

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Jméno a příjmení: Bc. David Bartuněk
Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství
Studijní obor: 4101T013 Zemědělské inženýrství - Fytotechnika
Katedra: Agroekosystémů

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv technologie kompostování v městské kompostárně na kvalitu produktu

Vedoucí diplomové práce:
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor diplomové práce:
Bc. David Bartuněk

České Budějovice

2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. David BARTUNĚK**

Osobní číslo: **Z15449**

Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**

Studijní obor: **Zemědělské inženýrství - Fytotechnika**

Název tématu: **Vliv technologie kompostování v městské kompostárně na kvalitu produktu**

Zadávací katedra: **Katedra agroekosystémů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem práce je navržení optimální technologie kompostování městské zeleně v městské kompostárně. Kompostování městské zeleně a jiných organických odpadů umožňuje recyklaci jejich organického podílu do půdy. Úkolem technologie je dosažení optimální transformace organických frakcí a získání kompostu vysoké kvality. Vstupním materiálem budou rostlinné zbytky z pozemků měst z údržby trvalých travních porostů, veřejné zeleně, údržby stromů a zahrad obyvatel města. Vypracujte literární rešerši na téma Kompostování fytomasy: a) Kompostování travní hmoty a veřejné zeleně b) Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu c) Kontrola průběhu kompostovacího procesu a kvality výsledného produktu d) Strojní vybavení pro kompostování, e) Registrace vyrobeného kompostu. Ve vzorcích kompostů (z 5 kompostáren) stanovte vhodnou metodou kvalitu kompostu (např. T max podle Sandhoffa). Výsledky statisticky vyhodnoťte a diskutujte. Na základě studia literatury a vlastních výsledků navrhněte "Optimální technologii kompostování rostlinných zbytků v městské kompostárně z pohledu kvality produktu. Diplomovou práci vypracujte dle Opatření děkana č. 4 ze dne 14. 3. 2014 při využití poznatků získaných ve Vaší bakalářské práci. Při zpracování diplomové práce využijte publikaci prof. Kalače - Jak vypracovat diplomovou práci v zemědělských oborech (2009) a materiály Technika zpracování bakalářských a diplomových prací (Kareš J., Vaněček D., Burešová M., 2007) a Práce s VTI (Milota J., Nýdl V., 1996).

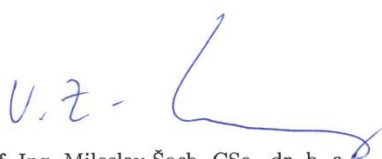
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40-60 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

Zhang, L., Sun, X. Y. (2014): Changes in physical, chemical, and microbiological properties during the two-stage co-composting of green waste with spent mushroom compost and biochar. *Bioresource Technology*, 171, 274-284; Benito M et al. (2006): Chemical and physical properties of pruning waste compost and their seasonal variability. *Bioresource Technology*, 97, 2071-2076; Szmídt, R. A. K., Fox, C. (2001): Interdependencies for process control and compost quality. *Acta Horticulturae*, 549, 55-60; Bastioli, C. (1998): Biodegradable materials - Present situation and future perspectives. *Macromolecular Symposia*, 135, 193-204; Váchalová R. (2012): Aerobní zpracování biomasy. *ZF JU v Č. B. Studijní texty*, 150 s.; Slejška A. a kol. (2009): Vlastnosti a složení zahradních kompostů v České republice. *Biom.cz* [online]. 2009-10-07 (cit. 2014-02-19); Kollárová M. a kol. (2008): Kompostování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů. *VÚZT Praha*, 24 s.; Váňa J: Kompostování odpadů. In: Váňa J., Balík J., Tlustoš P. (2009): *Pevné odpady*, ČZU Praha; Plíva P. a kol. (2006): Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. *VÚZT Praha*, č. 1, 65 s.; Plíva P. a kol. (2005): Technika pro kompostování v pásových hromadách, *VÚZT Praha*, č. 1, 72 s.; Plíva P. a kol. (2008): Strojní vybavení kompostovací linky. *VÚZT Praha*, 16 s.; Zethner, G., Götz, B., Amlinger, F.: *Qualität von Komposten aus der getrennten Sammlung*. Umweltbundesamt (Federal Environment Agency), Wien, 363 s., 2000 a další literatura od školitele

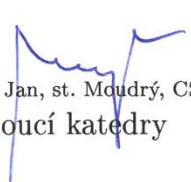
Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.**
Katedra agroekosystémů

Datum zadání diplomové práce: **15. března 2016**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2017**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc., dr. h. c.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA ⁴²
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení L.S.
Studentůvák 1888, 370 05 České Budějovice


prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 15. března 2016

Prohlášení

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

Datum

.....

Bc. David Bartuněk

Poděkování

Děkuji vedoucímu diplomové práce Prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a všestrannou pomoc při sestavování této diplomové práce.

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá zpracováním bioodpadu v kompostárnách na území České republiky se zaměřením na kvalitu výsledného kompostu. V roce 2016 bylo na území ČR více než 160 kompostáren. V práci zaměřuji na nejvíce využívané technologie kompostování v malých kompostárnách z pohledu jejich vlivu na kvalitu výsledného produktu, včetně návaznosti na jednotlivé ukazatele průběhu kompostování. V práci nejlépe vychází technologie založená na vyšší teplotě rozkladu (až 85°C) v první fázi kompostování.

Praktická část je zaměřena na měření iontovýměnné kapacity dle Sandhofa, jako podkladu pro celkové zhodnocení funkčnosti technologie kompostování. Výsledná hodnota ukazuje kvalitu kompostu jednotlivých kompostáren z pohledu pružnosti iontovýměnného komplexu vyrobeného substrátu. Nejlepší výsledek byl dosažen při kombinaci kompostování v boxech a následném dokompostování v pásových hromadách na volné ploše. Hodnota iontovýměnné kapacity u nejlepší technologie dosahovala hodnoty 52,8 mval .100 g půdy při 77,9 % rozložení bioodpadu.

Při návrhu funkční malé kompostárny s produkcí cca 2000 t kompostu ročně v České republice je nutné počítat v průměru s ročními náklady na kompostování okolo 1 696 000 Kč.

Klíčová slova: kompostování, iontovýměnná kapacita, bioodpad, biodegradace

Abstract

The thesis is about the processing of biological waste in the Czech composting plants with focus on the quality of the final compost. In 2016, there was more than 160 composting plants in the Czech Republic. The thesis is focused on the most widely used technologies in small composting plants in terms of their impact to the quality of the final product, including the follow-up of individual indicators during composting. The best technology in my work is based on a higher decomposition temperature (85 ° C) at the first stage of composting.

The practical part of thesis is focused on the measurement of ion-exchange capacity according to Sandhof as a main material for the overall evaluation of the functionality of composting. The final value shows the compost quality of the individual composting plants in terms of ion exchange flexibility of the produced substrate. The best result was achieved with the combination of composting boxes and composting in the belt heaps. The value of the ion-exchange capacity with the best technology was 52.8 mval .100 g of the soil, with 77.9% of the distributed biowaste.

You have to expect with an average annual costs of composting about 1,696,000 crowns in the Czech republic, when you are designing small functional composting plant with production of 2000 tons of the compost per year.

Keywords: composting, ion exchange capacity, organic waste, biodegradation

Obsah

1.0.	Úvod.....	1
2.0.	Literární přehled	2
2.1.	Kvalita a surovinová skladba kompostu.....	2
2.2.	Kompostování v České republice:	6
2.3.	Organická hmota a humus.....	10
2.3.1.	Organická hmota v půdě.....	10
2.3.3.	Huminy.....	13
2.3.4.	Huminové kyseliny	14
2.4.	Jak správně posoudit kvalitu humusu v kompostu.....	16
2.4.1.	Stanovení lontovými kapacit.....	17
2.4.2.	Stanovení kationtové výměnné kapacity.....	17
2.4.3.	Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty	18
2.5.	Monitoring základních mezních limitů procesu kompostování.....	20
2.5.1.	Poměr C:N.....	20
2.5.2.	Teplota	22
2.5.4.	Vzdušný režim	29
2.5.5.	Vlhkost kompostu	29
2.6.	Technologie kompostování v České republice.....	31
2.6.1.	Kompostování v pásových hromadách na volné ploše	31
2.6.2.	Kompostování v uzavřených boxech.....	33
2.6.3.	Vermikompostování.....	34
3.0.	Vlastní práce – stanovení kvality kompostu	38
3.1.	AGORA, s.r.o. (Kompostárna Želivec)	38
3.1.1.	Technologie kompostování v kompostárně Želivec.....	38
3.1.2.	Kompostování v uzavřených boxech.....	40
3.1.3.	Popis technologie kompostování v kompostárně Želivec.....	41
3.1.4.	Strojní a technické vybavení kompostárny Želivec	42
3.1.5.	Hodnocení kvality kompostu v kompostárně Želivec	43
3.1.6.	Statistické zhodnocení výsledků: kompostárna Želivec.....	46
3.2.	Městská kompostárna Březnice	48
3.2.2.	Technologické řešení kompostárny v Březnici.....	48
3.2.3.	Strojní a technické vybavení kompostárny	49
3.2.4.	Technologie kompostování v kompostárně města Březnice	51
3.2.5.	Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Březnice.....	51
3.2.6.	Statistické zhodnocení: kompostárna Březnice	54

3.3.	Městská kompostárna Písek	56
3.3.1.	Poloha a účel kompostovacího zařízení	56
3.3.2.	Technologie kompostování v městské kompostárně Písek	56
3.3.3.	Strojní a technické vybavení kompostárny	57
3.3.4.	Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Písek	58
3.3.5.	Statistické zhodnocení: kompostárna Písek.....	61
3.4.	Městská kompostárna Milevsko	63
3.4.1.	Strojní a technické vybavení kompostárny	64
3.4.2.	Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Milevska	65
3.4.3.	Statistické zhodnocení výsledků kompostárna Milevsko.....	68
3.5.	Vermikompostárna Rumpold, Uherský Brod	70
3.5.1.	Zakládání hromad v technologii vermikompostování.....	70
3.5.2.	Statistické zhodnocení: kompostárna Uherský Brod	72
3.6.	Závěr statistického vyhodnocení	73
4.0.	Diskuze:	74
4.1.	Hodnocení kvality kompostu z vybraných kompostáren.....	74
4.2.	Vyhodnocení výsledků v kompostárně Želivec	76
4.3.	Vyhodnocení výsledků v kompostárně Březnice	78
4.4.	Vyhodnocení výsledků v kompostárně Písek	80
4.5.	Vyhodnocení výsledků v kompostárně Milevsko.....	82
4.6.	Vyhodnocení výsledků vermikompostárny Uherský Brod	84
4.7.	Kvalita kompostu z jiného úhlu pohledu.....	86
4.8.	Navržení optimálního modelu kompostárny na základě hodnocení kvality kompostu pomocí Sandhofovy metody	87
4.9.	Ekonomika výroby kompostu.....	94
5.0.	Závěr.....	98
6.0.	Přílohy:	100
6.1.	Výsledky z měření iontovýměnné kapacity jednotlivých kompostů.....	100
6.2.	Obrázková dokumentace kompostárna Želivec.....	105
6.3.	Obrázková dokumentace kompostárna Písek	109
6.4.	Obrázková dokumentace kompostárna Milevsko	111
6.5.	Obrázková dokumentace kompostárna Březnice	112
6.6.	Obrázková dokumentace Stanovování iontovýměnné kapacity.....	114
7.0.	Seznam citované literatury	115

1.0. Úvod

Kvalita kompostovacího procesu v městských kompostárnách je velmi rozsáhlé téma, kterým se budu zabývat v mé diplomové práci. Tato problematika je ve své podstatě velmi složitá, protože výsledná kvalita produkovaného kompostu je závislá na mnoha aspektech, které se do výsledné kvality promítají. Kvalita každého kompostu začíná u optimální surovinové základny. Výběr surovin je stěžejní záležitostí a my musíme dbát, aby materiál byl vhodně zvolen podle poměru C:N. Dalšími důležitými vlastnosti, kterými se budu v této práci zabývat jsou vodní režim kompostovaném materiálu, vzdušný režim, hodnota pH a dopady negativních výkyvů těchto vlastností na kvalitu výsledného kompostu. Dále zde budu řešit kvalitu kompostu z pohledu chemických vlastností, a s tím související možném znečištění těžkými kovy.

Důležitou část mé práce věnuji celkové kvalitě humusu, který je prakticky cílovou surovinou a hlavním nositelem kvality vyprodukovaného kompostu.

Tuto problematiku jsem se rozhodl řešit z toho důvodu, že zpracování biologicky rozložitelného materiálu považuji za velmi důležitý proces, který je navíc v souladu s nařízením Evropské unie o snížení obsahu organické složky v komunálním odpadu. Kompostované biologické odpady mají velký potenciál, který nám mohou nabídnout v podobě kompostu. Kvalitní kompost nám do půdy může dodat podobné množství živin jako organická hnojiva běžně využívaná v zemědělství. Dále můžeme aplikací kompostu na půdu dosáhnout celkového zlepšení půdních vlastností (vaznost vody a živin, provzdušnění půdního profilu atd.). To jsou pozitiva, díky nimž je kompostování z mého pohledu perspektivní proces, z něhož může být velký užitek. Na druhou stranu v poslední době, právě s nařízením EU, došlo ke značnému rozšíření městských kompostovacích zařízení produkujících kompost, jehož kvalita je tématem značně diskutabilním. Pokud totiž jednotlivé kompostárny nedodrží hlavní principy kompostování, které jsou v této práci popsány, tak spíše než ke kompostování, dochází ke znehodnocování organického materiálu v důsledku snížení hnojivých a půdně zlepšujících vlastností.

V mé práci jsem se rozhodl hodnotit kvalitu výsledných kompostů městských kompostáren pomocí iontovýměnné kapacity kompostu. Tato hodnota velmi dobře ukazuje, jakou iontovýměnnou schopnost má konkrétní kompost, a vyjadřuje kolik živin je schopný v půdě vázat. Dále vykazuje tzv. pružnost iontové výměny, kdy dokáže živiny nejen přijmout a uchovat, ale následně je i uvolnit pro potřebu vyživovaného porostu.

Výsledkem této práce je porovnání kvality produkovaného kompostu z různých kompostáren, kde používají různé technologie a postupy při procesu kompostování. Získané zkušenosti jsem zhodnotil v návrhu malé kompostárny s optimální technologií pro výrobu kvalitního kompostu.

2.0. Literární přehled

Haug Definuje kompostování jako biologický rozklad a stabilizaci materiálu biologického původu za podmínek, které umožňují rozvoj termofilních mikroorganismů, které za pomoci svého (biologického) tepla dostatečně stabilizují kompostovaný materiál, který je vhodný jak pro skladování, tak pro přímou aplikaci na půdu, a to bez jakýchkoli nežádoucích účinků (HAUG, 1980). Globální produkce odpadů dosahuje enormně vysokých hodnot. Po celém světě ročně vznikne přibližně $3,7 \times 10^9$ t bioodpadu ze zbytků zemědělské výroby a $1,3 \times 10^9$ t z potravin. Tyto suroviny jsou velmi často považovány za běžný odpad a páleny nebo skládkovány bez další možnosti využití. Pokud je ovšem zapojíme v procesu kompostování, můžeme dostat nejen kvalitní hnojivo, ale i teplo nebo elektřinu (PLEISSNER *et al.*, 2016). Kompostování by se do jisté míry mohlo podílet na boji proti změnám klimatu, a to díky schopnosti vázat organický uhlík (C) v půdě. Využití kompostu spolu s racionálním využíváním zemědělské půdy a dalšími organickými hnojivy může pomoci usměrnit tok C a přispět tak k vytvoření nové rovnováhy v našich ekosystémech (BHATTACHARYA *et al.*, 2016).

2.1. Kvalita a surovinová skladba kompostu

Proč vyrábět kvalitní kompost

Proces kompostování je velmi užitečný proces s pozitivním vlivem, který se projevuje především v odpadovém hospodářství. Komunální odpady, které jsou produkovány v rámci měst, mnohdy tvoří látky organického původu, a to i z 80 %, které by bez této technologie nejspíše skončily na skládkách odpadu, nebo by byly bez užitku spáleny (ZEMNÁNEK, 2010). V současné době je na půdu vlivem intenzivního zemědělství vyvíjen velký tlak. Ten má za následek, mimo jiné, i snižování obsahu půdní organické hmoty. Přířímým následkem této skutečnosti je pokles úrodnosti půd (RAVIV, 2015). Důležitou vlastností kvalitního kompostu je schopnost zadržovat vodu. Retenční schopností přispívá kvalitní kompost v půdě (jako hnojivo) nejen životnímu prostředí, ale i rostlinám samotným. Schopnost zadržovat vodu bude v budoucnosti velmi důležitá a

v pěstování plodin se bude jednat o velmi důležitou vlastnost vzhledem k soustavnému oteplování a nižšímu množství srážek (SCHINDLER *et al.*, 2015).

Produkce kvalitního kompostu znamená pro město a společnost přínos velmi kvalitního materiálu, který pomáhá zlepšit půdní prostředí. Jeho využití by mělo v dnešní době neodmyslitelně patřit do systému trvale udržitelného zemědělství. Kompostování je proces nakládání s odpadem, který je velmi šetrný k přírodě. Také přináší do půdy velmi užitečné látky a zvyšuje efektivitu hnojení. Tento proces je ve své podstatě velmi flexibilní. Může být využíván jak v domácnostech, přes komunitní kompostárny až po velké firmy, zabývající se zpracováním bio-odpadu ve velkém. V neposlední řadě je technologie s podporou EU velmi dobrou příležitostí pro zlepšení třídění a sběru bioodpadu v rámci měst a obcí (HOORNWEG, 1999). Kompost navíc jako organické hnojivo podporuje půdní mikrobiální aktivitu čímž následně pomáhá k potlačení patogenních organismů (škůdců rostlin) vyskytujících se v půdě. Aplikace kvalitního kompostu může vést ke snížení výskytu škůdců, kteří přezimují v půdě (např. Mandelinka bramborová (*Leptinotarsa decemlineata*) (OLLE *et al.*, 2015).

Složení kompostu

Pro stanovení optimální surovinové skladby je základním kritériem poměr C:N, tedy poměr uhlíku a dusíku. Tento poměr zásadně ovlivňuje činnost mikroorganismů, a tím i dobu zrání kompostu, tvorbu humusových látek a samozřejmě také výslednou kvalitu kompostu. Abychom dosáhli u zralého kompostu C:N v rozmezí 25–30 : 1 (vysoká stabilita a agronomická účinnost), je třeba optimalizovat C:N v čerstvém kompostu, tak aby hodnota byla mezi 30-35 : 1 (VÁŇA, 1997). Před započítáním kompostování je tedy třeba zjistit rozsah C:N v materiálu, který hodláme kompostovat.

Dále je třeba zajistit minimální množství fosforu v surovinové skladbě 0,2% P₂O₅ v sušině. Tento obsah je při využití klasických bioodpadů, či stájových hnojiv často překračován a s jeho nedostatkem není problém (ŠLEJŠKA *et al.*, 2006).

Kvalita kompostu

Jedním ze základních aspektů kvalitního kompostu je jeho homogenita a čistota. Aby byl kompost schopný obstát na trhu, je nutné, aby splňoval jisté kvalitativní ukazatele. Mezi těmito ukazateli můžeme najít například čistotu, která se vyznačuje kvalitním vyžralým kompostem, bez cizích příměsí.

Vysoký obsah organických látek v biologických odpadech komunálního typu je velkým přínosem pro samotný proces kompostování. Bohužel komunální odpady obsahují také zvyšující se množství cizorodých (nerozložitelných) látek. Mezi tyto látky patří především: sklo, plasty, kovy a jiné nebezpečné materiály, které mohou kontaminovat kompost jako takový. Separace těchto kontaminujících látek je v místě kompostování velmi složitá a často neefektivní. Tento proces vyžaduje značné úsilí, prostor a čas. Také je velmi pravděpodobné, že případné znečištění se projeví na samotné kompostované organické složce. Nejlepším řešením je tedy přijímat pouze čistý biologický odpad bez cizích příměsí. Pokud tato možnost nepřipadá v úvahu, je nutné kompost zbavit cizích předmětů proséváním a následným ručním oddělením a vyselektováním těchto cizích nerozložitelných předmětů (HOORNWERG *et al.*, 1999). Antropogenní činnost vede dále ke zvyšování obsahu těžkých kovů v organických materiálech. Těžké kovy nepodléhají degradaci, díky čemuž se hromadí v životním prostředí. V podobě biologicky rozložitelných odpadů se pak velmi snadno mohou dostat do procesu kompostování (PAZ-FERREIRO *et al.*, 2014).

Následující tabulka nás seznamuje s maximálními povolenými koncentracemi těžkých kovů. Těžké kovy jsou tedy problémem, který nás trápí v otázce kvality kompostovaného materiálu i samotného kompostu.

Tab. č. 1 Povolené koncentrace těžkých kovů v kompostech. (HOORNWERG *et al.*, 1999)

Těžké kovy	Evropa a severní Amerika	Jáva a Indonésie	Nizozemí
Arsen	-	0,5	-
Kadmium	1,2	0,9	7,3
Chrom	27,0	20,0	164,0
Měď	59,0	54,0	608,0
Olovo	86,0	99,0	835,0
Rtuť	0,9	0,9	2,9
Nikl	17,0	50,0	173,0
Zinek	287,0	236,0	1567,0

Schopnost kompostu vázat těžké kovy je již v současné době testována jako možná alternativa pro čištění kontaminované vody. Komposty jsou využívány jako tzv. biosorbenty. Mají za úkol vázat těžké kovy obsažené ve znečištěné vodě. To sebou nese nutnost analyzovat i další důležité hodnoty, jako například teplotu, pH a dobu kontaktu s kontaminovanou vodou. Tato schopnost jen potvrzuje nutnost chemických rozborů a analýz na těžké kovy, které se v kompostu často vyskytují (ANASTOPOULOS *et al.*, 2015).

