media/ohjeet-ja-esitteet/kompostikaymala_12_low.pdf

Biolan Oy, 2020b. *biolan.com*. [Online]
Available at: <https://www.biolan.com/products/biolan-compost-and-dry-toilet-bulking-material.html>

Braguglia, C. M., Gallipoli, A., Gianico, A. & Pagliaccia, P., 2018. *Anaerobic bioconversion of food waste into energy: A critical review*. [Online]
Available at: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.06.145>

Breitburg, D. a další, 2018. Declining oxygen in the global ocean and coastal waters. *Science*, 5 January.359(6371).

Crites, R. & Tchobanglous, G. in Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999. <https://www.epa.gov>. [Online]
Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/comp.pdf>

Český statistický úřad, 2019a. *czso.cz*. [Online]
Available at: https://www.czso.cz/csu/czso/obyvatelstvo_lide

Český statistický úřad, 2019b. *czso.cz*. [Online]
Available at: <https://www.czso.cz/csu/czso/soupis-hospodarskych-zvirat-k-1-4-2019>
[Přístup získán 2020].

Český statistický úřad, 2019c. *czso.cz*. [Online]
Available at: <https://www.czso.cz/documents/10180/91605333/2800211912.pdf/9bd91880-89b3-453b-a811-65e4aaedf264?version=1.1>

DeOreo, W. M. P. D. B. K. J., 2016. *RESIDENTIAL END USES OF WATER, VERSION 2: EXECUTIVE REPORT*. [Online]
Available at: https://www.circleofblue.org/wp-content/uploads/2016/04/WRF_REU2016.pdf
[Přístup získán 11 listopad 2019].

ECO trend Research centre s.r.o., 2015. *Optimalizace nakládání s kaly z komunálních ČOV*. [Online].

Ecodomeo, 2020. *Ecodomeo.com*, Marseille: autor neznámý

Ekona, spol. s r. o., 2020. *www.ekona.cz*. [Online]
Available at: ekona.cz/laik-kompostovaci-toaleta-ekoster/item/206-kompostovaci-toaleta-ekoster-t

Ekona, spol. s.r.o., 2014. *Návod k obsluze - kompostovací toaleta EkoSter*. Liberec: autor neznámý

Environment Protection Authority Victoria, AU, 2016. *Code of practice - onsite wastewater management*, Cariton: Environment Protection Authority Victoria.

Hassen, A., Belguith, K., Jedidi, N. & Cherif, A., 2002. *Microbial characterization during composting of municipal solid waste*. místo neznámé:Elsevier.

Hill, G., 2014. *How Remote Toilets Work (or Fail to Work) and What They Should Really be Doing*. [Online] Available at: <https://youtu.be/avm6d7J7Cuo>

Hill, G., 2020. *Toilet tech solutions*. [Online] Available at: toilettech.com

Hill, G. B., Baldwin, S. A. & Vinnerås, B., 2013. Composting toilets a misnomer: Excessive ammonia from urine inhibits microbial activity yet is insufficient in sanitizing the end-product. *Journal of Environmental Management*, 15 března, Svazek 119, pp. 29-35.

Hill, G., nedatováno. *Toilet Tech Solution*. [Online] Available at: <https://www.toilettech.com> [Přístup získán 2020].

Hlušek, J., 2004. http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/vyziva_rostlin/html/hnojiva/slama.htm. [Online] [Přístup získán 2020].

Houček, J., 2016. *Základní principy návrhu nového nařízení o hnojivých výrobcích*. [Online] Available at: http://eagri.cz/public/web/file/466231/Houcek_Nove_narizeni_ES_5_2016.pdf

Hubálek, M. T., 2007. www.odpady-online.cz. [Online] Available at: <https://www.odpady-online.cz/kompostovani-kalu-z-cov-a-vyuziti-kompostu-pro-bioremediace/>

Islam, M. a další, 2004. Persistence of *Salmonella enterica* Serovar Typhimurium on Lettuce and Parsley and in Soils on Which They Were Grown in Fields Treated with Contaminated Manure Composts or Irrigation Water.. *Foodborne Pathogens and Disease*, 6 červen, 1(1).