Kvalita kompostu je také velmi závislá na jeho složení. Ta se mění se stupněm rozkladu a zrání kompostu. Problematikou složení kompostu při jeho zrání se zabývali Spaccini a Piccolo. Jejich studie se zaměřila na fyzikálně-chemické a molekulární změny v kompostu, probíhající za dobu 60, 90 a 150 dní. Metody, které byly v této studii použity, se nazývají „DRIFT spektrometrie“ a „¹³C CPMAS-NMR spektroskopie“. Díky těmto metodám bylo dokázáno, že složení kompostu se nejdramatičtěji mění v období zrání a stabilizace kompostovaného materiálu. Přičemž nejlépe rozložitelné složky, reprezentované především biologicky velmi rychle degradovatelnými látkami lipidové a peptidické struktury, byly postupně mineralizovány v průběhu prvních 60 dní. Se zvyšující se zralostí složení organických látek prošlo postupným obohacováním a staly se z nich stabilní hydrofobní lignocelulózy materiály. Z této studie vyplývá, že kvalitní kompost pro dokončení celkového rozkladu včetně dokončení důležitých fyzikálně-chemických a molekulárních změn, potřebuje minimálně 5 měsíců, a to za ideálních podmínek (SPACCINI a PICCOLO, 2008).

V současné době nejsou přesně uvedeny jednotlivé parametry, které by oficiálně sumarizovaly kvalitu kompostu. Existují však parametry v praxi běžně k tomuto účelu využívané. Při hodnocení kvality kompostu se můžeme setkat například s těmito ukazateli:

- pH by se v optimálních hodnotách mělo pohybovat na hodnotách od 5,5 – 7,5
- rozpustné soli by neměli být vyšší než 5 mmhos/cm (millimhos/centimetr)
- prodáváný kompost by měl mít ověřený obsah živin
- kvalitní kompost by měl být schopen efektivně vázat vodu
- kompost by měl být v konečné fázi zrání, by měl být stabilní
- dále by měl vykazovat optimální množství organické hmoty
- vlhkost by se měla pohybovat mezi 35 a 55 %

(SHERMAN, 1999)

Velikost částic a struktura kompostu

Velikost částic kompostovaného materiálu by měla být co nejmenší, aby bylo možné realizovat efektivní provzdušňování kompostované hromady (aerobní proces kompostování). Drobný materiál také dopomáhá snadnému rozmnožování biodegradačních bakterií, hub a aktinomycet. Proto se doporučuje komunální odpad, či zemědělské odpady, rozdrtit před začátkem procesu kompostování. Pokud při kompostování používáme čistírenské kaly nebo chlévskou mrvu, tak do kompostu dodáváme velké množství jemných částíček. Ty pak vytváří prostředí vhodné pro mikrobiální rozklad. Je však za potřebí ještě velké množství jiných materiálů organického původu, které jsou do kompostovaného materiálu přidávány za účelem optimálního poměru C:N. Tyto materiály mají za úkol vytvořit konstrukční podporu kompostu a vytvořit prázdné prostory vyplněné vzduchem (POLPRASERT, 2007).

Organické materiály jsou do kompostu přidávány především za účelem zvýšení podílu rozložitelného C, snížení objemové hmotnosti a zvýšení počtu vzduchových pórů v kompostované směsi. Klasickými případy materiálů využívaných u nás i ve světě jsou: piliny, rašelina, rýžová sláma, rýžové slupky. Tyto materiály by měly v ideálním případě dosahovat délky okolo 2 – 3 cm (POLPRASERT *et al.*, 1980).

2.2. Kompostování v České republice:

Směrnice Rady (ES) č. 1999/31, povinně zavazuje všechny státy Evropské unie, včetně České republiky, snížit zásadním způsobem skládkování biologicky rozložitelného odpadu. Tato právní norma zcela jasně nařizuje snížení odpadů tohoto druhu dosud ukládaného na skládky. V roce 2020 by měl být objem materiálů uložených na skládku snížen o 100 % (vztaženo na průměrné množství ukládaného biologicky rozložitelného odpadu /BRO/ v roce 1995). Další přijatá směrnice Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 2008/98, o odpadech, deklaruje požadavek na provedení změn v legislativně jednotlivých členských státech Evropské unie ve směru přijetí příslušných právních úprav nakládání s biologicky rozložitelnými komunálními odpady.

V těchto směrnících je vyžadováno zejména zavedení a následné provozování systémů separovaného sběru BRO a jeho následné zpracování v kompostárenských zařízeních různého typu, včetně praktických možností využití finálních produktů spolu se splněním nutných podmínek ochrany zdraví lidí a zabránění nežádoucí mikrobiální kontaminace dotčených složek životního prostředí (MUDRUŇKA *et al.*, 2015). Důkazem pokroku ve zpracování bioodpadu je nárůst výroby kompostu nejen v České republice, ale i ve

světě. Velkou výhodou je ekonomická stabilita zaběhlých podniků s vysokou kvalitou produkovaného kompostu. Surovinová skladba z velké části vychází z místních surovin a reprezentují ji biologické odpady ze zahrad a údržby městské zeleně. Dále se v surovinové skladbě často objevují odpady ze zemědělské výroby či zemina a další biologicky rozložitelné odpady (STOFFELLA *et al.*, 2014).

Aplikace kompostů má v každém případě pozitivní vliv na půdu a půdní prostředí. Zejména dochází k podpoření mikrobiální aktivity, což má za následek nejen zdravější a odolnější rostliny, ale i regulaci patogenních organismů a chorob, které se v půdě mohou vyskytovat (INSAM *et al.*, 2010). V oblasti odpadového hospodářství ČR je jedním z hlavních cílů zpracování biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) a zřizování zařízení, ve kterých bude možné efektivně využít biologické odpady a přetvořit je pomocí procesu kompostování na kvalitní kompost, který bude přínosem pro půdu (PLÍVA, 2010). Aplikace organických hnojiv z biologicky rozložitelných odpadů podporuje zvýšení obsahu půdní organické hmoty, přispívá k recyklaci živin a zintenzivňuje zemědělskou výrobu. Všechny přínosy kompostu se neprojevují okamžitě a ve většině případů se účinek projevuje až po určité době. Po aplikaci kompostu na zemědělskou půdu je možné počítat se stabilizací hodnoty pH, zvýšením enzymatické aktivity, zvýšením biologické rozmanitosti půdních mikroorganismů, zajištěním fyzikální stability půdy, zásobením půdy stopovými prvky. Dohromady vypsané vlastnosti zvyšují půdní úrodnost (OBRIOT *et al.*, 2016).

Pokud dochází k navyšování počtu kompostáren na našem území, je třeba si položit otázku, zda kompost, který vychází z těchto zařízení je dostatečně kvalitní a splňuje potřebné normy z pohledu jeho jakosti (PLÍVA, 2010).

Tabulka č. 2 Požadavky na jakost kompostu (ČSN 465735) (VÁŇA 2001)

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	min. 40,0 – max. 65,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 25,0
Celkový N jako N přepočtený na vysušený vzorek v %	min. 0,60
Poměr C:N	max. 30 : 1
Hodnota pH	od 6,0 do 8,5
Nerazložitelné příměsi v %	max. 2,0
Homogenita v celku v % relativních	+ 30

Počet kompostáren v ČR má zvyšující se tendenci především díky nařízení EU o likvidaci biologických odpadů. Dotační politika EU hraje zde také svůj podíl. Na průměrné rozložení kompostovacích zařízení v ČR se můžeme podívat v tabulce č. 2.

Snížení skládkovaného bioodpadu je nejen cílem nařízení Evropské unie, ale jedná se o celosvětový trend, který řeší politiku životního prostředí. Kompostování biologicky rozložitelných odpadů je velmi efektivní proces pomáhající odklonit přísun tohoto cenného materiálu na klasické skládky. V současné době vzniká mnoho studií zabývajících se kompostováním. Ty mají za úkol informovat veřejnost o tomto levném zdroji hnojiva a zároveň informovat o možných rizicích, které sebou přinášají (VAN FAN *et al.*, 2016).

Tabulka č. 3 Průměrný počet kompostovacích zařízení v ČR podle krajů

Kraj	Počet kompostáren	Množství zpracovaných BRO (t/rok)
Jihočeský	17	196 540
Jihomoravský	12	72 430
Karlovarský	6	38 000
Královehradecký	6	44 240
Liberecký	4	1 957
Moravskoslezský	20	89 098
Olomoucký	7	5 397
Pardubický	6	37 035
Plzeňský	11	21 269
Středočeský a Praha	31	130 441
Vysočina	14	33978
Ústecký	15	137 800
Zlínský	11	20 786
Celkem v ČR	160	828 971

Oficiální doporučení pro kompostárny použitelné v podmínkách České republiky

Operační program životního prostředí ve spolupráci s Evropskou Unií vypracoval projekt s názvem: Příprava a výstavba kompostáren využívajících biologicky rozložitelné odpady z domácností a údržby městské zeleně.

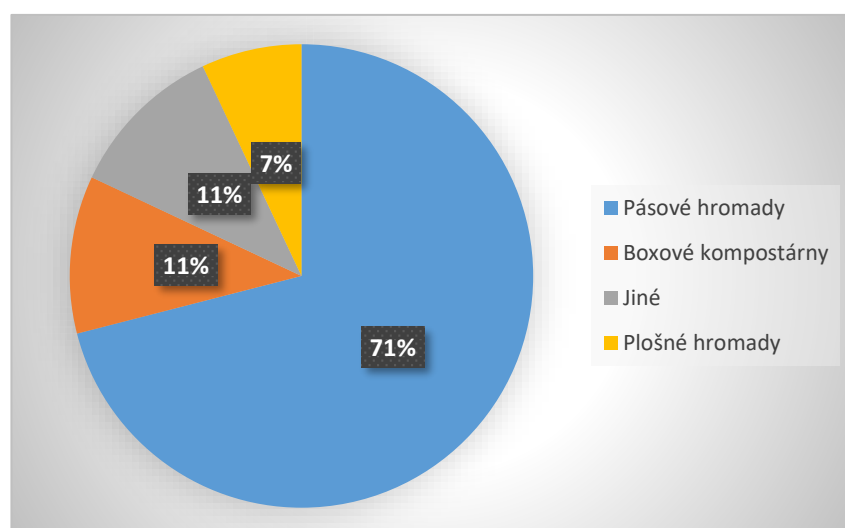
Tato metodika se přímo týká městských kompostáren a předkládá jako klasický způsob zpracování bioodpadu v pásových hromadách na volné ploše. Je jednou z nejvíce používaných v České republice. V projektu se uvádí, že poměr nákladů oproti kompostování v uzavřených boxech se pohybuje v rozmezí od 1000 – 3500 Kč/t u kompostování v pásových hromadách na volné ploše zatím co při zpracování bioodpadu v uzavřených boxech je vstupní náklad od 1500 do 5000 Kč/t (HABART, 2009).

Tato práce má za úkol porovnat produkty kompostáren v návaznosti na technologii kompostování. Je v naprostém pořádku snižování biologicky rozložitelného odpadu v odpadu komunálním. Je ale také nutné tento odpad využít co nejefektivněji. Pokud se bude vyrábět nadměrné množství nekvalitního kompostu, který bude postrádat jakoukoli výživovou hodnotu a téměř žádnou iontovýměnnou kapacitu jedná se pouze o plýtvání časem, materiálem a financemi.

Využívané technologie kompostování v České republice

Technologie kompostování se v České republice zakládá především na kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Tento způsob se nejvíce využívá u městských kompostáren, a to především z toho důvodu, že je stavebně méně náročný a také méně nákladný (GOLOMBOVÁ, 2013).

Graf č. 1 - Technologie kompostování využívané v ČR (GOLOMBOVÁ, 2013)



Jakákoliv účinnost celkového kompostovacího procesu je závislá na velké skupině mikroorganismů. Tato skupina transformuje kompostovaný materiál a je velmi potřebná pro rozklad a stabilizaci tohoto materiálu. Avšak porušení fyzikálně-chemických podmínek, které jsou nastoleny v kompostovaném materiálu, může vést např. až k zastavení mikrobiálního růstu. Proto zde budou následně zmíněny různé, velmi důležité parametry prostředí, které je nutné náležitě kontrolovat v průběhu kompostování a upravovat je takovým způsobem, aby nedocházelo ke zbytečnému snižování kvality vyráběného kompostu (POLPRASERT, 2007).

2.3. Organická hmota a humus

Abychom byli schopni posoudit kvalitu kompostu, musíme nejprve pochopit, z jakých složek se převážně skládá a také si nastínit kvalitu, které by měl takový kompost dosahovat, aby byl přínosem pro půdu. Kompost je ve své podstatě velmi jednoduchý způsob, jakým se dají do půdy doplnit živiny, organická hmota a spolu s ní i prekurzory humusu. Pokud přidáváme do půdy kompost, musíme znát jeho kvalitu a vědět jakých výsledků chceme dosáhnout (CESARO et al., 2015).

2.3.1. Organická hmota v půdě

Původ organické hmoty v půdě je odvozován od zbytků rostlin, živočichů a mikrobů ve všech stádiích rozkladu. Mimo to, také zahrnuje rozmanité množství různých cizorodých látek organického původu, které se v půdě vyskytují. Mikroflóra půdy a jemné kořenové vlášení lze považovat za jeden ze zdrojů organické hmoty. Rychlost přeměny organických látek v půdě se mění v závislosti na výchozím materiálu. Také velmi záleží na fyzikálně chemických vlastnostech půdy, které se mohou značně lišit. Složitost a rychlost přeměny půdní organické hmoty je jedním ze základních ukazatelů úrodnosti půdy (CHRISTENSEN, 1992).

Stabilní organická hmota

Organická hmota podléhá biodegradaci. Jedná se o velmi účinný způsob recyklace veškerých odumřelých rostlin a živočichů. Při rozkladu těchto organických struktur dochází k rozložení na jednodušší elementy a současně k tvorbě velmi složitých molekulárních struktur, které se mění postupem času na struktury jednodušší (živiny) či složitější (humusové látky) a nakonec se z nich stávají základní stavební kameny života na této planetě. Kompostování lze tedy zjednodušeně popsat jako výrobní proces založený na využívání a kontrole tohoto přírodního systému recyklace.

Během tohoto procesu se rozkládající organismus může dostat do fáze, kdy se proces degradace stává rezistentním nebo se stabilizuje. I když dosažení tohoto stavu může v přirozeném prostředí trvat stovky let v procesu kompostování je tento proces možné značně urychlit a dosáhnout tohoto v řádu několika měsíců. Úspěch tohoto procesu ovšem závisí na použité technologii a dodržení parametrů kompostovacího procesu.

Kvalitní kompost do půdy musí přinášet stabilní organickou hmotu. Stabilní organická hmota může, díky své struktuře, absorbovat šestkrát více vody, než sama váží a zadržet

velké množství živin. Zatím co organická hmota ve formě živé mikrobiální biomasy a detritu, neživá organická hmota, která se skládá z organismů v různém stupni rozkladu, či výkalů přispívá k úrodnosti půdy (TŮMA, 2015). Stabilní organická hmota dává kompostu (půdě) velké množství unikátních vlastností a přispívá velkou měrou k půdní struktuře a zvyšuje katexovou schopnost půdy (TISDALL, 1982).

Kvalitativní znaky primární organické hmoty

Zhodnocení kvality primární organické hmoty není nijak složité, protože základem půdní úrodnosti i půdotvorných procesů je biologický faktor. Bez složitých mikrobiologických dějů a bez mikroorganismů bychom nemohli půdu půdou v žádném případě označit. A právě pro činnost mikroorganismů v půdě je velmi důležitá primární organická hmota, která je dostatečně labilní. Čím je totiž tato hmota labilnější, tím je mikrobiální život v půdě bohatší, a z toho důvodu někteří vědci považují labilní organickou hmotu za samostatný znak půdní úrodnosti. S těmito názory však není možné zcela souhlasit a to především z toho důvodu, že jsou známé případy, kdy v půdě obsahující převážně labilní organickou hmotu za příznivých podmínek (působení tepla, vody atd.) dojde k rychlému namnožení mikroorganismů a po velmi rychlém rozložení labilních složek půdy zbytek primární org. hmoty tvoří pouze složky stabilní, čímž stavy mikroorganismů v půdě velmi rychle klesnou. Proto převažuje názor, že pro úrodnou půdu je ideální ta primární organická hmota, ve které má zastoupení jak labilní, semilabilní, tak dokonce i semistabilní frakce (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

2.3.2. Humus

Humusové látky jsou široce rozšířené po celém zemském povrchu a tvoří přirozenou část všech suchozemských i vodních ekosystémů, v nichž se podílejí na ustanovování a udržování ekologické rovnováhy mezi rostlinou a jejím vnějším prostředím. Běžně se vyskytují v přírodních i kulturních půdách a na některých místech zemského povrchu se koncentrují v humusových zeminách a různých druzích uhlí. Tvoří základní součást rašelin a slatin, jsou obsaženy v ligninech a hnědém uhlí. Cennými zdroji huminových látek jsou zejména oxihumolity (někdy jsou označováni jako kapucíny).

Humusové látky tedy vznikají v procesu humifikace a v prostředí se vyskytují v relativně nízkých koncentracích. Je ale nutné podotknout, že i tyto nízké koncentrace mají velmi pozitivní vliv na rostliny (VRBA a HULEŠ, 2006). Jedná se o důležitou složku organické hmoty, která je obsažena v půdě. U této složky proběhl velmi důležitý proces

humifikace. Dá se říci, že humus tvoří vysokomolekulární sloučeniny. Takto vzniklý humus má tři složky: huminové kyseliny, fulvokyseliny a huminy (KOLÁŘ, 2014).

Mezi charakteristické vlastnosti humusu můžeme zařadit především heterogenitu a variabilitu. Tyto dvě vlastnosti hrají významnou úlohu v dynamice půdních pochodů, které přispívají ke zvýšení úrodnosti půd. Obsah humusu v půdách by měl být stálou veličinou za předpokladu dostatečného přísunu organické hmoty do půdy (DVOŘÁK, 2013). Z toho vyplývá, že huminové látky jsou zodpovědné za agregaci půdy jak v přírodních, tak zemědělských půdních prostředích. Udržení a zvyšování hladiny humusu v půdách působí velmi pozitivně při zásobování rostlin živinami, zlepšuje strukturní vlastnosti půdy a pomáhá při zadržování vody v krajině (PICCOLO, 1996).

Kvalita humusu

Snažit se nějakým způsobem porovnat kvalitu humusu podobně jako kvalitu primární organické hmoty není tak jednoduché. Je to především z toho důvodu, že od primární organické hmoty očekáváme splnění pouze jednoho cíle, kterým je mineralizace. Mineralizace má pak za úkol vytvořit dostatek energie pro půdní mikroorganismy a v přenosu pak dodávat energii také pro endotermní humifikaci. Jinými slovy: bez mineralizace by nebylo humifikace.

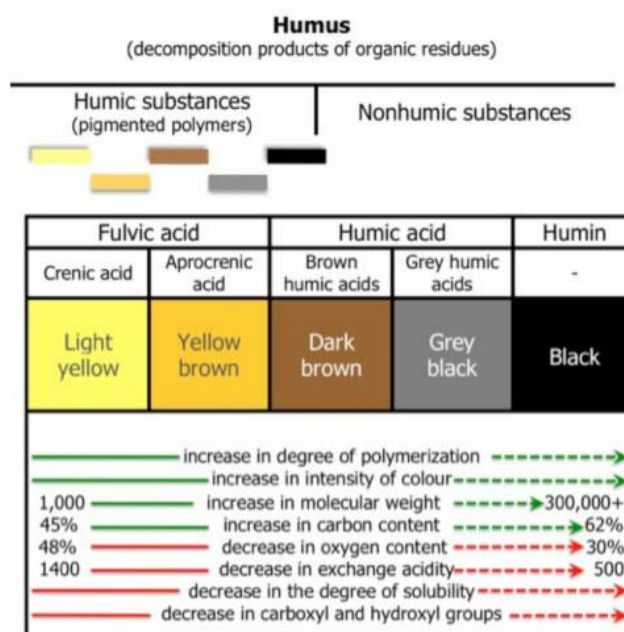
U humifikace však očekáváme splnění více cílů. Jedním z hlavních je zajištění vysoké iontovýměnné kapacity ze strany humusu pro zajištění pružného živinného systému, který pomůže lépe vyživovat rostliny a bude tak přispívat k vyšší rentabilitě jejich pěstování. Na druhé straně musíme brát v úvahu fakt, že úrodné půdy vyžadují rovnováhu mezi vzduchem a vodou v půdě, dobrou strukturu a příznivé technologické vlastnosti. Z těchto důvodů je požadována kvalita humusu působící zlepšení ve fyzikálních a technologických vlastnostech půdy. Kvalitní humus by měl především zabránit nadměrnému utužování půd, omezit ztráty živin vyplavováním a v neposlední řadě by měl zajistit vhodný vodní režim v půdě (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

Je možné humus v půdě nahradit?

Teorie zkoumá nejen obecnou kvalitu, ale přímo se zaměřuje na kvalitu iontové výměny v půdách, kompostech, rašelinách, které jsou běžné v přírodních substrátech, a následně je porovnává se synteticky vyrobenými iontovými měniči. Je postavena na základě výměny iontů a toho jak se při výměně selektují. V praktické aplikaci studie

iontové výměny v půdě nejsou za základní kvalitativní ukazatel považovány pouze kationty a hydroxidové ionty pevně připoutané v půdním substrátu. Zde je považována za stejně důležitou vlastnost v otázce kvality půdy (půdního humusu) připravenost k iontové výměně, nebo také iontovýměnná pružnost. Selektivita iontové výměny, vyjádřena tzv. koeficientem selektivity odráží připravenost iontové výměny, zatímco iontová výměna termodynamická ukazuje stupeň spontánnosti iontovýměnného procesu, který hraje v celém procesu velmi významnou roli. Výsledky celého pokusu, v této studii, ukazují, že půdní humus je látka, která je v půdě nenahraditelná a jakákoli snaha nahradit tuto látku jiným syntetickým iontoměničem je bezúspěšná. Přes to že synteticky vyrobené iontoměniče mají vysokou iontovýměnnou kapacitu, tak obecně vykazují právě vysokou selektivitu pro ionty s vyšší valencí a nízkou ionexovou pružnost, což má za následek např. špatnou desorpci vápníku a hořčíku (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2014).

Obrázek č. 1 - Vztahy mezi produkty humifikace (STEVENSON, 1982)



2.3.3. Huminy

Tvorba humusových látek je jeden z nejméně pochopených, ale zároveň nejzajímavějších, aspektů chemie humusových látek. Studie na toto téma jsou časově značně rozsáhlé, a stále pokračují. Prozatím existuje několik možných teorií humifikace, které studují tvorbu huminových látek z rozkládajících se rostlinných a živočišných látek v půdě. Mezi jedny z hlavních myšlenek můžeme zařadit i teorii Waksmana, ve které se říká, že huminové látky jsou ve skutečnosti pouze modifikované ligniny. V dalších teoriích je způsob vzniku huminů spojován spíše s chinony (organické cyklické

nenасыčené šestiuhlíkové sloučeniny s dvěma oxoskupinami v poloze ortho či para formálně odvozené od difenolů oxidací příslušných hydroxylových skupin. Vzhledem k rozložení dvojných vazeb jsou barevné (VOKURKA a HUGO, 2002).

V praxi ovšem musí být každá tato teorie považována za pravděpodobný mechanismus, který má za následek vznik huminových látek. Je ale známo že teorie vzniku huminových látek na bázi modifikovaného ligninu může spíše probíhat na půdách, které jsou zamokřené, zatímco syntéza za pomoci polyfenolů je spíše pravděpodobná v lesních půdách (WEBER).

Huminy jsou třída organických sloučenin, které jsou nerozpustné ve vodě při jakémkoli pH. Tyto tmavě až hnědě zbarvené pevné sloučeniny jsou silně nehomogenní a jejich struktura bývá často velmi nejasně popisována. V základě se rozdělují na dvě skupiny: anorganické a organické. Složka organická se dále rozděluje na dvě frakce, které jsou popsány níže (HAYES a CLAPP, 2001). Tato půdní frakce podle zkoumání uhlíků obsažených ve svých strukturách může dosahovat vyššího stáří než 2 400 let (DVOŘÁK, 2013). Huminy jsou pro svou složitost charakteristické svoji malou reaktivitou, vysokým obsahem minerálního popela, a velkou relativní molekulovou hmotností. Vzhledem k tomu, že se špatně rozpouštějí v polárních i nepolárních rozpouštědlech, tak prakticky nejsou schopny oddisociovat svůj vodík, a proto se nemohou uplatnit ani v iontové výměně v půdě, a proto se jim připisuje pouze malý význam (KOLÁŘ, 2014).

Z tohoto důvodu můžeme pouze s malou nepřesností tvrdit, že humus je tvořen huminovými kyselinami a fulvokyselinami společně s dalšími sloučeninami (jejich solemi, cheláty, komplexy). Huminové kyseliny i fulvokyseliny (humusové kyseliny) tvoří svými vlastnostmi, strukturou i chemickým složením spojitou řadu, ve které se liší některými vlastnostmi.

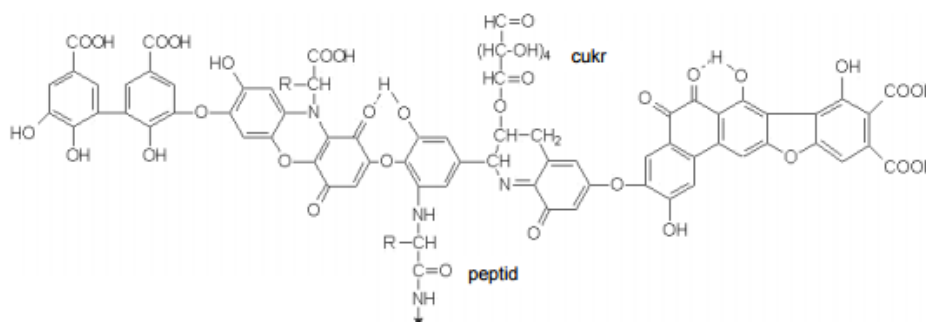
2.3.4. Huminové kyseliny

Co jsou to huminové kyseliny? O půdní organické hmotě se často říká, že se skládají z huminových a ne-huminových látek. Ne-huminové látky jsou všechny ty materiály, které mohou být umístěné v jedné kategorii diskrétních sloučenin, jako jsou cukry, aminokyseliny, tuky a tak dále. Huminové kyseliny patří mezi jiný druh neidentifikovatelných komponentů. Tyto substance jsou považovány za sérii substancí o relativně vysoké molekulární hmotnosti hnědé až černé barvy vzniklé reakcemi syntézy. Barva této substance je získávána na základě vlastností, které souvisejí s nerozpustností dané substance ve vodě. Huminové kyseliny tedy není možné

rozpustit za normálních podmínek ve vodě, ale je možné je rozpustit při vyšších hodnotách pH. Huminové kyseliny jsou extrahovatelné z půdy pomocí různých alkalických činidel. Můžeme tedy říci, že jsou jednou z významných extrahovatelných složek huminových látek, které se vyskytují v půdě (NEW AG INTERNATIONAL, 2009). KANG a XING (2005) popisují huminové látky jako látky, které velmi silně ovlivňují děje a řadu fyzikálně-chemických vlastností v půdách a sedimentech a také připomínají, že tato frakce není rozpustná v kyselých a neutrálních vodních roztocích.

Pomocí instrumentální analýzy se postupně podařilo objasnit, že ve struktuře huminových kyselin jsou zabudovány aromatické di-, tri- a tetra- kyseliny. Tyto látky jsou považovány za komplexní aromatické makromolekuly, kde spojení mezi aromatickými skupinami zajišťují aminokyseliny a aminocukry, peptidy a alifatické sloučeniny (VESELÁ, 2005).

Obrázek č. 2 – Hypotetický strukturní vzorec huminové kyseliny (STEVENSON, 1982)



Fulvokyseliny

Tato půdní frakce patří z pohledu humusových kyselin k té nejmladší, to proto, že její stáří je odhadováno na cca 420 let (DVOŘÁK, 2013).

Z hlediska hodnocení humusu v půdě na základě huminových kyselin a fulvokyselin, byla vždy tato frakce chápána jako nepříznivá složka skupiny humusových kyselin. V současné době se od černobílého chápání této problematiky upouští. Fulvokyseliny hrají při půdotvorných procesech velmi důležitou roli a denní zemědělskou praxi obohacují tím, že jako fosforečné estery, mobilní v půdním prostředí, pomáhají fosforu v pohybu půdním profilem, protože snadno dochází k jejich hydrolyzaci. Starají se vlastně o dobrou výživu hlouběji kořenících rostlin fosforem (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

Tato frakce představuje huminové látky, které jsou rozpustné ve vodě v celém rozmezí stupnice pH a zůstává ve vzorku po vysrážení (odstranění) huminových kyselin okyselením (VESELÁ, 2005). Barva fulvokyselin se pohybuje od světle žluté až do žlutohnědé (VRBA a HULEŠ, 2006).

Shrnutí

Závěrem je tedy nutné zdůraznit, že primární organická hmota, vyskytující se v půdě, je značně nestabilní, a tudíž nevydrží v půdě déle než několik měsíců. Tyto látky jsou nejčastěji rozloženy pomocí mikrobiální degradace. Všechny následně vytvořené sloučeniny jsou velmi rychle mineralizovány s výjimkou těch, které jsou chráněny zvláštními fyzikálními nebo chemickými vlastnostmi. Chráněné sloučeniny mají určitý potenciál vytvořit látky humusové. Humusové látky mají velmi dlouhou životnost, jsou tedy v půdním prostředí stálé. Je o nich známo, že nepodléhají mikrobiální ani plísňové degradaci a působí velmi blahodárně na půdní prostředí, jak již bylo zmíněno (PICCOLO, 1996).

2.4. Jak správně posoudit kvalitu humusu v kompostu

Kvalitu kompostu je možné stanovovat pomocí různých metod a na základě různých parametrů. Většina metod se zaměřuje na chemické nebo biologické parametry založené na poměrech N (NH_4/NO_3), humifikačních indexech nebo činnosti hydrolytických exoenzymů. Výsledné hodnoty jsou využívány k posouzení zralosti, či stability stanovených kompostů. Běžně se ke stanovení kvality kompostu využívalo i stanovení množství příhodných bakterií pro půdu, do které byl kompost posléze aplikován. Všechny stanovené parametry jsou velmi důležité a v následující kapitole se podíváme na často používané metody pro stanovení kvality kompostu (ALVARENGA *et al.*, 2016).

Jedna z prvních teorií, která se zabývá hodnocením kvality humusu je velmi stará a také nepřesná. Podle této metody se kvalita humusu odvozovala od poměru prvků C, H a O. Tento způsob měl do jisté míry svoji logiku, protože poměr do jisté míry odrážel obraz struktury základního monomeru humusové kyseliny, ale jen velmi hrubě, nezobecnitelně. Tuto metodiku využíval v hodnocení kvality humusu Soussure (1804) a její vliv je patrný do dnes (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

Jedním z velmi častých ukazatelů kvality humusu může být stupeň polymerace a kondenzace aromatických jader humusových kyselin. Základy této metodiky stojí na absorbancích zjištěných spektrofotometricky proměřením roztoků s různým zastoupením humusových látek. Tyto látky při měření při použití různých vlnových délek ve viditelné oblasti záření je možné posuzovat z pohledu stupně jejich polymerace, nebo disperzity. Jako velmi často využívanou modifikaci tohoto principu můžeme uvést např. měření hodnoty barevného kvocientu $Q_{4/6}$. (HORÁČEK *et al.*, 1994) Kvocient $Q_{4/6}$ je vlastně poměrem extinkce humátů sodných v roztocích, nastavených na jednotný obsah uhlíku (0,136 g/1000 ml) při vlnových délkách 465 a 619 nm. Huminové kyseliny se extrahují ze vzorku zeminy 0,1 NaOH po dekalcinaci 0,2 H₂SO₄ a z alkalického vzorku se sráží 0,2 M H₂SO₄ a po promytí rozpouštějí na humáty v sodné v 0,02 M NaHCO₃. Barevný kvocient $Q = E_{465} / E_{619}$ u huminových kyselin z černozemí má obvykle hodnotu 2,5 – 3,0 a u hnědozemí, které patří do jiné referenční třídy půd, fluvisolů, má hodnotu 3,5 – 4,5. Pokud $Q_{4/6}$ má hodnotu kolem 8, lze z toho zjednodušeně vyvodit, že je kvalita humusu (v tomto případě huminových kyselin) horší. Stanovení barevného kvocientu je jednoduché, a do dnešních dní velmi oblíbené, ale nelze zapomínat na jeho vady. Ty spočívají především v hodnocení výsledků kvality humusu v závislosti na stupni kondenzace a snížení stupně disperze huminových kyselin v roztoku. Pokud tedy považujeme za základní kvalitativní znak humusu jeho aktivní iontovýměnná místa, dává nám barevný kvocient jen velmi hrubý a často mylný odhad kvality. To proto, že vztah sledovaných hodnot k iontové výměně je velmi volný (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

V současné době je snaha o vyhnutí se extrakci humusových látek z půdy, a proto se pedochemici velmi často zaměřují na metodu stanovení iontovýměnné kapacity (KUŽEL a kol. 1996).

2.4.1. Stanovení iontovýměnné kapacity

Sledování iontovýměnné kapacity je v současné době chápáno jako významný znak kvality humusu. Hodnotu této kationtové výměnné kapacity (KVK) měří odděleně od KVK minerálního koloidního podílu půdy, tak že provádí stanovení před a po destrukci organické hmoty oxidací H₂O₂ (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

2.4.2. Stanovení kationtové výměnné kapacity

Tato metoda se využívá především pro její jednoduchost a objektivitu (SANDHOFF, 1954). Podstata spočívá v tom, že půda je převedena do H⁺ cyklu (nahrazení výměnných bazických kationtů vodíkem) se titruje Ba(OH)₂. Přitom Ba²⁺ nahrazuje vodík

v sorpčním půdním komplexu a vzniká málo disociovaná voda, takže vodivost systému se prakticky nemění. Před dosažením bodu ekvivalence (nasycení) vodivost již mírně stoupá, protože se na ní již začínají podílet i ionty Ba slabě poutané v silně nasyceném sorpčním komplexu půdy. Po úplném nasycení (za bodem ekvivalence) se začínají uplatňovat volné ionty titračního roztoku a vodivost prudce stoupá (KUŽEL a kol. 1996, HORÁČEK *et al.*, 1994).

Princip metody spočívá ve vytěsnění vyměnitelných kationtů přebytkem H⁺ iontů (na 5 g zeminy cca 50 ml 0,1 M HCl) za tepla (ohřev probíhá v sušárně přesně při teplotě 60 °C po dobu 30 minut), jejich vymytím po odfiltrování extraktu a následném promývání zeminy do vymizení reakce na Cl⁻ (důkaz AgNO₃). V promyté zemině jsou H⁺ ionty nahrazeny ionty Ba²⁺, jejichž množství, určíme konduktometrickou indikací bodu ekvivalence, a výsledná hodnota udává kationtovou výměnnou sorpční kapacitu půdy. Navážka vyzrálého kompostu 5 g s přesností na 0,001 g byla volena tak, aby výsledná spotřeba faktorizovaného 0,2 N Ba(OH)₂ přidávaného do 10 ml v množství po 0,5 ml po jedné minutě a po překročení spotřeby 10 ml Ba(OH)₂ po 1 ml za stálého míchání byla v rozmezí 15 – 20 ml (SVOBODOVÁ, 2011). Celý výpočet je nutné graficky znázornit pomocí bodového grafu, který bude na ose X vyjadřovat množství přidávaného Ba(OH)₂, zatímco osa Y znázorní vodivost suspenze nejlépe v μS. U získané konduktometrické křivky povedeme jednu tečnu s její vodorovnou (až mírně stoupající) větví a druhou tečnu s prudce stoupající větví. Průsečík obou tečen bude udávat spotřebu Ba(OH)₂ a stanoví tak hodnotu maximální sorpční kapacity T stanovovaného kompostu. Tato hodnota v mval.100⁻¹ g bude vypočítána ze vztahu:

$$T = \frac{s \cdot N \cdot f \cdot 100}{N} \text{ [mval} \cdot 100^{-1} \text{ g půdy]}$$

(HORÁČEK *et al.*, 1994).

2.4.3. Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty

Úrodná půda musí obsahovat organickou hmotu primární, která má schopnost rychlé mineralizace a humifikace pro zajištění biochemických procesů v půdě včetně dodání energie pro proces endotermní humifikace. Půda také potřebuje i složku sekundární, kterou zastupuje humus. Funkce humusu spočívá především v ochraně iontů živin před elucí srážkovou vodou a zajištění dobrého využití živin, které jsou dodávány do půdy. Pro měření lability organické hmoty (její schopnost mineralizace a biochemické oxidace) z hlediska kvantitativního obsahu je v současnosti známá již celá řada metod. Je možné určit i míru lability této organické frakce, vyjadřující ochotu primární složky půdní

organické hmoty k mineralizaci a k biochemické oxidaci, která je kritériem potencionální půdní úrodnosti měřeného půdního vzorku.

Pokud se ale týká měření celkového množství a kvality půdní organické hmoty (SOM = soil organic matter) je většinou stále charakterizována stále jen hodnotou C_{ox} , vyjadřující množství oxidovatelného uhlíku v půdě. Přitom je obecně známo, že C_{ox} vyjadřuje stejně tak primární organickou hmotu s malou iontovýměnnou schopností a velkou ochotou k mineralizaci, jako organickou hmotou zhumifikovanou, s právě opačnými vlastnostmi. Někdy se získaná hodnota C_{ox} dále přepočítává koeficientem 1,724 na % humusu v půdě. Tento přepočet je nesprávný, protože vede k přesvědčení, že humusové kyseliny mají stejný obsah uhlíku (C) a to 58%, což není pravda.

Modernější práce z oblasti půdního uhlíku zkoumají, jaký podíl z celkového množství půdního uhlíku tvoří uhlík nejdůležitějších částí humusu, humusových kyselin. Stanoví se stupeň humifikace. To znamená podíl uhlíku zhumifikované části půdní organické hmoty (KOLÁŘ *et al.*, 2013).

Způsob měření stupně rozložitelnosti organické hmoty na bázi hydrolýzy organických látek

Metoda je založena na způsobu měření stupně rozložitelnosti organické hmoty na bázi hydrolýzy organických látek.

Popis metody:

- Základním vzorku jemně rozemleté organické hmoty se stanoví obsah uhlíku C_{org} přičemž celková hmotnost vzorku by neměla přesáhnout hmotnost 3 g,
- Následně je základní vzorek hydrolyzován roztokem 70% H_2SO_4 v otevřené nádobě při teplotě 105°C
- V průběhu hydrolýzy se odebere alespoň 8 dílčích vzorků, přičemž během první ½ hod. probíhající hydrolýzy se dílčí vzorky odebírají v intervalech 10 min, následně se dílčí vzorky odebírají v intervalech po 1 hodině
- Každý odebraný dílčí vzorek se vkládá do jedné centrifugační zkumavky, kde je po usazení zákalu centrifugován, přičemž vzniklý supernatant se slije do vzorkovnice
- K pevnému zbytku v centrifugační zkumavce se přidá destilovaná voda, pevný zbytek a destilovaná se promíchají, odstředí a vzniklý supernatant se přidá k supernatantu z minulého kroku do vzorkovnice,

- Po ukončení hydrolyzy se nezhydrolyzovaná organická hmota vysuší při teplotě 105°C, stanoví se její hmotnost a obsah uhlíku C_{org} , jehož procentický podíl z celkového uhlíku C_{org} základního vzorku je hodnota stabilního uhlíku C_{stab}
- Následně se stanoví rychlostní konstanta (k) hydrolyzovaného podílu org. hmoty analýzou supernatantů dílčích vzorků ve vzorkovnicích (KOLÁŘ *et al.*, 2013).

2.5. Monitoring základních mezních limitů procesu kompostování

Pro zajištění správného procesu kompostování vedoucí k vytvoření kvalitního kompostu je nezbytné pravidelné a systematické vyhodnocování stěžejních parametrů, které kompost musí mít. Monitoring je neodmyslitelnou součástí procesu tvorby kvalitního kompostu, a tudíž ho není možné zanedbávat v žádné technologii kompostování. Následné řízení a zásahy do kompostovacího procesu (překopávání, vlhčení, popř. inokulace mikroorganismy) jsou podnikány právě na základě jednotlivých měření, která nám mají dát určitý podnět k zahájení těchto operací. Hlavní parametry zjišťované při měření hodnot v kompostovaném materiálu:

- Teplota kompostu (°C)
- Vlhkost kompostu (%)
- Obsah kyslíku v kompostu (%)
- Mikrobiální hodnocení kompostu
- Agrochemické hodnocení kompostu
- Monitorování plyných emisí

(JELÍNEK a KOLÁŘOVÁ, 2016)

2.5.1. Poměr C:N

Uhlík je jedna z nejdůležitějších živin přijímaná mikroorganismy. Je ale důležité mít na paměti, že ne všechny uhlík přítomný v kompostovaném materiálu bude k dispozici přítomným dekompozitorům. Dostupnost tohoto prvku je závislá jak na typu mikroorganismu, tak na formě, ve které je uhlík přítomný. Mikroorganismy samotné vykazují širokou variabilitu ve vztahu ke sloučeninám uhlíku, které mohou využít. Škála využití se mění společně s druhem mikroorganismu. Variabilita začíná od jednoduchých cukrů až po složité organické molekuly (jako např. celulóza a lignin). Složení mikroorganismů se mění v závislosti na fázi, ve které se kompostovací proces nachází. Čím více rezistentních forem uhlíku (lignin) se v kompostu nachází, tím větší bude ve finálním produktu část tvořena právě těmito nerozloženými polysacharidy (BORDER, 2002).

Uhlík, jako takový je možné zjistit i v již založeném kompostu, a tím si na základě tohoto testu ověřit správnost receptury při výběru jednotlivých komponentů kompostovacího procesu. Surovinová skladba čerstvého kompostu je dána hmotnostním poměrem jednotlivých odpadů nebo hmot, které jsou navážené do kompostové zakládky. Organická hmota odpadů představuje pestrý sortiment látek, různě odolný mikrobiologickému rozkladu. Rychlost rozkladu různých organických zbytků je možno si vysvětlit různou labilitou materiálu a různým poměrem uhlíku a dusíku (C:N), tj. různým poměrem organických a anorganických látek (ZEMÁNEK, 2001). Z toho vyplývá, že mezi základní živiny obsažené v kompostu, které jsou také důležité pro mikroorganismy, patří dusík (N) a uhlík (C). Mimo těchto dvou se zde vyskytují ještě další prvky, jsou to např. fosfor (P), který zajišťuje energetiku humifikace a draslík (K). Dusík, fosfor a draslík patří mezi základní živiny, které jsou důležité pro rostliny, a proto hrají i rozhodující roli společně s mikroživinami pro výslednou kvalitu kompostu (PLÍVA, 2005). Při tomto tvrzení nesmíme zapomínat na to, že anorganické látky neposkytují živnou půdu pro mikroorganismy a jsou proto považovány za balastní složku. Naopak, při velkém nadbytku organické složky probíhá humifikace organického podílu pomaleji (ZEMÁNEK, 2001).

Přesto příznivé zrání kompostu do značné míry závisí na poměru účinného uhlíku C_{hws} a účinného dusíku N_{hws} , který má být alespoň 30:1. Kdyby byl poměr širší, hrozilo by nebezpečí pomalého rozkladu organické hmoty. Z tohoto důvodu se doporučuje upravit poměr C:N již při zakládání kompostu, a to například přidáním dusíkatých průmyslových hnojiv nejlépe s organickou formou dusíku (TEKSL, 1999). Je bezpodmínečně nutné, aby byly tyto hodnoty dodrženy, jelikož ztráty uhlíku jsou v kompostovacím procesu na mnohem vyšší úrovni, než jak je tomu u dusíku. Poměr C:N v průběhu kompostovacího procesu klesá a jeho hodnota může kolísat okolo 20 : 1 (BORDER, 2002).