Jakubowicz, I. & Ekendahl, S., 2005. *Report: Test of the bactericidal effect of UV light unit for the Aquatron biological toilet system*, Borås: SP Swedish National Testing and Research Institute.

Jarolímová, V., 2019. *Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady - Kaly z ČOV kompostování, aplikace na zemědělskou půdu*. [Online] Available at: https://czbiom.cz/wp-content/uploads/2_Legislativni-pozadavky_Jarolimova.pdf

Jenkins, J. C., 1999. *The Humanure Handbook*. 2. editor místo neznámé: Jenkins, Joseph C..

Johansson, M. & Lennartsson, M., 1999. SUSTAINABLE WASTEWATER TREATMENT FOR SINGLE-FAMILY HOMES.

Jordforsk - , 2005. *Evaluation of the Aquatron Biological Toilet System*, Norsko: Norwegian Centre for Soil and Environmental Research.

Kidd, K. A. a další, 2007. Collapse of a fish population after exposure to a synthetic estrogen. *PNAS*, 22 květen, 104(21), pp. 8897-8901.

L'uritonnaire, nedatováno *uritonnaire.com*. [Online].

Lloyd, A., 2018. *The hot poop on the Cinderella incinerating toilet*. [Online] Available at: <https://www.treehugger.com/bathroom-design/hot-poop-cinderella-incinerating-toilet.html>
[Přístup získán 14 červen 2020].

Miller, T. H. a další, 2019. Biomonitoring of pesticides, pharmaceuticals and illicit drugs in a freshwater invertebrate to estimate toxic or effect pressure. *Environment International*, Svazek 129, pp. 595-606.

Ministerstvo zemědělství, 2019. *eAGRI Půda*. [Online] Available at: <http://eagri.cz/public/web/mze/puda/ochrana-pudy-a-krajiny/degradace-pud/dehumifikace-pudy/>

Morgan, P., 2007. *Toilets That Make Compost*. Stockholm: Stockholm Environment Institute.

Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999. <https://www.epa.gov>. [Online] Available at: <https://www.epa.gov/sites/production/files/2015-06/documents/comp.pdf>
[Přístup získán 29 listopad 2019].

Pražské vodovody a kanalizace, a.s., 2018. www.pvk.cz. [Online] Available at: <https://www.pvk.cz/vse-o-vode/pitna-voda/spotreba-vody/>
[Přístup získán 27 říjen 2019].

Pumann, P., 2014. *Metodické doporučení SZÚ – Národního referenčního centra pro pitnou vodu pro hodnocení v ýsledků ukazatelů počty kolonií při 22 °C a 36 °C v pitné vodě*, Praha: NRC pro pitnou vodu, Státní zdravotní ústav.

Redlinger, T., Graham, J., Corella-Barud, V. & Avitia, R., 2001. Survival of Fecal Coliforms in Dry-Composting Toilets. *Applied and Environmental Microbiology*, září, 67(9), pp. 4036-4040.

Rejšek, K. & Vácha, R., 2018. *Nauka o půdě*. Olomouc: Agriprint, s.r.o..

Richter, R. & Římovský, K., 1996. *Organická hnojiva, jejich výroba a použití*. Praha: Institut výchovy a vzdělávání ministerstva zemědělství České republiky.

Rogers, N., 2019. *insidescience.org*. [Online]
Available at: <https://www.insidescience.org/news/inside-controversial-world-composting-toilets>

Rozkošný, M. a další, 2015. Kvalita kalů a odpadů z domovních a malých ČOV a možnosti jejich využití v zemědělství. *Vodohospodářské technicko-ekonomické informace*, červen, roč. 57(6), pp. 44-49.