Změnit poměr C:N je třeba v substrátech s vysokým zastoupením slámy nebo lignocelulózy. V kompostech s podobným složením biologických odpadů (sláma, dřevní štěpka) je nutné poměr C:N snížit. Za tímto účelem můžeme využít například chlévskou mrvu skotu, či jiných hospodářských zvířat. Pokud není mrva k dispozici, je možné ji nahradit například odpady rohovinového původu v poměru okolo 3 kg na 1 m³. Podobný účinek můžeme očekávat například i od ricinového šrotu, který je možné dávkovat v množství až 5 kg na 1 m³. Přidáním těchto látek bychom měli doplnit chybějící živiny a zdokonalit tak proces kompostování (SULZBERGER, 1996).

Tabulka č. 4 - Poměr C: N v některých surovinách ke kompostování (ROY et al., 2011)

Surovina	C:N	Surovina	C:N
Posekaná tráva	20:1	Sláma	100:1
Hnůj skotu	20:1	Kůra	120:1
Koňský hnůj	25:1	Dřevo, větve	200:1
Listí	50:1	Papír, karton	350:1
Jehličí	70:1	Piliny	až 500:1

Obsah uhlíku je možné zjistit i v již založeném kompostu, a tím si na základě poměrně jednoduchého testu ověřit správnost při výběru jednotlivých komponentů kompostovacího procesu.

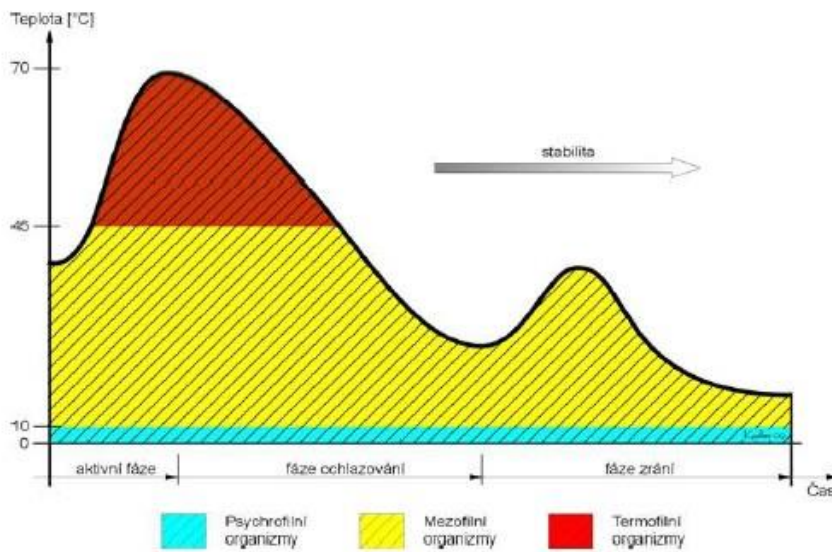
Množství uhlíku vyskytující se v komponentech pro připravovaný proces kompostování, již kompostované směsi, či v hotovém kompostu může být vypočítána pomocí tzv. spalitelných látek z usušeného vzorku. Tyto spalitelné látky se odstraní z usušeného vzorku samozřejmě díky procesu spalování při 500 – 600 °C. Spalitelné látky se skládají především z těchto prvků: uhlíku (C), kyslíku (O) a dusíku (N). Naopak zbylý popel je složen především z vápníku (Ca), hořčíku (Mg), fosforu (P) a draslíku (K). Z metodiky Adamse lze zjistit, že obsah uhlíku ve spalitelných látkách tvoří u velké části organických odpadů 55%. Proto lze celkový obsah uhlíku v kompostovaných komponentech spočítat následujícím způsobem: % uhlíku = (% spalitelných látek) / 1,8 (ADAMS et al., 1951).

2.5.2. Teplota

Vliv teploty na proces kompostování

Jednou ze stěžejních měřených hodnot, na které si v kompostovacím procesu musíme dát nejvíce pozor, je právě teplota. Zde je nutné vést pravidelnou kontrolu hodnot a v případě odchylky provést vhodné opatření, které navrátí proces tvorby kompostu do „správných kolejí“.

Obrázek č. 3 Optimální teploty při procesu kompostování (ROY, 2013)



Na obrázku č. 1 je zachycen optimální průběh teploty při procesu kompostování (v pásových hromadách). V této technologii je prováděna regulace teploty překopáváním pomocí samojízdného či taženého stroje (u boxových kompostáren je použito chlazení vzduchem). Teplota je tzv. funkcí kompostu, to proto, že je z ní možné zjistit v jaké fázi kompostování se kompostovaný materiál nachází a případně jak dlouho bude ještě proces trvat, či zda je kompost již zralý. Výše teploty je dána především mírou aktivity v kompostu přítomných mikroorganismů. Průběh teplot je možné rozdělit do dvou hlavních fází (ROY, 2013).

Teplotní fáze v kompostovacím procesu

Kompostování je proces, při kterém dochází k přirozenému procesu recyklace. V tomto procesu jde o to, že materiál, který je přítomný při jeho začátku se různými procesy vrací až na samotný začátek biologického řetězce. Rozklad kompostovaného materiálu má v základě tři fáze, které jsou popsány níže a jsou úzce spjaté právě s teplotou. Teplota musí být pravidelně měřena a z jejích hodnot je možné určit, v jaké fázi kompostování se materiál nachází.

- Do 12. dne by se teplota kompostovaného materiálu měla pohybovat v rozmezí od 60 – 67 °C (SUNDBERG, 2005). V první (Termofilní fázi) je nutné provzdušňovat kompostovaný materiál každý den.

- Do 21. dne teplota kompostovaného materiálu nesmí klesnout pod 55 °C (Přerušení má za následek přerušení procesu hygienizace).
- Po 21. dnu se teplota v kompostu postupně snižuje a klesá tak pod 55°C.
- Ve třetí fázi dochází ke stabilizaci teploty. Zde dochází i ke stabilizaci kompostovaného materiálu (HEJÁTKOVÁ, 2007).

Termofilní fáze

V počáteční fázi dochází činností mikroorganismů k rozkladu lehce odbouratelných organických látek (např. cukry, bílkoviny, aminokyseliny), který pokračuje ve fázi termofilní. Přitom se uvolňuje energie a teplota roste. Za vhodných podmínek (optimální C:N, obsah vody, kyslíku apod.) může teplota kompostovaného materiálu během 1 – 2 týdnů dosáhnout 55 – 65° C. Tento proces je také závislý na teplotě okolí. Hluběji, tím je myšleno ve středu kompostované hromady může teplota dosahovat i 83°C. Tyto teploty jsou především důležité při hygienizaci kompostu (Tesařová, 2010).

Mezofilní fáze

Doba trvání této fáze se může pohybovat i v řádech měsíců. Vše záleží na podmínkách, které jsou přítomny při procesu zrání kompostu. Pokud zabezpečíme i v této fázi vysokou teplotu, dojde k výraznému urychlení rozkladu bílkovin, tuků a polysacharidů, nejčastěji zastoupených v podobě celulózy a hemicelulózy. Bohužel teplota klesá společně se zásobami těchto vysokoenergetických směsí, a tak se celý proces zpomaluje. V konečné fázi se může teplota v kompostu pohybovat i na pouhých 25°C. V této fázi dochází k nahrazení termofilních bakterií skupinou bakterií mezofilních. Mimo to, v této části teplotní fáze dochází k rozkladu organických látek a tvoří se základ pro humusotvorné látky. Ty pak velmi dobře znázorňují kvalitu vyrobeného kompostu a v budoucnu se mohou v půdě přetransformovat v humus, který je jedním ze základních stavebních kamenů v půdě. Důležité je zmínit, že již na konci této fáze je vyrobený kompost použitelný jako hnojivo (HOLIŠOVÁ, 2008).

Fáze syntézy

Při této třetí a poslední fázi kompostování dochází k dozrávání samotného kompostu. Teplota v téměř hotovém kompostu klesne vždy až na teplotu okolí. Energie z rozkladu již zmíněných jednoduše rozložitelných látek byla využita k vytvoření vazeb mezi

organickými a anorganickými látkami. Mimo to také dochází k poklesu hmotnosti kompostu jako v každé fázi tvorby kompostu. Ta je ve srovnání s předchozími fázemi zanedbatelná. Celkový pokles hmotnosti kompostovaného materiálu se pohybuje mezi 50 - 60 % (podle složení zakládky kompostu) (ISKANDIROVÁ, 2012).

Hygienizace kompostu

Při kompostování biologického materiálu vždy riskujeme, že se v kompostu vyskytnou nebezpečné bakterie, nebo semena plevelných rostlin. Riziko obsahu patogenních bakterií a semen plevelných rostlin se mění s ohledem na materiál použitý při zakládání kompostovací hromady. Například kaly z čistíren odpadních vod značně zvyšují možnost výskytu nebezpečných patogenních mikroorganismů (VINNERÅS *et al.*, 2010). V kompostovaném materiálu se takto mohou velmi často objevit koliformní bakterie. Tento rod bývá velmi často zastoupen bakteriemi *Escherichia coli* (LARNEY *et al.*, 2003). Existuje několik možností, jak regulovat patogeny vyskytující se při procesu kompostování. Nejlépe využitelný způsob se zakládá na využití tepla, které je produkováno při samotném procesu rozkladu organického materiálu. Inaktivace škodlivých patogenů nastává při hraniční teplotě 50°C a přímo úměrně roste se zvyšováním teploty. K tomu, aby mohlo dojít k takovému nárůstu teploty, musí být vhodné podmínky. Ty se zakládají především na dostatku energie potřebné pro rozkladače, dostatku vzduchu, dostatečné vlhkosti a při optimálním pH. V procesu kompostování není možné sledovat zvlášť každý druh patogenního mikroorganismu, či semeno plevelné rostliny. Z tohoto důvodu je stanovená hygienizační doba, při které nesmí teplota v kompostovaném materiálu klesnout pod hranici 50°C (VINNERÅS *et al.*, 2010).

Do této problematiky je nutné zahrnout i hygienizaci biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO), které budou tvořit většinu kompostovaných materiálů v městských kompostárnách. Podle zákona č. 314/2006 Sb. je vztažen proces hygienizace i na BRKO. Zákon udává, že všechna zařízení, která se zabývají nakládáním a zpracováváním BRO, respektive BRKO, musejí splňovat přísné požadavky na účinnost hygienizace v průběhu celého technologického procesu. Hodnocení kvality a zdravotní nezávadnosti produktů je založeno na laboratorních analýzách odebraných vzorků substrátu nebo digestátu, přičemž je sledována zejména přítomnost indikátorových patogenních mikroorganismů. Jejich limitní hodnoty se udávají v KTJ, kolonie tvořící jednotku (MUDRUŇKA, 2015).

Škodlivé mikroorganismy, které můžeme v kompostu nalézt

Jak již víme do kompostovacího procesu je zapojeno velké množství mikroorganismů, ale u většiny z nich je nám jejich přesná role neznámá. Výskyt mikroorganismů je velmi závislý na různých faktorech (složení substrátu, teplota kompostovaného materiálu). V prvních fázích kompostování dochází k velmi dramatickému zvýšení teploty právě vlivem nadměrné činnosti mikroorganismů. V pozdějších fázích kompostovacího procesu jsou mikroorganismy nahrazeny různými druhy hub.

Škodlivé mikroorganismy bývají do kompostu zavlečeny většinou se vstupními surovinami. Ty by ovšem měly být zneškodněny při procesu hygienizace za pomoci vysokých teplot. Také byly prokázány jiné mechanismy, které mohou k inaktivaci těchto patogenů pomoci. Jedná se především o některé chemické sloučeniny nacházející se v různých druzích rostlin, či o interakce s četnými antagonisty (INSAM *et al.*, 2010). Velkým problémem mohou být statková hnojiva přidávaná do kompostu, nebo i čistírenské kaly. Ty mohou často obsahovat nežádoucí mikrobiální znečištění (MANYI-LOH *et al.*, 2016).

Ze širokého spektra mikrobiálních patogenů, se kterými je možné se při procesu kompostování potkat jsou v České republice zákonem zachycené tři skupiny. Jedná se o bakterie rodu *Salmonellae*, termotolerantní koliformní bakterie a enterokoky. Tyto patogenní mikroorganismy mají v odebíraných vzorcích své limity, které nesmí překročit. Z každého stabilizovaného kompostu by se mělo odebrat pět vzorků a ty by měly splňovat následující limity: termotolerantní bakterie a enterokoky $< 10^3$ KTJ g⁻¹, zatímco u bakterií rodu *Salmonellae* je jejich výskyt nepřipustný, a proto je vyžadována naprostá absence v 50 g vzorkovaného produktu (MUDRUŇKA, 2015). Kvalitní kompostování má zabránit šíření těchto patogenů. Snížení jejich obsahu může být dosaženo na základě kvalitní aerobní digesce a již zmíněnou hygienizací kompostu. (MANYI-LOH *et al.*, 2016). AVERY *et al.* (2012) ve své studii označují možnost přežití bakterií rodu *Salmonella* a *Escherichia coli* jako nepravděpodobné, ale zároveň dodává nutnost dodržet veškeré podmínky pro kompostování, a mimo to také pokyny týkající se nakládání se statkovými hnojivy. Dodržování uvedených pravidel podle Alveryho povede ke zvýšení důvěryhodnosti kompostu jako organického hnojiva a zvýší se tím i jeho odbyt.

Tab. č. 5 Škodlivé organismy v organických odpadech

Bakterie	<i>Salmonella, Escherichia, Yersinia, Streptococcus, Staphylococcus</i>
Mikromycety	<i>Aspergillus (A. Fumigatus)</i>
Viry	Enteroviry (viry hepatitidy A)
Paraziti	<i>Ascarislumbricoides</i> (hlíst)

Vlivy rozdílných teplot na proces kompostování

Kiyohiko Nakasaki se svými kolegy publikovali studii, ve které byla měřena optimální teplota pro proces kompostování čistírenského kalu. Svou studii založili na předpokladu, že bakteriální organismus přijímá O₂ a následně vylučuje CO₂. Následně měřili tyto hodnoty a ze získaných poznatků určili optimální teplotu pro funkci bakterií v kompostovaném materiálu.

Při kompostování čistírenských kalů byl zkoumán vliv teploty na proces kompostování. Teploty se v této studii pohybovaly v rozmezí 50, 60 a 70 °C. Z naměřených hodnot 50 – 60 °C vyplynulo, že konečná konverze těkavých látek a celkové množství uvolněného CO₂ bylo nejvyšší při teplotě 60°C. Následně při zvýšení teploty na 70°C nabrala reakce rychlost a spotřeba O₂ v (mol / hodinu na životaschopnou buňku) byla nejvyšší z celkového měření při teplotě 70°C. Po odizolování specifické bakterie, která měla nejlepší výsledky při 60°C se ukázalo, že se jednalo právě o tuto bakterii, která zapříčinila nárůst rychlosti spotřeby O₂ a vylučování CO₂. Z tohoto výzkumu je patrné, že energie získaná katabolismem těchto organismů není přímo spojena s jejich následným anabolismem při vyšší teplotě a také, že rychlost metabolismu těchto bakterií je při 70°C až 4x rychlejší. Tímto způsobem je možné urychlit celý proces kompostování, jelikož při žádné jiné teplotě není možné docílit takového stavu, který by nabízel tak rychlou metabolickou funkci (NAKASAKI a SHODA, 1985).

2.5.3. Hodnota pH

Optimální pH se při kompostování sleduje z velké části kvůli mikroorganismům. Pro činnost mikrobiální flóry je velmi důležité dodržet optimální hodnotu pH, která se pohybuje okolo 6 až 8. Hodnota není během procesu stálá. Na počátku má pH tendenci klesat a poté se znovu přibližuje k hodnotám neutrálním. Je to z důvodu rozkladu rostlinných zbytků, které jsou spíše kyselé povahy. Proto je nutné proces kompostování upravovat pomocí vápnění. Optimální pH je nutno sledovat, neboť pro mikroorganismy

působící v kompostovacím procesu hraje pH zásadní roli. Má zásadní vliv na kvalitu výsledného kompostu. Pokud chceme úspěšně vytvořit kvalitní kompost je nutné tyto hodnoty pečlivě sledovat (VESELSKÝ, 2010).

Vliv pH na proces kompostování

Při procesu kompostování se můžeme setkat se třemi druhy bakterií. Ty se vyskytují v návaznosti na hodnotách pH. Můžeme zde najít skupinu bakterií tzv. acidofilní. Tyto bakterie se vyskytují při hodnotě pH nižší než 5. Další tzv. neutrofilní bakterie se vyskytují při pH pohybujícím se okolo hodnoty 7. Alkalofobní bakterie jsou nejvíce přítomné při pH v rozmezí od 7 – 12. V procesu kompostování máme snahu, aby se nejčastěji vyskytovali termofilní mikroorganismy při pH 7,5 – 8,5. Ty mají pro dekompoziční proces biodegradovatelného materiálu nejvyšší význam a dosažení této hodnoty pH by mělo být tedy naším cílem. (JERIS a REGAN, 1973)

Nízké pH a problémy se zápachem

S modernizující se společností je čím dál větší problém s jakýmkoli zápachem. Tento problém nemínul ani kompostovací zařízení, která jsou poměrně velkým zatížením, co se týká emisí nepříjemně zapáchajících plynů. Nadměrný zápach může být zapříčiněn mimo jiné i dlouhotrvajícím rozkladem biologického materiálu. Mezi jednu z příčin dlouhodobého rozkládání kompostované biomasy patří i dlouhodobě nízké pH. Tímto problémem se zabýval Sundberg se svým týmem. Cílem jejich studie bylo zjistit, zda existuje korelace mezi nízkým pH a mikrobiálním složením v průběhu kompostování. Vzorky pocházející z laboratorních pokusů a dvou velkých provozoven byly na základě čichového ohodnocení rozděleny do dvou skupin a to: pH nad 6,5 a pod 6,0. Vzorky s nižším zápachem byli výrazně sušší, chudší na dusičnany a téměř beze stop po organických kyselinách. Vzorky obou skupin byly kolonizovány především bakteriemi rodu *Bacillales* /řád gram-pozitivních bakterií/. Mezi reprezentativní rody *Bacillus* zahrnují *Listeria*, *Staphylococcus* a *Actinobacteria*. Přítomnost těchto organismů je příslibem kvalitního kompostu, ale za cenu silnějšího zápachu. Vzorky se silným zápachem obsahovali bakterie rodu *Laktobacterium* a *Clostridium*, známé především pro svůj silný zápach. Z tohoto důvodu doporučují provést rychlé překopání kompostů s nízkým pH a využít inokulace správného druhu mikroorganismů pro zastavení množení těch nežádoucích (SUNDBERG, 2013).

2.5.4. Vzdušný režim

Kompostování je ve svém základu převážně aerobní proces. To znamená, že pokud není k dispozici potřebné množství vzduchu pro aerobní degradaci bioodpadu, který se vyskytuje v naší kompostované hromadě, tak ve výsledku dochází ke zpomalení kompostovacího procesu a vlivem změny z aerobního rozkladu na rozklad anaerobní začne budoucí kompost také silně zapáchat (BIOCYCLE, 2013).

Provzdušňování kompostu a vytváření aerobních podmínek je hlavní zásadou aerobního procesu kompostování. Mikroorganismy, přeměňující organickou hmotu při kompostování, mají vysoké nároky na kyslík a jako vedlejší produkt vylučují oxid uhličitý. To znamená, že technologie kompostování musí umožnit výměnu plynů mezi zrajícím kompostem a okolím tak, aby v substrátu byl dostatek čerstvého vzduchu s kyslíkem (vzdušný kyslík). Obsah vzdušného kyslíku ve vzdušných pórech zrajícího kompostu by měl být minimálně 6% obj. Nově založený kompost (promíchané suroviny) by měl být kyprý, porézní a nepřevlhčený, musí obsahovat dostatek kyslíku pro počáteční nastartování procesu. Způsoby zabezpečování dostatečného množství vzdušného kyslíku v průběhu zrání se liší podle použitých kompostovacích technologií.

Měření obsahu kyslíku ve zrajícím kompostu je věc značně komplikovaná, ale pro praxi lze využít jednu zajímavou poučku. Pokud je v kompostu nedostatečné množství vzdušného kyslíku, plynné produkty metabolismu mikroorganismů nemohou být plně oxidovány a do prostředí se uvolňují lehce identifikovatelné zápachající látky. Mezi tyto zápachající látky patří například amoniak (NH_3), sirovodík (H_2S), merkaptany a různé kyseliny (kyselina máselná, octová, mléčná). Kompost s nedostatkem kyslíku se tedy projevuje kyselým až hnilobným zápachem (JELÍNEK *et al.*, 2002).

2.5.5. Vlhkost kompostu

Vlhkost je důležitý faktor, na který je třeba myslet již při sestavování surovinové skladby. Nedostatečná vlhkost způsobuje velké problémy v průběhu celého průběhu kompostovacího procesu. Nejvíce může proces kompostování poznamenat rozvoj špatné mikrobioty s převahou plísní a aktinomycet. Při nadbytečné vlhkosti dochází rychle k vytěsnění kyslíku ze substrátu společně s rozvojem anaerobní mikrobioty, který má za následek „zkysnutí kompostu“. Optimální vlhkost v kompostu nastává, pokud je minimálně 70% pórů čerstvého kompostu zaplněno vodou.

Je třeba brát v úvahu množství organických látek. S jejich obsahem v kompostu zpravidla stoupá i pórovitost a tím pádem se zvyšuje potřeba vody. Tento fakt znamená, že v praxi existují určité druhy kompostů se speciálními požadavky na vlhkost

v závislosti na množství organické hmoty. Optimální vlhkost u čerstvého kompostu pro zemité komposty s obsahem organických látek do 20 % v sušině (např. na bázi rybníčního bahna) je 45 – 50 %. Komposty vyráběné převážně ze zemědělských odpadních hmot s obsahem okolo 30 – 40 % organických látek v sušině vyžadují počáteční 55 – 60%. V průběhu kompostovacího procesu dochází k přirozenému odparu. Proto je nutná pravidelná kontrola a doplňování tekutin. Na úpravu vlhkosti musíme dbát především při zrání kompostovaného materiálu. V tomto období se snižuje pórovitost, a tak i potřeba vody pozvolna klesá (VÁŇA, 1994).

Pravidlem pro zakládání kompostu je volba nižší vlhkosti, která je při případném pochybení snáze opravitelná. U převlhčeného kompostu je úprava mnohem složitější a může se negativně projevit na kvalitě kompostovacího procesu což má vliv i na výsledný produkt (KÁRA *et al.*, 2002).

Stanovení vlhkosti

Stanovit vlhkost kompostu (kompostovaného materiálu) je možné třemi způsoby. První je způsob laboratorní pomocí gravimetrické metody, dále je tu možnost použití provozního přenosného vlhkoměru a třetí možností je senzorická zkouška, která je pouze orientační.

Jako standardní postup pro měření vlhkosti je používána Gravimetrická metoda stanovení vlhkosti (v laboratorních podmínkách), kdy obsah vlhkosti X vyjádřený v % je vypočítán ze vzorce:

$$X = m_1 \times 100 / m$$

m_1 = úbytek na hmotnosti vzorku sušením (g)

m = hmotnost vzorku před sušením (g)

Určování vlhkosti kompostovaného materiálu pomocí přenosného vlhkoměru je metoda umožňující okamžité zjištění vlhkosti v kompostovaném materiálu s nižší přesností.

Orientační zkouška je využitelná pouze pokud provádějící osoba disponuje určitou zkušeností. Metoda je založena na silném stisknutí kompostovaného materiálu a následném odhadu úrovně vlhkosti v materiálu. (HEJTÁKOVÁ, 2007)

2.6. Technologie kompostování v České republice

2.6.1. Kompostování v pásových hromadách na volné ploše

Nejvíce využívanou technologií kompostování v městských kompostárnách v České republice je bezpochyby kompostování v pásových hromadách na volné ploše.

Mezi hlavní důvody rozšíření tohoto způsobu zpracování biologicky degradovatelných odpadů patří především stále vyšší produkce biologického odpadu a mimo to i legislativní rámec EU (např. směrnice rady č. 1999/31/EC o skládkách odpadů). Tyto skutečnosti vedou ke snaze zakládat nové kompostárny. Tyto zařízení jsou však velmi finančně náročná. Proto se v této souvislosti volí nejméně finančně náročné tzv. řízené kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Při této technologii je bezpodmínečně nutné, aby byl každý zásah do kompostovacího procesu přesně naplánován a splnil svůj účel (PLÍVA, 2010).

Při použití této kompostovací technologie, je materiál (připravený pro kompostování) zakládán do pásových hromad s různou mocností a průřezem. Mocnost je obvykle limitována mechanizací, která má kompost dále zpracovávat. Průřezy mohou být lichoběžníkovitého, či trojúhelníkovitého profilu. Délka hromad je v tomto případě závislá pouze na délce kompostovací (vodohospodářsky zabezpečené) plochy (PLÍVA, 2005).

Minimální šířka kompostovací hromady trojúhelníkovitého profilu je 2 m. Ovšem z hlediska dobrého technologického zpracování biologicky degradovatelného odpadu se doporučuje zakládat pásové hromady od 2,5 až do 4 m. Přičemž výška trojúhelníkovité hromady by se měla pohybovat mezi 1,1 m a 2,2 m.

Naopak kompostovací hromady lichoběžníkovitého profilu mají mít svoji základu v průměru až o 2 m širší. Proto můžeme u zakládané kompostovací hromady dosáhnout šířky pohybující od 3 m až do 6 m. Výška ovšem zůstává stejná, jako je tomu u hromad trojúhelníkovitého tvaru od 1,1 do 2,2 m (ZEMÁNEK, 2001).

Plocha pro technologii řízeného kompostování v pásových hromadách na volné ploše

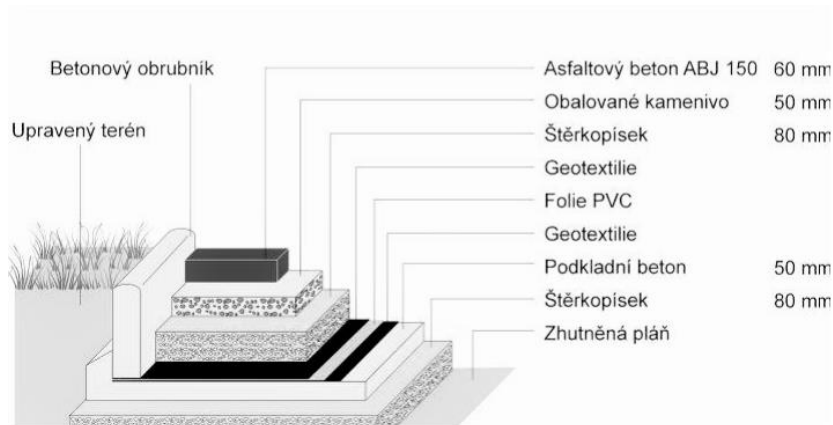
Základem každé takové kompostárny je vodohospodářsky zabezpečená plocha. Tato plocha musí být navržena odpovědným projektantem přesně podle potřeb dané kompostárny. Její velikost je individuální, to podle množství odpadu, které se zde bude zpracovávat po dobu sezóny. Avšak při projektování této plochy musí být dodrženy tyto podmínky:

- Zamezení kontaktu zpracovávaných surovin s okolní půdou a podzemní vodou
- Zajištění volného přístupu pracovní techniky k hromadám kompostu
- Minimální spád kompostovací plochy 2%
- Zabezpečení odvodu srážkových vod a splachů z kompostů do podzemních jímek odpovídající kapacity

(PLÍVA, 2010)

Vodohospodářsky zabezpečená plocha je základním stavebním kamenem každé kompostárny. Zabezpečení plochy proti úniku vod je nutné především kvůli kontaminaci spodních vod. V odpadní vodě se mimo jiné mohou vyskytovat těžké kovy jako Cu, Zn a další. Pro eliminaci možnosti znečištění odpadních vod je tedy nutná separace všech odpadních vod a šťáv vznikající při procesu kompostování (SHARIFI *et al.*, 2016). Jelikož se jedná o finančně nejnáročnější položku celého projektu (cca 800 – 2000 Kč/m²) je výhodné použít plochy, které jsou nevyužívané, ale vodohospodářsky zabezpečené. Můžeme využít např. silážní žlaby, hnojiště, zemědělské sklady hnojiv atd. Plochy určené pro skladování a jiné zpracování již stabilizovaného kompostu mohou mít nižší úroveň vodohospodářského zabezpečení (PLÍVA, 2010).

Obrázek č. 3 Správně vodohospodářsky zabezpečená plocha (PLÍVA 2008)



Přednosti kompostování v pásových hromadách

Zpracování biologicky rozložitelných odpadů je řízeným kompostováním v pásových hromadách na volné ploše. Tak lze nejen vyrobit kvalitní organické hnojivo s dostatečným obsahem minerálních živin a hygienickou nezávadností, ale současně i vyřešit problém vhodného zpracování biologicky degradovatelného odpadu v místě jeho vzniku a omezit jeho negativní dopad na životní prostředí. Dalším přínosem je

skutečnost, že produkt z kompostování místního biologicky rozložitelného odpadu je výhodnější využívat v místě jeho vzniku, než jeho aplikaci provádět ve vzdálených lokalitách. Je to ekonomické. Kompost může působit jako homeopatikum. Informace o nemocech a škůdcích jsou předány v oslabené formě do půdy. Tato skutečnost může dopomoci k namnožení přirozených antagonistů, kteří mohou patogenní organismus snadněji eliminovat. Navíc dochází k posilování obranyschopnosti u rostlin.

2.6.2. Kompostování v uzavřených boxech

Méně používanou metodou při zpracování biologicky rozložitelného materiálu procesem kompostování je technologie kompostování v uzavřených boxech s nucenou areací.

Technologie

Pro tuto technologii je důležitý výběr a zpracování kompostovaných materiálů. Po sestavení vhodné surovinové skladby kompostu musí být materiál dokonale nadrcen a promíchán. Struktura by měla být vyřešena takovým způsobem, aby bylo možné zachovat proudění vzduchu po celý kompostovací proces bez nutnosti zásahu (obracení či překopávání kompostovaného materiálu). Kompostovací směs je naskladňována na perforované kovové trubky, perforovaný betonový pás nebo difúzní desky. Tato větrací zařízení jsou spojena s účinným větrákem. Ten dle potřeby zajišťuje areaci kompostovaného materiálu. Po naskladnění připraveného materiálu ke kompostování již nedochází k jeho dalším úpravám, a proto je dobré pokrýt celou hromadu vrstvou již uzrálého kompostu. Tato vrstva by měla být asi 15–20 cm široká. Má za úkol uzavřít celý proces. Pomůže rovnoměrnému procesu kompostování v celé mocnosti naskladněného kompostu, zabrání únikům tepla. Vytvoří optimální podmínky pro kultury mikroorganismů, které stojí za degradací bioodpadů (SESAY *et al.*, 1998).

Provzdušňování

Vzduch je do kompostovaného materiálu přiváděn pomocí ventilátoru, nebo dmychadla a je v hromadě rovnoměrně distribuován pomocí perforovaných trubek nebo pásů. (SARTAJ *et al.*, 1997). Vzduch může být do kompostovaného materiálu vháněn buď nuceným vháněním vzduchu, nebo je možné vzduch dostat do kompostovací hromady sáním přes hromadu kompostovaného materiálu (indukované provzdušňování). Řízení času, kdy je vzduch vháněn je nejjednodušší provádět pomocí časovače na ventilátoru, který se spouští každou hodinu na určitý čas (podle fáze kompostovacího procesu, ve

keré se kompost nachází). Použití nuceného větrání má velmi pozitivní vliv na rovnoměrné rozložení teploty v kompostovací hromadě z tohoto důvodu je tato technologie mnohem optimálnější než kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Vzduch je také možné odsávat a pomocí jednoduchého biofiltru odstranit veškerý zápach (SESAY *et al.*, 1998).

Výhody a nevýhody kompostování v uzavřených boxech

Kontrola teploty

Teplota kompostování se může měnit v celém profilu kompostovací hromady pouze díky sofistikovanému systému aerace. Teplota je měřena pomocí několika sond, díky kterým je velmi snadno kontrolovatelná.

Kontrola aerace

Účinnost nuceného provzdušňování je mnohem vyšší a snáze regulovatelná než v systémech řízeného kompostování v pásových hromadách na volné ploše.

Kontrola vlhkosti

Při této technologii má kompost tendenci vysychat, a proto je nutné častěji kontrolovat vlhkost v kompostu a častěji zavlažovat. Ovšem krycí vrstva již zralého kompostu může částečně zabránit nadměrnému vysychání.

Kvalita kompostu

Touto metodou je možné vyrobit velmi kvalitní kompost, ale to pouze za předpokladu, že je správně založená surovinová základna kompostu. Také je důležité, aby byla hromada dostatečně izolována a provzdušňovací systém správně navržený a byl dokonale udržován. (BORDER, 2002)

2.6.3. Vermikompostování

Velkoobjemové vermikompostování ve venkovních podmínkách se v mnoha ohledech liší od pokusů s tímto druhem kompostování v laboratořích. Studie dynamika agrotechnických a biologických vlastností při vertikálním vermikompostování ve velkém měřítku v dlouhých hromadách rozšiřuje povědomí o této metodě kompostování. Přináší nové poznatky o kvalitě kompostu reprezentovanou agrochemickými vlastnostmi vzniklého substrátu (HANČ, ČÁSTKOVÁ, KUŽEL *et al.*, 2017).

Tato technologie se zakládá na biooxidaci a následné stabilizaci organického materiálu pomocí společného působení mikroorganismů a červů (žížal). Důležité je podotknout, že

i když se i v tomto biodegradačním procesu objevují mikroorganismy, tak červy jsou pro proces nezbytní. Dá se říci, že jsou přímo hnací silou této technologie. Jejich aktivita přispívá k neustálému provzdušňování kompostovaného substrátu. Neustále narušují jeho strukturu a přispívají k dokonalé mikrobiální aktivitě v průběhu vlastního kompostování. Červy v této technologii působí přímo jako „mechanické mixéry“ protože prakticky využívají ke své výživě kompostovaný substrát. Ten je díky jejich trávicí soustavě ještě více narušen a následně je jeho mineralizace mnohem snadnější. Tímto způsobem dochází i ke snižování poměru C:N, čímž se zvyšuje plocha kompostovaného materiálu a ten je mnohem dostupnější pro biodegradační mikroorganismy, které ho tímto způsobem dokáží mnohem rychleji zpracovat (EDWARDS *et al.*, 2011).

Proces vermikompostování zahrnuje dvě různé fáze, v nichž se promítá aktivita červů. První fáze tzv. fáze aktivní spočívá v průchodu kompostovaného materiálu trávicím traktem červů. Kdy dochází ke změně ve fyzikálních i mikrobiálních vlastnostech kompostovaného materiálu. Ve druhé fázi je takto upravený materiál díky aktivitě červů přesunut do čerstvějších částí kompostovaného materiálu, ve kterých ještě naplno nezačal proces biodegradace. Zde je proces biodegradace zahájen mnohem rychleji díky mikroorganismům, které se dostali do této vrstvy díky již zmíněné aktivitě červů (LORES *et al.*, 2006). Hanč, Částková a Kužel (2017) uvádějí, že ideální délka procesu vermikompostování je 12 měsíců. Za tuto dobu vermikompostování bioodpadu dochází k pravidelnému vrstvení nového bioodpadu, který slouží pro červy jako krmivo. Tento vliv přistýlání má vliv na výslednou kvalitu vermikompostu, která roste spolu se stářím kompostovaného materiálu.

Duhy červů využívaných v technologii vermikompostování

Suthar a Singh ve svém článku doporučují pro použití v rozsáhlých vermikompostovacích zařízeních druh *P. Excavatus*. Tento druh červa dosahoval nejlepších výsledků z hlediska životnosti, rychlosti množení i kvality mineralizace organické hmoty (SUTHAR a SINGH, 2008).

V České republice je běžně využíván pro potřeby vermikompostování Kalifornský červený hybrid *Eisenia foetida*. Tento hybrid pohlavně dozrává ve věku třech měsíců a dva hermafroditní jedinci vyprodukují ročně okolo 1500 mladých červů. S obdivem je, že jsou takto plodní až 16 let. Dospělý červ spotřebuje denně tolik krmiva jako je jeho tělesná hmotnost. Z tohoto spotřebovaného „krmiva“ vyrobí cca 60% biohumusu a 40 % využije pro vlastní metabolismus (VÁŇA, 1997). Nejvyšší koncentrace červů je v prostoru nejčerstvější zakládky bioodpadu (zhruba do 30 cm pod povrchem). Zde se nachází až

125 červů v jednom kg rozkládaného substrátu. Podle získaných poznatků z provedeného pokusu se převážně nacházely ve shlucích, které se v případě ukončení procesu dají od kompostu separovat a využít jako krmivo, či surovina ve farmaceutickém průmyslu. (HANČ, ČÁSTKOVÁ, KUŽEL *et al.*, 2017)

Vermikompostování v pásových hromadách na volné ploše

Venkovní uspořádání vermikompostovaných surovin do hromad na volném prostranství je klasickým a opravdu jedním z nejjednodušších typů vermikompostování. Hromady není třeba překopávat či obracet, je pouze nezbytné sledovat vlhkost, pH a teplotu. Nejčastěji využívanou variantou vermikompostování na volném prostranství v jednorázově založených hromadách je postup s tzv. příkrmováním aktivních červů. Tento postup počítá s přidáváním nezpracované suroviny (krmivo) na povrch hromady ve vrstvě 20 – 30 cm jednou za dva týdny, nebo ve vrstvě 30 – 50 cm jednou za tři týdny. Také je možné přidávat pouze 10 cm týdně. To je časově náročnější. Při navrstvení hromady vyšší než 0,5 m přestává být náchylná vůči povětrnostním vlivům a v zimě dojde k zmrznutí jen několika málo cm na povrchu, přičemž červi uvnitř hromady dál normálně žijí a zpracovávají bioodpad (HANČ a PLÍVA, 2013). Výsledné hromady pak mohou dosahovat šířky až 5 m a mohou překračovat délku i 25 m. Nesmíme zapomínat, že kvalita vermikompostu je závislá i na výskytu jiných dekompozitorů, to především hub a bakterií. Vrstva čerstvého materiálu je pro tyto organismy velmi lákavá z hlediska obsahu živin. Hub se v této vrstvě kompostu může nacházet až 3,5 µg/g sušiny a bakterie mohou tvořit až 62 µg/g sušiny. Takového množství mikroorganismů společně s koncentrací žížal vždy promění vrchní 30 cm vrstvu kompostu v nejvíce biologicky aktivní část z celé kompostované hromady. (HANČ, ČÁSTKOVÁ, KUŽEL *et al.*, 2017)

Optimální vlhkost substrátu by se měla pohybovat okolo 78 – 82% pokud dojde k porušení těchto hodnot, dochází k úhynu červů. Jako jedna z dalších podmínek je neutrální pH. Pokud pH překročí hodnotu 8 nebo se naopak sníží pod 6, znovu dochází k úhynu červů (VÁŇA, 1997).

Výhody a nevýhody vermikompostování

Nevýhodou vermikompostování je potřeba udržení stálé teploty, která by se měla pohybovat v rozmezí optimálních hodnot od 19 – 22°C. Pokud teplota klesne pod 7°C

nebo přesáhne teplotu 33°C červi se stávají netečnými a při teplotách pod 0°C či nad 42°C hynou (VÁŇA, 1997).

Mezi nesporné výhody vermikompostování patří především velká škála kompostovatelných materiálů. Dále bylo zjištěno, že za přítomnosti žížal v kompostovaném materiálu probíhá mineralizace organického fosforu (P) jiným způsobem, než je tomu u klasického kompostování pomocí mikroorganismů. V případě vermikompostování dochází totiž k mnohem rychlejší transformaci fosforu (P) z organické do anorganické formy, a tím zároveň roste dostupnost transformovaného fosforu pro rostliny. Tento fakt posouvá vermikompostovaný materiál na jinou úroveň a je možné ho téměř přirovnat k fosforečnému hnojivu. Transformace fosforu se uskutečňuje do tří anorganicky vázaných forem: Al – P, Fe – P a Ca – P, kdy zastoupení těchto forem se v procesu kompostování stále mění. (GOSH *et al.*, 1999).

Vermikompostování a obsah biohumusu

Pokud mluvíme o vermikompostu, který je výchozím produktem živých organismů (červů) vyvstává otázka, zda svou kvalitou předčí průmyslově vyráběné komposty. Pomocí červů je rostlinný materiál mnohem lépe připravený na procesy transformace, které jak víme, v celém procesu výroby kompostu hrají velmi důležitou roli. Velmi významná je zde digesce materiálu, která vede ke zmenšení plochy jednotlivých částic, čímž dochází ke zvětšení specifického povrchu a tím materiál lépe a rychleji reaguje. Další nespornou výhodou je fakt, že materiál je navíc již natráven pomocí enzymatických systémů žížal, a i to je možnou příčinou lépe probíhající transformace organické hmoty (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016).

Váchalová své závěry zakládá na několika vzorcích vermikompostů, které pochází jak z velkovýrobních, tak malých vermikompostáren. Všechny vzorky se vyznačovaly hnědočernou barvou a dehtovito-zemitou vůní a na první pohled byly kypré. Analýza bohužel ukázala, že tyto komposty mají humusu velmi málo a jejich kationtová výměnná kapacita (KVK) se pohybovala v širokém intervalu 80 – 190 mmol.chem.ekv./1000g. Tento výsledek tedy zařadil tyto vermikomposty iontovou výměnou mezi lehčí hlinité půdy a nedosahovali ani KVK těžké, minerální půdy, tím méně půdy humózní (VÁCHALOVÁ *et al.*, 2016). Naopak Hanč, Částková a Kužel (2017) ve své práci uvádějí, že velmi záleží na tom, z jaké části, a především vrstvy je vzorek odebrán. Vermikompost se skládá z vrstev určitého stáří a tím i odpovídající kvality. Ve své práci na základě měření iontovýmenné kapacity v různých vrstvách vermikompostu sledovali postupný nárůst kvality společně se stářím naskladňované biomasy.

3.0. Vlastní práce – stanovení kvality kompostu

3.1. AGORA, s.r.o. (Kompostárna Želivec)

Poloha kompostárny:

Kompostárna se nachází na periférii hlavního města Prahy, asi 5 km směrem na jih. Výhodná poloha zabezpečuje tomuto rodinnému podniku celoroční přísun bioodpadu, který tvoří základ pro kompostování.

Projekt kompostárny vznikl na tomto místě jako druhotný projekt, protože firma se zabývala terénními úpravami, ze kterých bylo nutné odvážet značné množství zeminy a tu následně někde skladovat. Dalším problémem, se kterým se firma potýkala, byl nedostatek kvalitního zahradního substrátu, který neobsahoval nežádoucí příměsi (kameny, zbytky dřevin, semena plevelů aj.). Proto se firma rozhodla rozšířit své pole působnosti o kompostovací zařízení (ŽILÍK, 2016).

Hned od začátku byl u této kompostárny kladen důraz na ekonomickou stabilitu. Proto zde nebyla využita podpora EU (v rámci staveb), jejíž dotační politika podporuje vznik nových kompostáren a celkově se snaží zmenšit podíl bioodpadu v odpadech komunálních.

3.1.1. Technologie kompostování v kompostárně Želivec

Je nutné sdělit, že i zde za posledních pět let bylo nutné mnohé výrobní postupy (včetně technologie kompostování) přehodnotit. Do roku 2015 kompostárna používala klasický způsob kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Tento způsob se ale ukázal být neefektivním především v období kolísání teplot, či déle trvajících dešťů. Tyto faktory měly následně vliv na proces hygienizace (min. 70°C po dobu 10 dní), který se zpomaloval, někdy došlo i k jeho zastavení. (ŽILÍK, 2016)

Z tohoto důvodu podnik přešel na technologii „kompostování v uzavřených boxech“. V této technologii dokázali mimo jiné urychlit proces kompostování a také prodloužit dobu, po kterou mohou udržet aerobní proces rozkladu bioodpadu v chodu. (ŽILÍK, 2016)

Receptura kompostování

Kompostárna Želivec má díky svému systému kompostování v uzavřených boxech možnost provádět kompostování po celý rok. Proto provoz neustává ani v zimních měsících. Materiály v kompostárně se mění podle toho, jak se střídají roční období.