Separett AB, 2007. *Návod k obsluze Separett Villa (model 9000, 9010)*. [Online]
Available at: https://www.separett.com/media/1194/10301-12_bruksamvisning_villa.pdf

Separett AB, 2020. *Separett Freeze Model 2000 User manual*. místo neznámé:autor neznámý

Schouw, N., Danteravanich, S., Mosbaek, H. & Tjell, J., 2002. Composition of human excreta - a case study from Southern Thailand. *The Science of the Total Environment*.

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY (EU) 2018/850, 2018. *EUR-Lex*. [Online]
Available at: <http://data.europa.eu/eli/dir/2018/850/oj>
[Přístup získán 27 říjen 2019].

Solomon, E. B., Yaron, S. & Matthews, K. R., 2002. Transmission of *Escherichia coli* 0157:H7 from Contaminated Manure and Irrigation Water to Lettuce Plant Tissue and Its Subsequent Internalization. *Applied and Environmental Microbiology*, Leden, 68(1), pp. 397-400.

Stenstroem, T., Seidu, R., Ekane, N. & Zurbruegg, C., 2011. *Microbial Exposure and Health Assessments in Sanitation Technologies and Systems*. Stockholm: Stockholm Environment Institute.

Strauch, D., 1991. Survival of pathogenic micro-organisms and parasites in excrete, manure and sewage sludge. *Revue scientifique et technique*, 10(3), pp. 813-846.

Swedish Ecology AB, 2018. místo neznámé:autor neznámý

Swedish Ecology AB, 2020a. *International Brochure*. Goteborg(Sweden): autor neznámý

Swedish Ecology AB, 2020b. *MullToa.com*. [Online]
Available at: <http://www.mulltoa.com/bioflush/html/ombioflush.html>

Urban, J. & Šarapatka, B., 2003. *Ekologické zemědělství učebnice pro školy i praxi - I. díl*. 1. editor Praha: Ministerstvo životního prostředí.

Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2012. *Metodický návod pro hnojení plodin*. Brno: Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, Sekce úřední kontroly.

Váňa, J., 2002. *Kompostování odpadů*. místo neznámé: autor neznámý

Váňa, J. & Ust'ak, S., 2007. [Online] Available at: https://www.kompostuj.cz/fileadmin/1_Bioodpad_a_kompostovani/Vime_jak/zrizovani_a_provoz%20malych_kompostaren_isbn978-80-87011-34-8.pdf

Vinnerås, B., 2007. Comparison of composting, storage and urea treatment for sanitising of faecal matter and manure. *Bioresource Technology*, Svazek 98, pp. 3317-3321.

Vládní agentura ochrany přírody na Novém Zélandu, 2019. [Online] Available at: <https://www.doc.govt.nz/nature/pests-and-threats/diseases/toxoplasmosis-and-hectores-and-maui-dolphin/>

Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i., 2018. *www.vumop.cz*. [Online] Available at: <https://www.vumop.cz/line-vypocet-bilance-organicke-hmoty-v-pude>

Wald, C., 2016. *The secret history of ancient toilets*. místo neznámé: Macmillan Publishers.

Wanner, F., 2019. *Nakládání s čistírenskými kaly v České republice*. místo neznámé: SOVAK ČR.

West, S., 2001. *INNOVATIONS FROM SCANDINAVIA: INCREASING THE POTENTIAL FOR REUSE*, Armidale: On-site '01 Conference.

World Health Organization, 1987. *Technology for water supply and sanitation in developing countries*. Geneva: autor neznámý

World Health Organization, 1996. Fact Sheets on Environmental Sanitation. V: místo neznámé: autor neznámý

World Health Organization, 2006. *Guidelines for the safe use of wastewater, excreta and greywater - Volume 4*, Geneva: WHO Press.

Wostman Ecology AB, nedatováno *Wostman.se*. [Online] Available at: <https://www.wostman.se/en/lowflushing-toilets> [Přístup získán 8 únor 2020].