Tento problém se projevuje především na materiálu, který je do kompostárny dovážen. Složení dodávaného materiálu pro kompostování v různých ročních obdobích vypadá následovně:

Jaro: Větve, listí, staré traviny + běžné zahradní odpady

Léto: Čerstvá tráva (posekaná, nadrcená), větve

Podzim: Spadané listí, větve po údržbě stromů, stará tráva

Zima: Listí, větve

Po celou dobu kompostování je do kompostovaného materiálu přidáván koňský hnůj, který pomáhá upravovat poměr C:N. Jeho obsah se mění v závislosti na založení dané kompostovací hromady. Majitel neuvádí žádné přesné číslo, které by mohlo reprezentovat přidávání této suroviny.

Kompostování koňského hnoje je velmi praktické, ale majitel přiznává, že by raději používal jiný druh tohoto hospodářského bioodpadu. Je to především z důvodu výskytu velkého množství cizorodých látek jako např. antibiotik a jiných léčiv, které mnohdy mohou inhibovat rozvoj mikroorganismů a zbrzdit tak celý proces kompostování.

Dále se v procesu kompostování využívá čistírenského kalu šarže 190805 z čističky odpadních vod. Tento kal se využívá v maximální míře 5 – 7 % z celkového objemu zakládaného kompostu (ŽILÍK, 2016).

Kapacita a teoretická výtěžnost kompostu

Kompostárna Želivec disponuje poměrně značnou plochou, která dovolí naskladnit napříjmu materiál až o celkové váze až 15 tis. tun bioodpadu. Ten je již napříjmu tříděn, aby pracovník, který zakládá budoucí kompost, měl přehled o množství použitého materiálu. Z každé založené hromady je konečná výtěžnost kompostu cca 20 - 40% (podle materiálu použitého při zakládce budoucího kompostu). Další cca 40% objemu z kompostu odejde v podobě odpařené vody a v neposlední řadě nesmíme zapomínat ani na materiál, který se při procesu kompostování nerozloží (klacky, větve, příměsi). Nerozložený materiál, zůstávající při konečném prosévání kompostu tzv. nad sítím je přetříděn a podle své povahy buď znovu kompostován, nebo vyhozen do komunálního odpadu. Za zmínku ještě stojí, že silnější větve se rozkládají v kompostu i 5 let, takže procesem kompostování projdou i více než 10x (ŽILÍK, 2016).

3.1.2. Kompostování v uzavřených boxech

Jak ve své publikaci uvádí Habart, i v kompostárně Želivec bylo využito technologie kompostování v uzavřených boxech především z prostorově úsporných důvodů, a také z důvodu nespokojenosti okolních obyvatel. Obyvatelé přilehlé vesnice měli problém s nadměrným zápachem, který doprovází aerobní proces hnití. Tato technologie pomohla k odstranění nepříjemného zápachu z ovzduší a ještě vyřešila problém s nedostatkem prostoru, se kterým se kompostárna potýkala již delší dobu. Mimo to bylo možné rozšířit i spektrum kompostovaných materiálů a celkově zrychlit samotný proces kompostování (HABART *et al.*, 2009).

Zdůvodnění změny systému kompostování v kompostárně Želivec

Jedním z hlavních důvodů byla, jak jsem již uvedl, snaha o intenzifikaci procesu kompostování. Mezi další faktory můžeme také zařadit konkurenční tlak okolních kompostovacích zařízení, která začala vznikat na popud Evropské unie. Konkrétně to byl požadavek 6. akčního programu EU pro životní prostředí, který má za úkol snížit podíl biologického odpadu v odpadu komunálním. Zde mluvíme o 20 % do roku 2010 a o 50 % do roku 2050 (HÁLOVÁ a DOLANSKÁ, 2007).

Do nedávné doby byla tedy využívána technologie kompostování v pásových hromadách na volné ploše. S rostoucími nároky na čím dál rychlejší proces kompostování bylo nutné proces intenzifikovat do takové míry, aby pokryl celoroční příjem bioodpadu od okolních dodavatelů. Mezi hlavní intenzifikační faktory zde patří pravidelná areace, které je dosahováno pomocí vzduchových kanálků v podlaze kompostovacího zařízení. Areace musí probíhat za stálého odsávání plynů vznikajících při tlení biologického materiálu, ze kterého se budoucí kompost skládá. (VÁŇA, 2002) Při tomto procesu je ale nutné brát v potaz nadměrné vysušování kompostovaného substrátu. U tohoto systému nestačí běžné zavlažování 1 – 2x za týden jako je tomu u kompostování v pásových hromadách na volné ploše (EDWARDS a AYRA, 2011).

V takto intenzifikovaných kompostárnách je zapáchající plyn vznikající tlením odváděn do takzvaného biofiltru. V biofiltru dojde k zachycení nežádoucích prachových částic a také k odfiltrování zápachu, který bývá v těchto intenzivních provozech velmi nepříjemný. Proces využívá porézní náplně z plastových elementů, nejčastěji v kombinaci s kůrou (kompostovanou i čerstvou).

V kompostovacích zařízeních tohoto druhu je usilováno také o optimalizaci teplotního režimu, a to především v hydrolýzní fázi procesu. Zde je snaha o maximální využití tepla

vznikajícího při exotermním procesu v hydrolyzní fázi kompostování. Snaha zabránit úniku tepla, které vzniká v procesu, je podporována především tepelnou izolací objektu. Jímané teplo by mělo být v ideálním případě využito na ohřívání čerstvě přiváděného vzduchu z venkovních prostor, to především proto, aby nedošlo k narušení procesu hygienizace.

Tento proces intenzifikace je finančně velmi náročný, ale náklady se vrací v podobě zkrácení termofilní fáze, která navíc může probíhat za mnohem optimálnějších teplotních podmínek. Tímto způsobem je možné urychlit celý proces kompostování, ale nesmíme zapomínat na dodržování i jiných zásadních parametrů, které vedou k intenzifikaci tohoto procesu. Především se bavíme o optimálním poměru C:N, ten by měl v čerstvém kompostu dosahovat hodnot okolo hodnot 30 – 33 : 1. Dále obsah vody, ten by se měl pohybovat pod hranicí 70 % MKK. Je nutné dbát zvýšené opatrnosti v návaznosti na vysychání kompostu, ke kterému nesmí dojít. Mimo to, je vhodné zajistit příznivé podmínky pro vývoj a růst enzymatických systémů, které je možné, pro zrychlení procesu, inokulovat pomocí čerstvého kompostu (Váňa, 2002).

3.1.3. Popis technologie kompostování v kompostárně Želivec

V kompostárně Želivec se využívá jak klasické technologie kompostování v pásových hromadách na volné ploše, tak kompostování v uzavřených boxech. ZEMÁNEK (2001) popisuje technologii kompostování v uzavřených boxech jako polouzavřená kompostovací zařízení. Tyto boxy jsou zakryté střechou, aby nedocházelo k narušování kompostovacího procesu vlivem podmínek vnějšího prostředí. Boxy jsou postaveny v souladu s popisem publikace ZEMÁNEK (2001). Skládají se z monolitických desek o délce cca 10 – 12 m, šířce 3 – 4 m a výšce 2,50 – 3 m. Součástí tohoto systému je i zavlažovací zařízení, díky kterému je udržována stálá vlhkost, a brání nadměrnému vysušování kompostovaného materiálu. Boxy jsou doplněny výkonným provzdušňovacím zařízením, které vhání do kompostovaného materiálu vzduch podle předem stanoveného plánu v různých časových intervalech. Dodávka vzduchu je závislá především na fázi, v jaké se kompost nachází. (ŽILÍK, 2016). SINGER (2008) ve své práci uvádí minimální dobu kompostování v uzavřených boxech 2 až 4 měsíce a poukazuje na značnou energetickou náročnost tohoto procesu. V kompostárně Želivec je ovšem této technologie využíváno především pro hygienizaci kompostovaného materiálu, a proto je materiál v této fázi zpracováván pouze po dobu 21 – 40 dní při teplotě min. 80 °C (ŽILÍK, 2016).

Po dokončení procesu hygienizace v kompostovacích boxech je materiál vyvezen na vodohospodářsky zabezpečenou plochu a jsou z něj vytvořeny klasické hromady známé z kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Hromady jsou v základně široké 4,1 m a vysoké až 2 m. V tomto stavu je dokončen proces kompostování za pravidelného překopávání a vlhčení materiálu pomocí překopávače Neusoncotec SF 420. Po ustálení teploty, která signalizuje konec rozkladných procesů je kompost přeset rotačním sítem Doppstadt SM 518 a uskladněn do dalšího zpracování (ŽILÍK, 2016).

3.1.4. Strojní a technické vybavení kompostárny Želivec

Komatsu WA270-7 – kolový nakladač

K přepravě a překládání kompostu a kompostovaného materiálu se v provozovně Želivec využívá kolový nakladač Komatsu čtvrté řady. Kolový nakladač je vybaven hydrostatickým systémem pohonu WA270-7 a dává obsluze možnost rychlé reakce. Je s ním možné ušetřit až 10 % pohonných hmot (KOMATSU, 2016). Pan Žilík využívá kolový nakladač v kombinaci s lopatou o obsahu 2,2 m³.

Drtič Husmann V

Stroj je využíván k drcení kompostovaného materiálu, především dřevin. Drtič je důležitý prvek celé kompostovací linky. Jeho pracovní rychlost se pohybuje okolo 80 – 120 m³ rozdrčeného materiálu za hodinu (ŽILÍK, 2016). Drtič je poháněn vlastní energetickou jednotkou, a to turbodieselovým motorem EURO III. Materiál je ke kladívkovému drtícímu ústrojí posouván pomocí dopravníku vyrobeného z dílů vyrobených z vysoce odolné oceli (MOUDER, 2016).

Tabulka č. 6 - Technické parametry drtiče Husmann V (MOUDER 2016)

Podvozek	Motor	Drťící zařízení	Dopravník	Podávání	Váha
Tandemová náprava	Turbodiesel, 354 kW	Drťící kladiva, 42 ks	1,5 m x 4 m	Hydraulický, výkyvný	17 000 kg

Překopávač Neusoncotec SF 420

Jedná se o tzv. oknový překopávač, který k pohybu využívá pásy. Překopávač funguje jako samostatná jednotka s vlastním energetickým zdrojem. Překopávání kompostovaného materiálu zajišťuje válec s noži pro dokonalejší překopávání a

homogenizaci materiálu. Celková šíře záběru překopávače je 4,2 m a maximální možná výška je 2,1 m. Motor je výrobek firmy John Deere a jedná se o Turbo Diesel, který je chlazený vodou. Překopávač je vybaven odvětrávanou kabinou, která zvyšuje komfort obsluhy (ŽILÍK, 2016), (NEUSONECOTEC 2016).

Tabulka č. 7 -Technické parametry překopávače Neusonecotec SF 420

Váha	Šířka záběru	Motor	Výkon	Kabina
7 000 kg	4,2 m x 2,1 m	John Deere	202 HP	Klimatizace (uhlíkový filtr)

(NEUSON ECOTEC 2016)

Rotační síto Doppstadt SM 518

Rotační třídíče Doppstadt jsou určeny pro třídění kompostu, bioodpadů, rozdrčeného dřeva, stavebních odpadů, kamenů, písku, atd. Stroje jsou standardně montovány na podvozky a je možno je dodat jako stacionární poháněné elektromotory. Třídíče SM jsou ideální při používání v kompostovacích zařízeních s velkým objemem přesévaného kompostu. Kompostárna Želivec využívá toto síto k prosévání již hotového kompostu. Tímto sítem se velmi dobře oddělí nerozložené zbytky od již vyžralého substrátu, který je dále využíván (ŽILÍK, 2016).

Tabulka č. 8 -Technické parametry Rotačního síta Doppstadt SM 518

Výkon dieselového motoru	Průměr bubnu	Délka bubnu	Pracovní otáčky bubnu	Velikost otvorů	hmotnost
45 kW	1 800 mm	4 700 mm	0 – 22 ot/min	5 – 100 mm	1 350 kg

3.1.5. Hodnocení kvality kompostu v kompostárně Želivec

Pro hodnocení kvality kompostu jsem zvolil metodu loutvýměnné sorpční kapacity dle Sandhoffa. Homogenitu odebraného vzorku jsem zajistil smícháním třech odběrů z uskladněného kompostu, u kterého již byl dokončen proces kompostování. Celková váha odebraného vzorku byla 5,24 kg. Po několikanásobném promísení jsem odebral 0,526 kg kompostu, který jsem důkladně vysušil a po promíchání jsem kvartací odebral 206,56 g.

Následně jsem kompost prošel na síte z o rozměrech 0,2 mm. Po prosetí jsem dostal 160,84 g vzorku a 45,72 g odpadu, který zůstal nad sítem a skládal se především z kamenů a nerozložených lignocelulózových zbytků.

Pro účely pokusu iontovýměnné sorpční kapacity jsem odebral 5 vzorků o přesné váze 5,0 g.

Iontovýměnná kapacita vzorku byla počítána pomocí vzorce:

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N} [\text{mval} \cdot 100^{-1} \text{g půdy}]$$

s – spotřeba roztoku Ba(OH)₂ odečtená z grafu

n – normalita roztoku Ba(OH)₂

f – faktor Ba(OH)₂

N – navážka půdy (g)

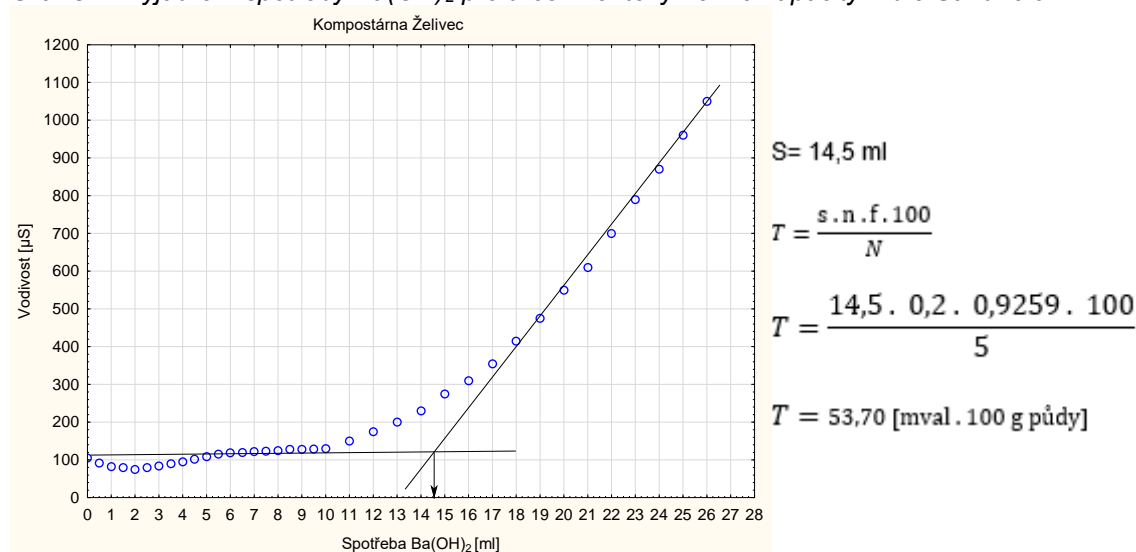
Výsledky:

Tab. č. 9 - Hodnocení sorpční iontovýměnné kapacity kompostu v [mval . 100⁻¹g půdy]

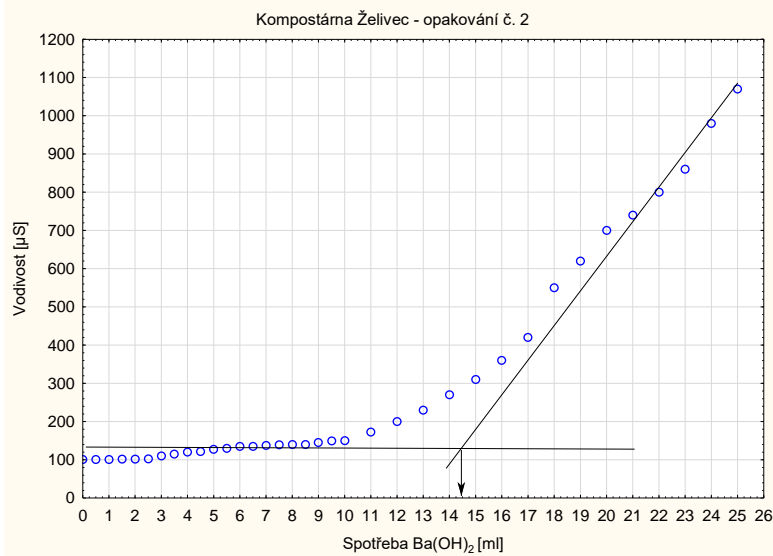
Velmi vysoká	>30
Vysoká	25 – 30
Střední	13 – 24
Nízká	8 – 12
Velmi nízká	<8

Měření iontovýměnné kapacity dle Sandhoffa

Graf č. 2: Vyjádření spotřeby Ba(OH)₂ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhoffa.



Graf č. 3: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



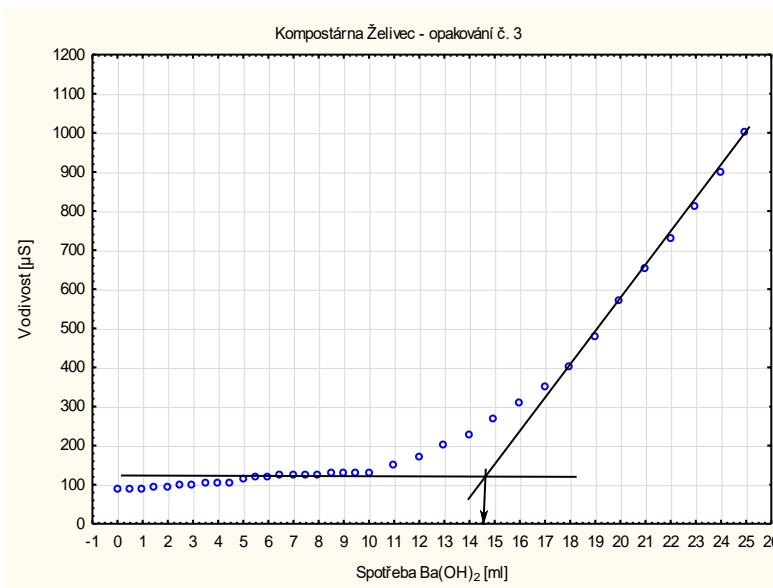
$$S = 14,5 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{14,5 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 53,70 [\text{mval} \cdot 100 \text{ g půdy}]$$

Graf č. 4: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



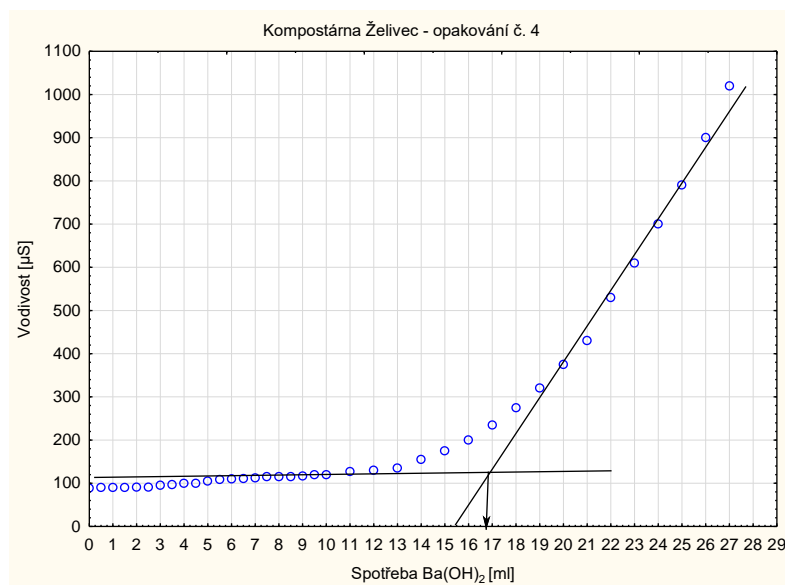
$$S = 14,6 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{14,6 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 54,07 [\text{mval} \cdot 100 \text{ g půdy}]$$

Graf č. 5: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



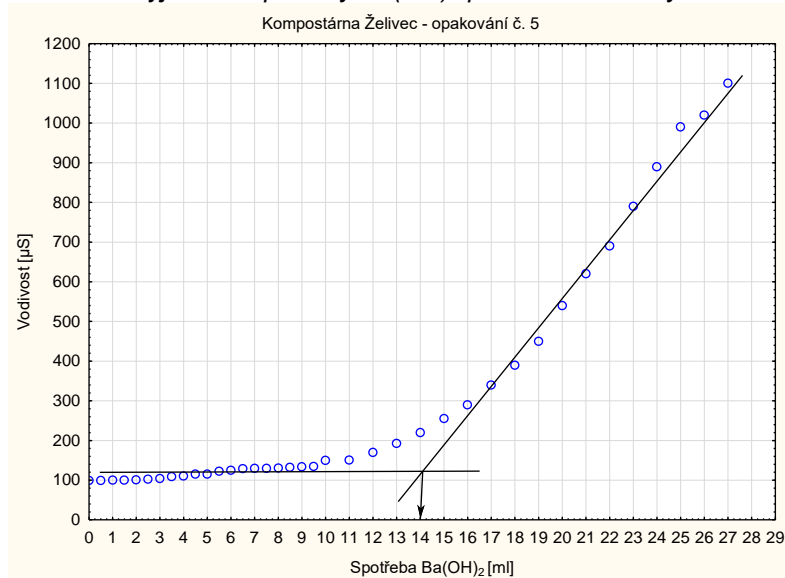
$$S = 16,75 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{16,75 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 62,03 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Graf č. 6: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



$$S = 14,0 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{14,0 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 51,85 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

3.1.6. Statistické zhodnocení výsledků: kompostárna Želivec

Dixonův test extrémních odchylek (Q test)

Výsledek grafu č. 5 se odchyloje od naměřených hodnot a je pravděpodobné, že zapříčiňuje tzv. hrubou chybu, která by mohla zkreslit výsledek měření. Pro hodnocení jsem vybral hladinu významnosti 95 % jejíž koeficient Q_k pro 5 měření je 0,642.

Tabulka č. 10: Seřazené hodnoty iontovýměnné kapacity pro Dixonův test

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
51,85	53,7	53,7	54,07	62,03

Variační rozpětí

$$R = x_5 - x_1 = 62,03 - 51,85 = 10,18$$

Q minimální pro X_1 :

$$Q_{min} = x = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{53,7 - 51,85}{10,18} = 0,18$$

Q maximální pro X_5 :

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} = \frac{62,03 - 54,07}{10,18} = 0,78$$

Z výsledků je patrné, že hodnota Q_{max} pro X_5 je vyšší než koeficient Q_k což ukazuje na chybu v měření a proto nebude výsledek grafu č. 5 zařazován do konečného zhodnocení.

Intervalový odhad se spolehlivostí 95%

Pomocí Dixonova testu extrémních odchylek jsem z testování vyřadil graf č. 5 a z tohoto důvodu nebude zohledněn v následujícím testování.

Vzorce pro výpočet intervalového odhadu:

$$B1 = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$B2 = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Tabulka č. 11 – Výpočet intervalového odhadu (Želivec)

Iontovýmienná kapacita	51,85
Iontovýmienná kapacita	53,7
Iontovýmienná kapacita	53,7
Iontovýmienná kapacita	54,07
Průměr	53,33
Směrodatná odchylka	1,001965
t_{n-1}	3,182446
B1	51,73565
B2	54,92435

Na základě statistického odhadu intervalů je možné tvrdit, že výsledky v případě pokračování výzkumu budou v rozmezí hodnot B1 – B2, a to na hladině pravděpodobnosti 95%.

3.2. Městská kompostárna Březnice

V této kompostárně je používán standartní model kompostování běžně navrhovaný na takováto zařízení. Jedná se tedy o kompostárnu založenou na technologii kompostování v pásových hromadách na volné ploše.

3.2.1. Poloha a účel kompostárny

Kompostárna se nachází při městě Březnici. Toto město má cca 3500 obyvatel a primárním cílem založené kompostárny je plnit akční plán EU o snižování biologického materiálu, který je obsažen v odpadu komunálním, před jeho skládkováním. Dále má kompostárna za úkol efektivně nakládat s tímto bioodpadem. Materiál, který je do kompostárny navážen je nutné co nejefektivněji a hlavně nejrychleji zpracovat protože kapacita kompostárny není nijak rozsáhlá.

Podle pana Bartuňka je kapacita Městské kompostárny v Březnici více než nedostačující. V současné době kompostárna počítá se zpracováním až 2000 t odpadu ročně přičemž na jedno naplnění kompostárny čítá maximálně 360 t. To by při současném stavu znamenalo zkrácení vlastního procesu kompostování ze 3 měsíců na 2,5 měsíce. S touto alternativou by bylo možné počítat pouze v případě, že by kompostárna byla v provozu i přes zimní období což je z hlediska výroby kompostu touto technologií naprosto nemyslitelné (BARTUNĚK, 2016).

Kompostárna byla postavena za účelem kompostování městské zeleně a také odpadu biologického původu, který dodávají občané města ze svých pozemků. Kompost, který se zde vyrobí, by měl být následně využit, jako hnojivo pro občany kteří jej na kompostárnu přivezli, nebo by měl sloužit jako rekultivační prostředek, či jako hnojivo parkové a jiné okrasné zeleně, která je majetkem města Březnice.

3.2.2. Technologické řešení kompostárny v Březnici

Technologie kompostování se v této kompostárně zakládá na kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Tento způsob má svá určitá specifika, která byla popsána v teoretické části mé práce. Nyní se podíváme, jak je konkrétně řešena městská kompostárna v Březnici. Je nutné podotknout, že finální podoba kompostárny se liší od původního návrhu, který jsem zpracovával ve své bakalářské práci.

Kompostárna v Březnici: řešení plochy pro výrobu kompostu

Technologie kompostování v pásových hromadách je v kompostárně prováděna pouze v 6 pásových hromadách oproti plánovaným devíti. Kompostovaný materiál má v základně šířku 1,8 m a výšku 1,3 – 1,5 m. Tento parametr musel být upraven podle možnosti pořízeného překopávače. Ten je schopen překopat pásové hromady v šíři 1,8 – 2 m. Plocha kompostárny byla také zmenšena po instalaci mobilního kontejneru, ve kterém se nachází kancelář a sociální zařízení využívané obsluhou kompostárny. Mobilní kontejner zabral velkou část z vyhrazeného prostoru pro inventář kompostárny, který musí být parkován v jiných budovách oddělení technických služeb.

Na ploše Březnické kompostárny se dále nachází jímka pro záchyt odpadní vody vznikající při procesu kompostování. Jímka také dokáže pojmout i tříměsíční interval průměrných dešťových srážek nebo přivalový déšť od délce max. 15 min. Jímka má sloužit také jako zdroj vody do kompostovacího procesu. Po uvedení jímky do provozu je možné říci, že její kapacita je k tomuto účelu nevyhovující. Při déle trvajícím období bez dešťových srážek není možné zavlažovat kompost z jímky a musí být vyhledán jiný zdroj vody (BARTUNĚK, 2016).

3.2.3. Strojní a technické vybavení kompostárny

Kvalitní zpracování kompostovaného materiálu je základním stavebním kamenem úspěchu v procesu kompostování. Pokud dokážeme kvalitně připravit kompostovaný materiál, můžeme snížit emise NH_3 (čímž zvýšíme výživnost kompostu) a snížíme zápach, který při tlení v kompostovacích hromadách vzniká (MONDINY *et al.*, 1996). Pro zpracování materiálu v městské kompostárně v Březnici je k dispozici velké zastoupení jednoúčelových strojů, které dohromady tvoří tzv. kompostovací linku.

Plíva uvádí ve své metodice o kompostování tento druh kompostovací linky hned na prvním místě. Jedná se o kompostovací linku s kolovým traktorem. Pro zajištění veškerých prací prováděných při kompostování se využívá řada technických prostředků, které jsou připojené k energetické jednotce. Ta je v případě Březnické kompostárny reprezentována kolovým traktorem s čelním nakladačem (PLÍVA *et al.*, 2008).

Traktor s čelním nakladačem

Kompostárna využívá pro nakládání s bioodpady kolový traktor Zetor Proxima 100. Tento stroj je doplněn čelním nakladačem a je v kompostárně používán jak k přepravě

kompostovaného materiálu, tak jako energetický prostředek pro používané stroje popsané níže (BARTUNĚK, 2016).

Překopávač

Karavaggi PPK 250 – Jedná se o návěsný překopávač, který musí být tažený energetickým prostředkem (nejlépe traktorem) o výkonu min. 90 – 100 HP. Pro kvalitně provedenou práci je nutné vyvinout rychlost dosahující max. 0,5 km/hod. Maximální šíře zpracovávané kompostovací hromady je 2,5 m (BARTUNĚK, 2016).

Tabulka č. 12 - technické specifikace překopávače TPK 250 (URBÁNEK, 2016).

Výška základky	Míchací rotor	Průměr rotoru	Lopatky s vym. břity	Jištění překopávače	Hmotnost stroje
1600 mm	Lopatky + šneky	700 mm	24 + 16	Třecí spojka	2170

Síto

Bubnové síto Ecogreenscreener 1200 compact slouží k prosévání již uzlého kompostu a jeho primárním úkolem je vyčištění tohoto materiálu od nerozložených organických zbytků a jiných nečistot. Stroj je vybaven vlastním motorem, výměnným sítem a je u něho možné hydraulicky regulovat otáčky (Bartuněk, 2016).

Tabulka č. 13 - Technické specifikace bubnového síta Ecogreenscreener 1200 compact

Pohon	Výkon pohonu	Délka aktivní části bubnu	Oka prosévacího síta	Teoretický výkon	Násypka (délka x šířka)
Dieselový motor	38 PS	1,5 m	20 x 20 mm	20 – 40 m ³ /hod	3 x 1,69 m

(URBÁNEK, 2016)

Štěpkovač

K drcení biologického materiálu se v této kompostárně používá štěpkovač LASKI LS150/38CB. Jedná se o štěpkovač dřevní hmoty s otevřenou konstrukcí řezacího ústrojí. Maximální šíře vkládaného materiálu je 150 mm. Stroj je vybaven samostatným benzinovým motorem a jeho provozování je tedy možné jeho bez použití jiné energetické jednotky (BARTUNĚK, 2016).

Tabulka č. 14 - Technické specifikace štěpkovače LASKI LS150/38/CB

Hmotnost stroje	Výkon	Počet nožů	Délka štěpky	Počet válců	Spotřeba paliva	Výkon motoru
750 kg	5 – 10 m ³ /hod	2	9 mm	2	7 l/hod	35 HP

(LASKI, 2016)

Vlhkoměr a teploměr

Při procesu kompostování se hlídají pouze dva ukazatele ze všech doporučených. Vlhkost je měřena tyčovým vlhkoměrem WILE 27. Vlhkoměr může být využit i k měření procenta sušiny. Délka hrotu vlhkoměru je 500 mm a vlhkost v měřeném materiálu vyjadřuje v hmotnostních procentech. Pro měření teploty se využívá zemědělský teploměr, který je dlouhý 1500 mm a dokáže změřit teplotu od – 60 °C do + 200°C. rychlost odezvy = T₉₀ je cca 6 sec (BARTUNĚK, 2016).

3.2.4. Technologie kompostování v kompostárně města Březnice

Kompostárna v Březnici má proces kompostování postavený na metodice kompostování v pásových hromadách, který zpracoval Plíva (2005). Jedná se o pásové hromady s trojúhelníkovitým průřezem. Délka je limitována délkou kompostovací plochy, a také plochou, která je vyhrazena pro pohyb techniky. Velikost pásových hromad musela být poněkud snížena, aby vyhovovala technickým požadavkům překopávače. Přestože Urbánek (2016) uvádí na webových stránkách firmy maximální záběr překopávače 2,5 m, tak muselo dojít ke zmenšení základny kompostovací hromady na 2 m.

Plíva (2008) ve své publikaci uvádí, že doba zrání v kompostovacích hromadách by měla probíhat (za ideálních podmínek) minimálně 6 měsíců. To vše v závislosti na surovinové skladbě, homogenitě surovin, kvalitě a počtu provedených překopávek. Bartuněk (2016) se při rozhovoru zmínil o nedostatečné kapacitě kompostárny, která je naprosto nevyhovující. Při kapacitě, kterou kompostárna disponuje je možné připravené suroviny kompostovat pouze 2 měsíce, a to při celoročním provozu.

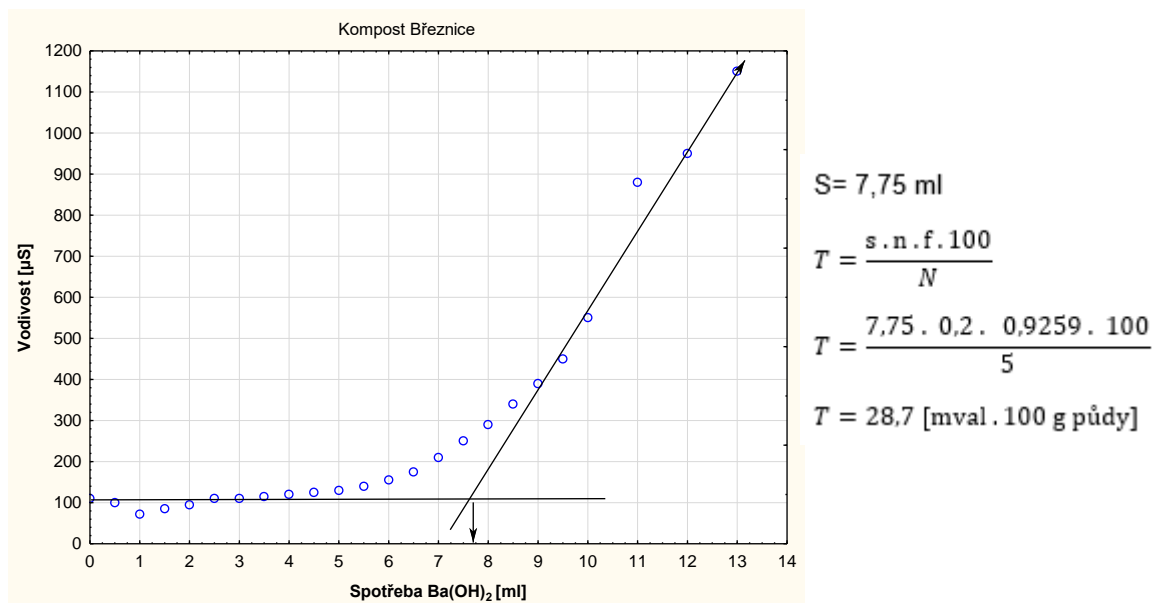
3.2.5. Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Březnice

Homogenita odebraného vzorku byla i v tomto případě zajištěna odběrem z pěti různých stanovišť hromady kompostovaného materiálu. Vzorek vysušeného kompostu vážil 2068 g. Po prosetí vzorku na síť s otvory průměru 0,2 mm byla váha vzorku 937 g. Nad

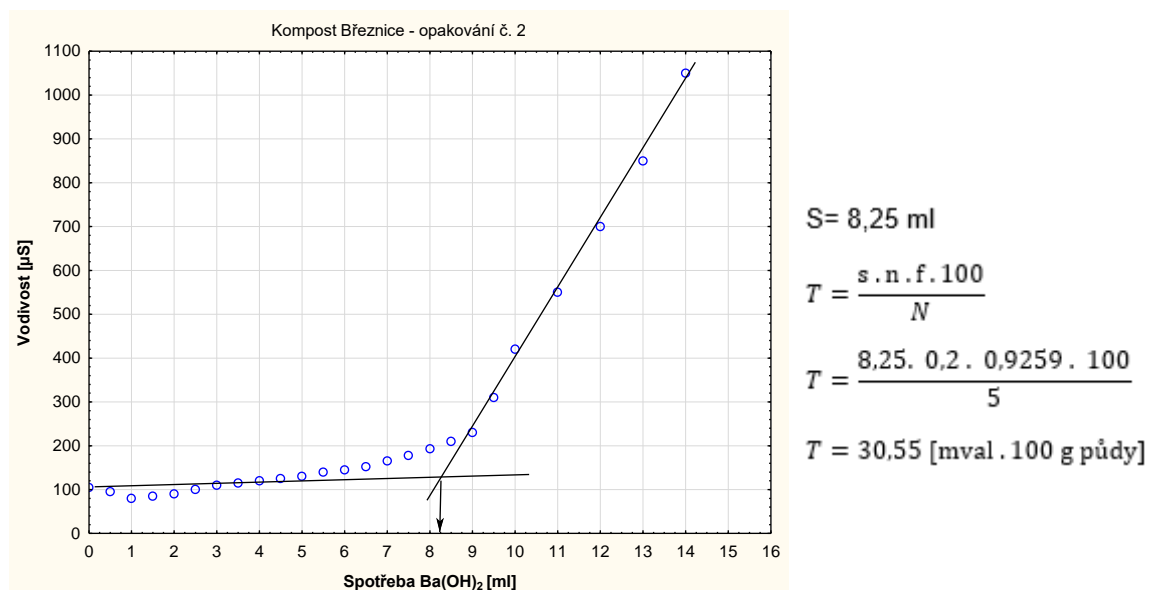
sítem zůstalo 1131 g. Nadsítný podíl, který zůstal nad sítem, byl opět tvořen především kameny a nerozloženou dřevní štěpkou.

Pro účely pokusu byl celý objem čistého vzorku promíchán. Z promíchaného materiálu bylo odváženo pět vzorků a každý z těchto vzorků měl přesnou navážku 5,0 g kompostu.

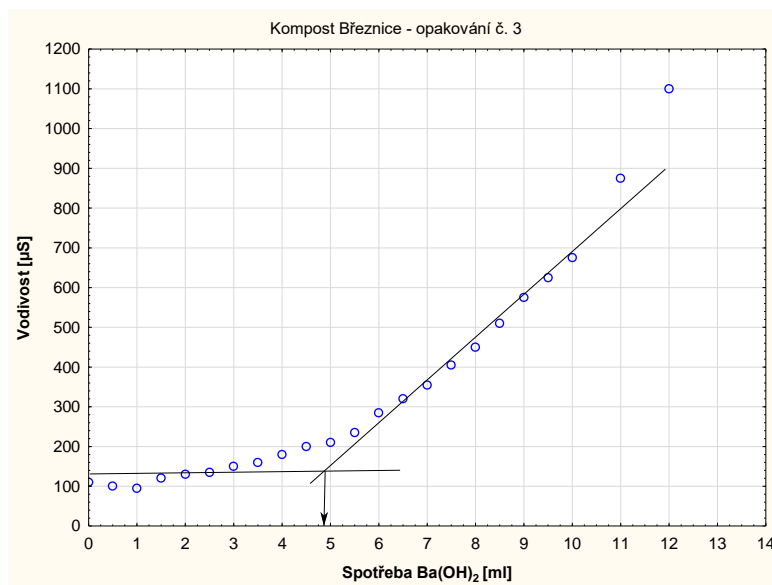
Graf č. 7: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 8: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 9: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



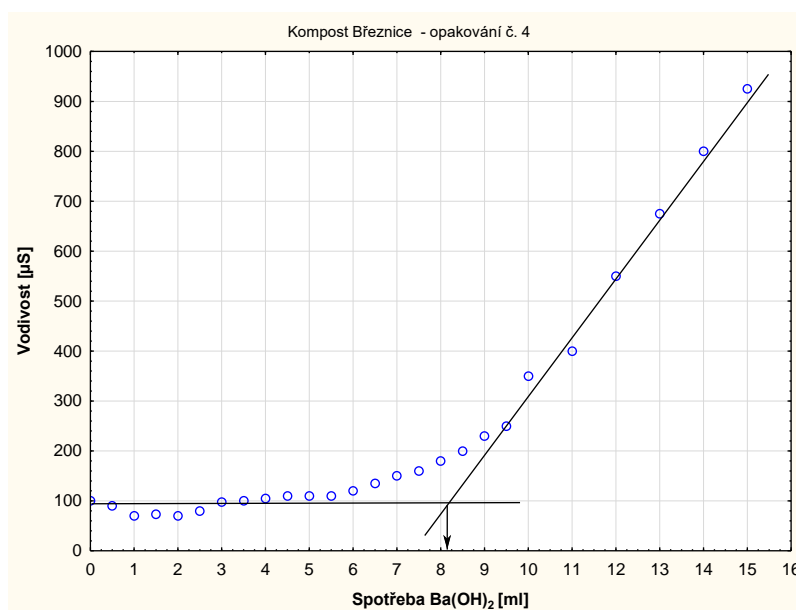
$$S = 4,85 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s.n.f. \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{4,85 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 17,96 \text{ [mval} \cdot 100\text{g půdy]}$$

Graf č. 10: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



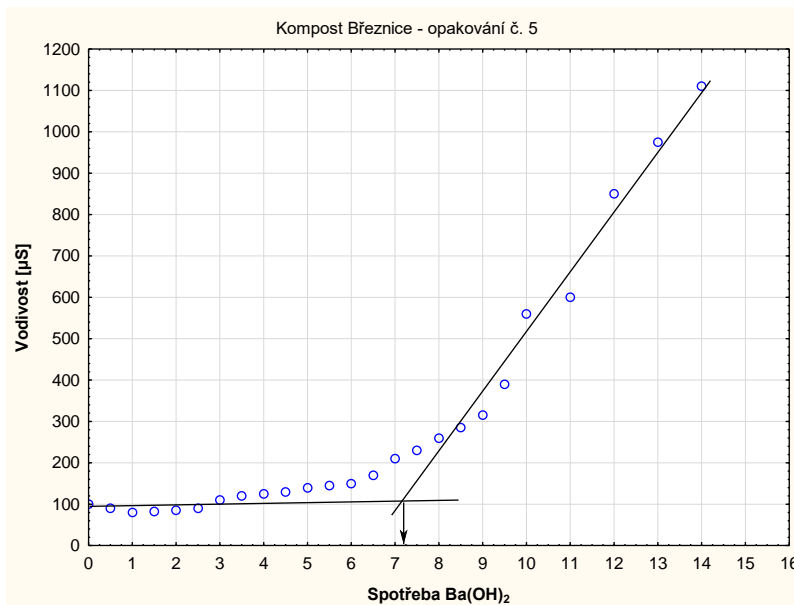
$$S = 8,15 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s.n.f. \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{8,15 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 30,18 \text{ [mval} \cdot 100\text{ g půdy]}$$

Graf č. 11: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



$$S = 7,75 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{7,75 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 28,7 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

3.2.6. Statistické zhodnocení: kompostárna Březnice

Dixonův test extrémních odchylek (Q test)

Výsledek grafu č. 9 se odchyluje od naměřených hodnot a je pravděpodobné, že zapříčiňuje tzv. hrubou chybu, která by mohla zkreslit výsledek měření. Pro hodnocení jsem vybral hladinu významnosti 95 % jejíž koeficient Q_k pro 5 měření je 0,642.

Tabulka č. 15: Seřazené hodnoty iontovýměnné kapacity pro Dixonův test

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
17,96	28,7	28,7	30,18	30,55

Variační rozpětí

$$R = x_5 - x_1 = 30,55 - 17,96 = 12,59$$

Q minimální pro X_1 :

$$Q_{min} = x = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{28,7 - 17,96}{12,59} = 0,85$$

Q maximální pro X_5 :

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} = \frac{30,55 - 30,18}{12,59} = 0,029$$

Z výsledků je patrné, že hodnota Q_{min} je vyšší, než koeficient Q_k což ukazuje na chybu v měření a proto nebude výsledek grafu č. 9 zařazován do konečného zhodnocení.

Intervalový odhad se spolehlivostí 95%

Pomocí Dixonova testu extrémních odchylek jsem z testování vyřadil výsledek grafu č. 9 a z tohoto důvodu nebude zohledněn v následujícím testování.