Yong, Z. a další, 2020. Isolation of 2019-nCoV from a Stool Specimen of a Laboratory-Confirmed Case of the Coronavirus Disease 2019 (COVID-19). *China CDC Weekly*, 2(8), pp. 123-124.

zdravcentra.cz, 2008. *Močový měchýř.* [Online]
Available at: <https://www.ulekare.cz/clanek/mocovy-mechyr-1159>
[Přístup získán 2020].

Zimolka, J., 2005. *Pšenice: pěstování, hodnocení a užití zrna.* Praha: Profi Press.

Zimová, M., 2020. *Odborné posouzení zpracování odpadu - kompostování exkrementů z kompostovacích toalet.* Praha: Státní zdravotní ústav, Národní referenční laboratoř hygieny půdy a odpadů.

Zimová, M., in verb.. Státní zdravotní ústav, vedoucí Národního referenčního centra pro hygienu půdy a odpadů.


8 Seznam obrázků

| | |
|--|----|
| Obrázek č. 1: Pobřežní vody, kde je velmi nízký obsah kyslíku znázorněný červenými tečkami, je zde vidět korelaci k obydleným a zároveň vyspělých státům (Breitburg, a další 2018) | 9 |
| Obrázek 2: Hlavní známky jakosti kompostu (Váňa & Ust'ak, 2007) | 13 |
| Obrázek 3: Nejjednodušší kompostovací záchod (Morgen, 2007) | 14 |
| Obrázek č. 4: Záchod s alternativní jámou (Morgan, 2007) | 15 |
| Obrázek 5: Separační toaleta, používající ke splachování vodu, pevné výkaly padají do zásobníku (Wostman Ecology AB, nedatováno) | 15 |
| Obrázek 6: Schéma kompostovacího záchodu se separací moči (Winblad & Simpson-Hébert, 2004 in World Health Organization, 2006) | 16 |
| Obrázek č. 7: Ekoster - kompostovací toaleta od výrobce Ekona (Ekona, spol. s r. o., 2020) | 17 |
| Obrázek č. 8: Fotografie nově zabudovaného záchodu Ekoster (fotografie autor, 2019) | 17 |
| Obrázek 9: Biolan Populett - u záchodu je zvýšená podlaha, uvnitř je separace moči. (fotografie autor, 2019) | 18 |
| Obrázek 10: Záchod značky Separett, vyroben z plastu, má horní odvod vzduchu sloužící k odvětrávání. První obrázek zavřené toalety. Na druhém obrázku je separace moči a na třetím vnitřek záchodu (fotografie autor, 2020)..... | 19 |
| Obrázek 11: Schéma záchodu MullToa (Swedish Ecology AB, 2020b) | 20 |
| Obrázek 12: Princip fungování pisoáru a příklad použití (L'uritonna, nedatováno)..... | 20 |
| Obrázek 13: Pisoár objevující se ve městech po celé Francii - upraveno (L'uritonna, nedatováno)..... | 21 |
| Obrázek 14: Aquatron - schéma, přeloženo a upraveno (Aquatron International AB)..... | 22 |
| Obrázek 15: Schéma separačního záchodu od Toilet Tech Solution (vlevo) (Ecodomeo, 2020)..... | 23 |
| Obrázek 16: Dopravení pevné části výkalů do sběrného vaku (Hill, 2020) .. | 23 |
| Obrázek 17: Technologické požadavky na úpravu bioodpadů z 341/2008 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (AION CS, s.r.o., nedatováno) | 24 |
| Obrázek 18: Z přílohy č. 5 vyhlášky č. 341/2008 Sb. (AION CS, s.r.o., nedatováno)..... | 25 |
| Obrázek č. 19: Příloha č. 4 k vyhlášce č. 437/2016, limity mikrobiální nezávadnosti upraveného kalu (AION CS, s.r.o., nedatováno) | 26 |
| Obrázek č. 20: Mezní hodnoty koncentrací vybraných rizikových látek a prvků v kalech pro jejich použití na zemědělské půdě (ukazatele pro hodnocení kalů), příloha č. 3 k vyhlášce č. 437/2016 Sb. (AION CS, s.r.o., nedatováno) | 26 |
| Obrázek 21: Efekt teploty a času na některé patogeny při kompostování čistírenského kalu (Strauch, 1991)..... | 28 |

| | |
|---|----|
| Obrázek č. 22: Typické patogenní organismy a jejich doba přežití při teplotě od 20°C do 30°C (Crites, R. & Tchobanglous, G. in Municipal Technology Branch, U.S. EPA, 1999; World Health Organization, 2006)..... | 29 |
| Obrázek 23: Vývoj stavu chovu hospodářských zvířat bez drůbeže v ČR, z celkové křivky lze vyčíst, že počet kusů dobytka soustavně klesá (Český statistický úřad, 2019b) | 30 |
| Obrázek 24: Vývoj stavu dobytka v ČR i s drůbeží, která byla z důvodu vyšších počtů kusů (nevhodné měřítko pro ostatní skupiny) v prvním grafu vyřazena. I s drůbeží je trend klesající. (Český statistický úřad, 2019b) | 31 |
| Obrázek 25: Srovnání moči a exkrementů | 33 |
| Obrázek 26: Kompost na komunitní zahradě, 1 m od vodního toku, neodděleno od návštěvníků | 36 |
| Obrázek 27: Popis odběrných míst..... | 36 |
| Obrázek 28: Anorganický rozbor, * optimálně | 37 |
| Obrázek 29: Mikrobiální rozbor vzorků, zvýrazněné hodnoty jsou na hraně s legislativou o použití upraveného kalu na zemědělské půdě; čísla vzorků se stejnou barvou vedle sebe jsou odebrána na stejné lokalitě; popis vzorků, který je zeleně, označuje vzorek, který by měl mít kvalitu upraveného kalu, protože se již jedná o konečný produkt, bílý popis vzorku označuje rozbor z různých fází. | 38 |
| Obrázek 30: Vzorek č. 6 byl odebrán z tohoto kompostu, bohužel kvůli nedostatečné informovanosti jednotlivých členů jsou pokládány nové výkaly na vrchol kompostu a mohlo tedy dojít k sekundární kontaminaci | 40 |
| Obrázek 31: Místo odběru vzorku č. 10, nádoba, ze které byl odebraný vzorek a zásypový materiál (piliny a dřevěné uhlí) | 41 |
| Obrázek 32: Separační latrína a pod ní jáma, dva roky v provozu, zatím nevybírané; poslední fotka znázorňuje odběr vzorku | 42 |

9 Přílohy

9.1 Příloha 1: Odborné posouzení zpracování odpadu z kompostovacích toalet

| | | |
|--|--|--------------|
|  | STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV Národní referenční laboratoř hygieny půdy a odpadů Šrobárova 48 100 42 P r a h a 10 | |
| MUDr. Zdenka Trestrová MZ ČR | VÁŠ DOPIS ZN.: ZE DNE: NAŠE ZN.: SZÚ/ Ex. VYŘIZUJE: MUDr. M. Zimová, CSc., Ing. TEL./FAX.: 267 08 23 03 E-MAIL: pudasekr@szu.cz DATUM: 7.1.2020 | |
| Věc: Odborné posouzení zpracování odpadu – kompostování exkrementů z kompostovacích toalet | | |
| <p>Na základě opakovaných dotazů pro využití tak zvaných „kompostovacích toalet“ a následné zpracování lidských exkrementů v zařízení určených pro vzdělávání dětí a mládeže- lesních školkách, Vám sdělujeme následující:</p> | | |
| <ul style="list-style-type: none">• Lesní mateřské školy jsou místem vzdělávání a pobytu dětí. Dle školského zákona (č. 561/2004 Sb. v platném znění, §29 Bezpečnost a ochrana zdraví ve školách a školských zařízeních) školy a školská zařízení, k nimž lesní mateřské školy patří, zajišťují bezpečnost a ochranu zdraví dětí, žáků a studentů při vzdělávání a s ním přímo souvisejících činnostech.• Tak zvaná „Kompostovací toaleta“ není zařízení pro kompostování ve smyslu zákona o odpadech. Jedná se o sběrnou nádobu, která je po určité době plněna lidskými exkrementy a následně je odstavena po dobu několika měsíců. Procesy probíhající v této nádobě nejsou nijak monitorovány a tento materiál je i dle uvedených metodik, které výrobci uvádí, nutno dále upravovat. Návodů k použití těchto toalet neobsahují žádné doklady o tom, že jimi navržený postup je bezpečný bez možného ohrožení zdraví a životního prostředí. Exkrementy z „kompostovacích toalet“ nejsou kompostem ve smyslu platné ČSN ani zákonem o hnojivech a mělo by se s nimi nakládat ve smyslu zvláštních předpisů.• Odpad z kompostovacích toalet může obsahovat řadu potenciálně patogenních či patogenních mikroorganismů. Výskyt infekčních gastroenteritid či parazitárních onemocnění není v dětské populaci nijak výjimečný. Manipulace s odpadem z tzv. kompostovacích toalet a takzvané kompostování v prostorách lesní mateřské školy je rizikovým z hlediska šíření infekcí.• Dle našich odborných znalostí a zkušeností není možno zpracovávat odpad obsahující pouze lidské exkrementy kompostováním. Sběrná nádoba v tomto případě nahrazuje septik odpadních vod (ČOV). Obsah septiků a žump je obecně odpadní vodou podle § 38 zákona č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů (dále také „vodní zákon“). Tento obsah je vyvážen na čistírnu. Sběrná nádoba v tomto případě nahrazuje septik odpadních vod (ČOV). Jedná se zde o nakládání s odpadními vodami podle vodního zákona, na které se zákon o odpadech | | |
| TELEFONNÍ ČÍSLO ÚSTŘEDNÝ: 267 081 111 FAX: 272 744 354 | BANKOVNÍ SPOJENÍ: 1730101/0710 | IČ: 75010330 |

podle §2 odst. 1 písm. a) nevztahuje. V tomto případě cisterna pouze nahrazuje transportní funkci kanalizačního řadu.

- V případě kalů ze septiků a žump je pro rozhodnutí, zda se tyto kaly považují za odpad kat.číslo 20 03 04 Kaly ze septiků a žump viz Katalog odpadů vyhláška č.93/2016 Sb., či odpadní vodu, je rozhodující, jak je s tímto odpadním materiálem dále nakládáno.
- Je-li odpad je zařazen jako 20 03 04 Kal ze septiků a žump a dále musí využíván, nebo odstraňován, pouze v zařízení určeném a schváleném jako zařízení k nakládání s odpady podle § 14 odst. 2 zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, potom je s ním nakládáno v režimu zákona o odpadech a na původce a všechny oprávněné osoby se vztahují povinnosti stanovené zákonem o odpadech. Kdo je původcem těchto odpadů je zřejmě z definice původce odpadů, která je po novele č. 223/2015 Sb., uvedena v §4 odst. 1 písm. x). Původcem těchto odpadů je právnická osoba nebo fyzická osoba oprávněná k podnikání, při jejichž činnosti vznikají odpady – jedná se tedy o subjekt, který provádí odsátí kalů ze septiku nebo žumpy. Na původce odpadu se logicky vztahují povinnosti původce odpadů dle zákona o odpadech. Nakládání s tímto odpadem je nutné podřídit právní regulaci vztahující se na odpady.
- Odpad z kompostovacích toalet - lidské exkrementy nelze zpracovávat ani v rámci tzv. komunitního kompostování, jehož cílem je předcházení vzniku odpadů. Komunitní kompostování dle §10a zákona o odpadech (č. 185/2001 Sb. v platném znění) umožňuje shromažďování pouze rostlinných zbytků a jejich následné zpracování na zelený kompost.
- Lesní mateřská škola je právnická osoba oprávněná k podnikání a z těchto důvodů musí nakládat s odpady ve smyslu zákona o odpadech č.185/2001 Sb., v platném znění. Současně lesní školka není zařízení pro nakládání s odpady ve smyslu tohoto zákona a také nemůže obsahovat činnosti, které by mohly ohrozit zdraví dětí, zaměstnanců i obyvatel způsobené šířením infekčního agens v populaci a životním prostředí.

Závěr:

Lesní mateřské školky nejsou určeny ke kompostování lidských exkrementů ve smyslu všech platných předpisů. Doporučené neověřené metody nakládání s lidskými exkrementy mohou vést k ohrožení zdraví především dětí ale i životního prostředí. Z výše uvedených důvodů je nutné, aby školky s lidskými exkrementy vzniklými ve sběrné nádobě při používání tzv. kompostovacích toalet odstraňovaly v souladu s platnými legislativními předpisy.

MUDr. Magdalena Zimová, CSc.

vedoucí Národního referenčního centra
pro hygienu půdy a odpadů

9.2 Příloha 2: Příklady patogenů, které se mohou nacházet v lidských výkalech

Table 1: Example of pathogens that may be excreted in faeces (can be transmitted through water and improper sanitation) and related diseases, including examples of symptoms they may cause

(adapted from Ottosson, 2003)

| Pathogen | Symptoms |
|--|---|
| Bacteria | |
| <i>Aeromonas</i> spp | Enteritis |
| <i>Campylobacter jejuni/coli</i> | Diarrhoea, cramping, abdominal pain, fever, nausea, joint pain, Guillain-Barré syndrome |
| <i>Escherichia coli</i> (EIEC, EPEC, ETEC, EHEC) | Enteritis |
| <i>Plesiomonas shigelloides</i> | Enteritis |
| <i>Salmonella typhi/paratyphi</i> | Fever - headache, malaise, anorexia, slow pulse, enlarged spleen, cough |
| <i>Salmonella</i> spp. | Diarrhoea, fever, abdominal cramps |
| <i>Shigella</i> spp. | Dysentery (bloody diarrhoea), vomiting, cramps, fever |
| <i>Vibrio cholera</i> | Cholera - watery diarrhoea, lethal if severe and untreated |
| <i>Yersinia</i> spp. | Fever, abdominal pain, diarrhoea, joint pains, rash |
| Virus | |
| Enteric adenovirus 40 and 41 | Enteritis |
| Astrovirus | Enteritis |
| Calicivirus (incl. Noroviruses) | Enteritis |
| Coxsackievirus | Various, respiratory illness, enteritis, viral meningitis |
| Echovirus | Aseptic meningitis, encephalitis, often asymptomatic |
| Enterovirus types 68-71 | Meningitis, encephalitis, paralysis |
| Hepatitis A | Fever, malaise, anorexia, nausea, abdominal discomfort, jaundice |
| Hepatitis E | Hepatitis |
| Poliovirus | Often asymptomatic, fever, nausea, vomiting, headache, paralysis |
| Rotavirus | Enteritis |
| Parasitic protozoa | |
| <i>Cryptosporidium parvum/hominis</i> | Watery diarrhoea, abdominal cramps and pain |
| <i>Cyclospora cayetanensis</i> | Often asymptomatic, diarrhoea, abdominal pain |
| <i>Entamoeba histolytica</i> | Often asymptomatic, dysentery, abdominal discomfort, fever, chills |
| <i>Giardia intestinalis</i> | Diarrhoea, abdominal cramps, malaise, weight loss |
| Helminths | |
| <i>Ascaris lumbricoides</i> | Generally no or few symptoms, wheezing, coughing, fever, enteritis, pulmonary eosinophilia |
| <i>Taenia solium/saginata</i> | |
| <i>Trichuris trichiura</i> | Unapparent through vague digestive tract distress to emaciation with dry skin and diarrhoea |
| Hookworm | Itch, rash, cough, anaemia, protein deficiency |
| <i>Shistosomiasis</i> spp | |