Vzorce pro výpočet intervalového odhadu:

$$B1 = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$B2 = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Tabulka č. 16 – Výpočet intervalového odhadu (Březnice)

Iontovýmienná kapacita	28,7
Iontovýmienná kapacita	28,7
Iontovýmienná kapacita	30,18
Iontovýmienná kapacita	30,55
Průměr	29,5325
Směrodatná odchylka	0,973084
t_{n-1}	3,182446
B1	27,98411
B2	31,08089

Na základě statistického odhadu intervalů je možné tvrdit, že výsledky v případě pokračování výzkumu budou v rozmezí hodnot B1 – B2, a to na hladině pravděpodobnosti 95%.

3.3. Městská kompostárna Písek

3.3.1. Poloha a účel kompostovacího zařízení

Kompostárna města Písek se nachází v Jihočeském kraji a zpracovává odpady z tohoto města a jeho přilehlých částí. Město Písek a jeho kompostárna leží v nadmořské výšce 378 m. n. m a katastrální rozloha je 6322 ha. Kompostárna prakticky zpracovává bioodpad z údržby městské zeleně a také od obyvatel města a jeho přilehlých částí. Počet obyvatel je 29 878.

Provozovatelem této kompostárny jsou Technické služby města Písek, konkrétně je to oddělení Veřejné zeleně v čele s p. Tomášem Gareisem. Kompostárna zpracovává bioodpad vznikající při údržbě veřejné zeleně na území města Písku a jeho místních částí (Smrkovice, Semice, Nový Dvůr) a bioodpad vyprodukovaný v domácnostech občanů města Písku a jeho místních částí.

Městské služby Písek zpracovávají v kompostárně nejen běžné druhy bioodpadů vznikající při údržbě veřejné zeleně (větve, listí, travní porosty), ale mají za úkol zpracovat i bioodpady, které jsou produkovány domácnostmi v městě a jeho místních částech. Bioodpad vyprodukovaný domácnostmi je uskladňován do 240 l nádob hnědé barvy. Tyto nádoby jsou oddělením technických služeb pravidelně svázeny a odpad z nich je na kompostárně dále zpracováván.

Součástí městské kompostárny v Písku je také sběrný dvůr, který zpracovává rozličné druhy odpadů. Odpad je uskladňován ve velkoobjemových kontejnerech, a proto by v žádném případě nemělo dojít ke kontaminaci kompostovaného materiálu, nebo již vyzrálého kompostu, kapalnými či jinými odpady.

3.3.2. Technologie kompostování v městské kompostárně Písek

Technologie kompostování je postavena na fermentaci biologicky rozložitelného odpadu v pásových hromadách na volné ploše. Tento systém prošel zásadní modifikací, která se promítla především na velikosti založené pásové hromady. Základna této hromady nabývá šíře až do 4 m a hromady dosahují výšky až 2 m. Tato úprava byla umožněna především díky moderní a dobře postavené kompostovací lince, která je postavena na

velmi výkonných strojích umožňující dobrou manipulaci a snadné překopávání velkého množství fermentovaného odpadu.

Překopávání hromad s fermentovaným materiálem je prováděno odlišným způsobem od klasické technologie, kdy dojde k promísení a provzdušnění materiálu v rámci jedné hromady a stejného místa. V případě kompostárny Písek je ovšem fermentovaná hromada příliš široká, a proto je materiál přesunut pomocí překopávače na zcela nové místo, čímž se celá hromada posouvá a uvolní tak prostor pro novou zakládku čerstvého materiálu připraveného ke kompostování.

Kompostárna je spojena se sběrným dvorem a její rozloha je tedy značná. V roce 2016 dokázala zpracovat 5000 t biologicky rozložitelného odpadu. V současné době město Písek uvažuje o rozšíření kompostárny (kompostovací plochy), což by mělo za následek navýšení množství zpracovaného BRO. Kompostovací plocha je spádována tak, aby odpadní vody z vyrobeného kompostu bylo možné zachytit ve vysokokapacitní jímce a v případě sucha mohly být znovu aplikovány na fermentované hromady.

Otázkou zůstává, jaký vliv má tento způsob kompostování na kompostovací technologii a jakým způsobem ovlivní kvalitu výsledného substrátu.

3.3.3. Strojní a technické vybavení kompostárny

Sestavení kompostovací linky v písecké kompostárně se stává z několika jednoúčelových strojů, které dohromady tvoří samostatnou kompostovací linku. Kompostovací linka je založena silném energetickém prostředku (kolový nakladač CAT 930K), drtiči (Doppstadt AK 235 profi), rotačním sítě (Doppstadt SM – 414 profi)

Kolový nakladač CAT 930K

Tento stroj plní funkci hlavního energetického prostředku a využívá se i k přepravě kompostovaného materiálu. Použití tohoto stroje v městské kompostárně zajišťuje dostatek pracovní síly pro zvládnutí veškeré manipulace, kterou je potřeba v rámci kompostárny vykonat. Předností tohoto stroje je objemná lopata (2,7 m³) (GAREIS, 2016).

Další nespornou výhodou u tohoto stroje je využití paralelního pákového mechanismu se „Z“ kinematikou, což zajišťuje rychlou výměnu pracovního náradí. V neposlední řadě tento stroj vyniká svým motorem Cat ® C6.6 ACERT™ s nízko položenou hladinou maximálních otáček (max. 1800 ot/min) která se pozitivně projevuje na spotřebě PHM a hlučnosti stroje. Zadní náprava je v tomto případě vybavena diferencíálem s omezeným prokluzem pro snadnější manipulaci s celým strojem při práci (ANONYM, 2013).

Doppstadt AK 235 profi

Drtič dřevní hmoty Doppstadt AK 235 profi je velmi efektivní stroj, který zajišťuje kvalitní strukturu dřevní štěpky. Tento stroj zvládá i velký nápor materiálu, a proto nedochází k brzdění celé kompostovací linky. O dostatečném výkonu tohoto drtiče svědčí především jeho pracovní rychlost 12 – 20 t/hod zpracovaného materiálu (variabilita je závislá na druhu zpracovávaného materiálu, jeho vlhkosti a požadované výstupní frakci) (GAREIS, 2016)

Tabulka č. 17 - Technické specifikace drtiče Doppstadt AK 235 profi

Hmotnost stroje	Výkon	Počet nožů	Rychlost otáček	Motor	Výkon motoru
15000 kg	5 – 10 m ³ /hod	16/28	1320 ot/min	Mercedes-Benz OM 926 LA.E3B/5 diesel	234,6 HP

(PROFISTROJE, 2017)

Doppstadt SM – 414 profi

Rotační síto Doppstadt SM – 414 profi je opět velmi efektivním strojem, který svým výkonem pomáhá k rychlému a kvalitnímu prosátí kompostů. Za zmínku u tohoto stroje stojí především koordinace množství prosévaného materiálu, díky čemuž je možné využít celou plochu rotačního síta. Výhodou je také možnost připojení značného množství adaptérů, jako třeba: vibrační síta, rošty (na kameny), hvězdicový adaptér. (GAREIS, 2016)

Tabulka č. 18: Technické specifikace rotačního třídiče Doppstadt SM – 414 profi

Pohon	Výkon	Délka aktivní části bubny	Oka prosévacího síta	Celková váha	Násypka
Caterpillar C 2.2 diesel	54 HP	4,2 m	8 – 100 mm	10500 kg	Cca 3 m ³

(PROFISTROJE, 2017)

3.3.4. Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Písek

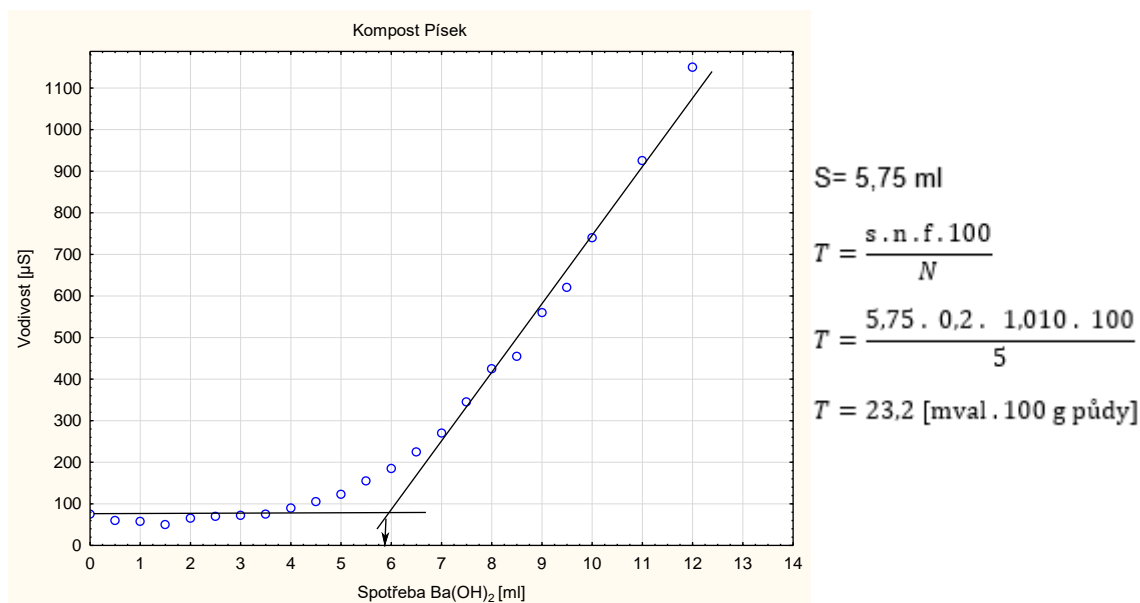
Homogenita odebraného vzorku byla i v tomto případě zajištěna odběrem z pěti různých stanovišť hromady kompostovaného materiálu. Vzorek vysušeného kompostu vážil 1005,6 g. Po prosetí vzorku na síte s otvory průměru 0,2 mm byla váha vzorku 458,3 g.

Nad sítím zůstalo 547,3 g. Odpad, který zůstal nad sítím, byl opět tvořen především kameny, nerozloženou dřevní štěpkou a odpady plastového původu.

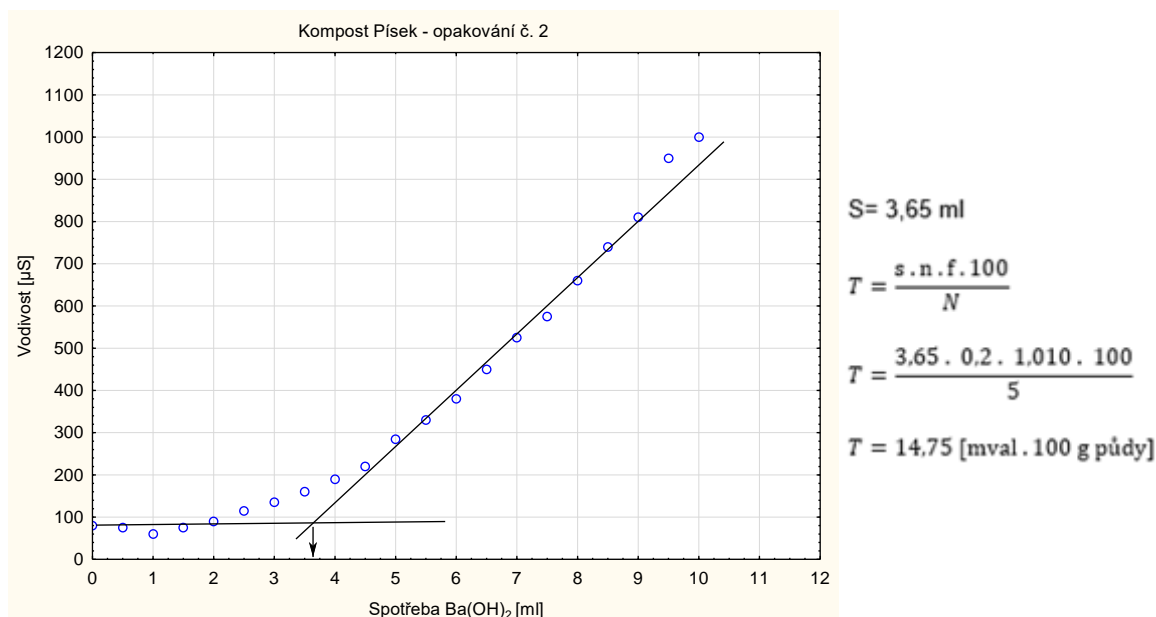
Pro účely pokusu byl celý objem čistého vzorku promíchán. Z promíchaného materiálu bylo odváženo pět vzorků a každý z těchto vzorků měl přesnou navážku 5,0 g kompostu.

Pro tento vzorek byl použit roztok $\text{Ba}(\text{OH})_2$ s odlišným faktorem: $f = 1,010$

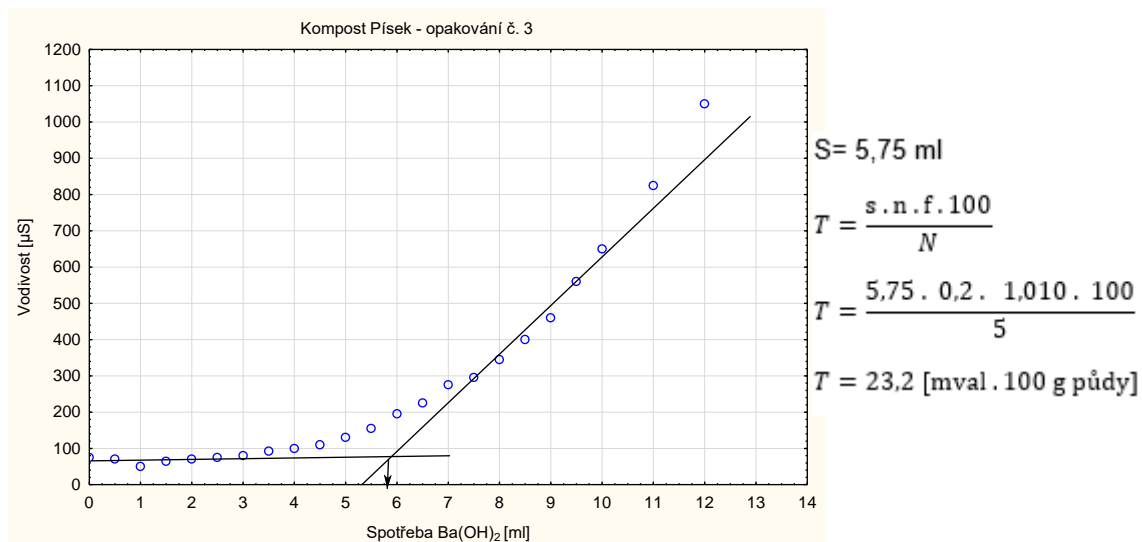
Graf č. 12: Vyjádření spotřeby $\text{Ba}(\text{OH})_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



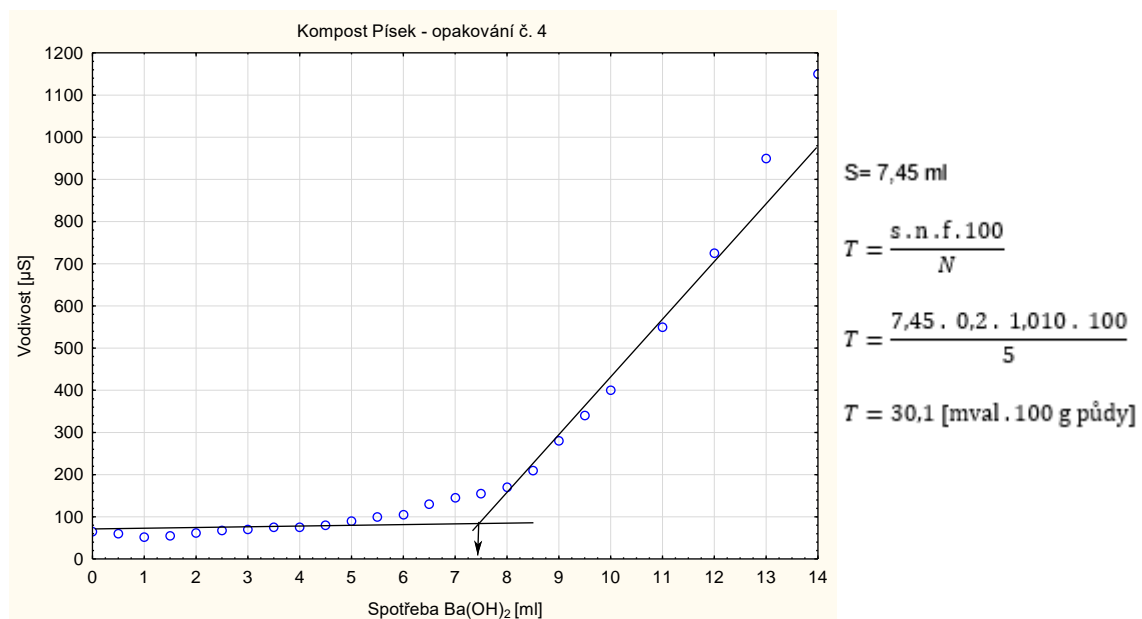
Graf č. 13: Vyjádření spotřeby $\text{Ba}(\text{OH})_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa. (druhé opakování)



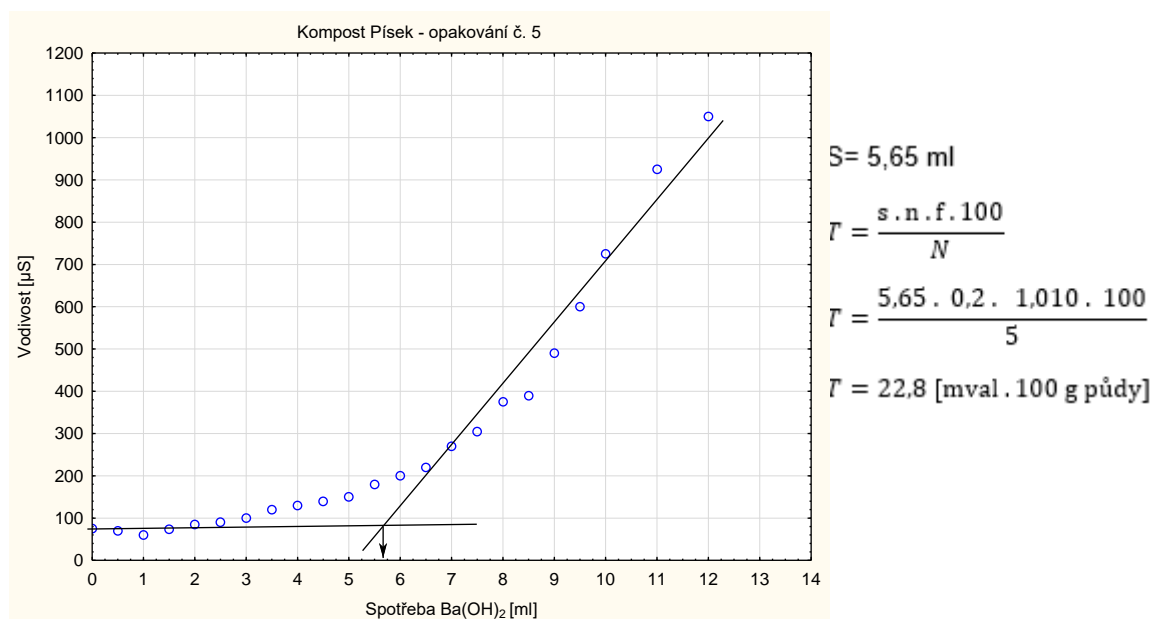
Graf č. 14: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 15: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 16: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



3.3.5. Statistické zhodnocení: kompostárna Písek

Dixonův test extrémních odchylek (Q test)

Výsledek grafu č. 15 se odchyľuje od naměřených hodnot a je pravděpodobné, že se jedná o tzv. hrubou chybu a ta by mohla zkreslit výsledek měření. Pro hodnocení jsem vybral hladinu významnosti 95 % jejíž koeficient Q_k pro 5 měření je 0,642.

Tabulka č. 19: Seřazené hodnoty iontovýměnné kapacity pro Dixonův test

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
14,75	22,8	23,2	23,2	30,1

Variační rozpětí

$$R = x_5 - x_1 = 30,1 - 14,75 = 15,35$$

Q minimální pro X_1 :

$$Q_{min} = x = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{22,8 - 14,75}{15,35} = 0,52$$

Q maximální pro X_5 :

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} = \frac{30,1 - 23,2}{15,35} = 0,74$$

Z výsledků je patrné, že hodnota Q_{\max} pro X_5 je vyšší, než koeficient Q_k což ukazuje na chybu v měření, a proto nebude výsledek grafu č. 15 zařazován do konečného zhodnocení

Intervalový odhad se spolehlivostí 95%

Pomocí Dixonova testu extrémních odchylek jsem z testování vyřadil graf č. 15 a z tohoto důvodu nebude zohledněn v následujícím testování.

Vzorce pro výpočet intervalového odhadu:

$$B1 = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$B2 = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Tabulka č. 20 – Výpočet intervalového odhadu (Písek)

Iontovýmienná kapacita	14,75
Iontovýmienná kapacita	22,8
Iontovýmienná kapacita	23,2
Iontovýmienná kapacita	23,2
Průměr	20,9875
Směrodatná odchylka	4,162606
t_{n-1}	3,182446
B1	14,36386
B2	27,61114

Na základě statistického odhadu intervalů je možné tvrdit, že výsledky v případě pokračování výzkumu budou v rozmezí hodnot B1 – B2 a to se spolehlivostí 95%.

3.4. Městská kompostárna Milevsko

Tato kompostárna se nachází v městě Milevsku a technologie zpracování bioodpadu je zde naprosto odlišná od kompostáren, které jsem dosud ve své práci hodnotil. Milevská kompostárna využívá technologii kompostování ve vacích s nucenou areací. Hned v úvodu je ale nutné říci, že kompostárna v současné době nefunguje a její provoz je dočasně pozastaven. Pan Falada (2017) udává, že provoz bude opět obnoven po rozšíření kompostovací plochy a upravení kompostovací technologie.

Kompostování ve vacích je odlišná technologie od všech ostatních technologií sledovaných v práci. Je velmi náročná na přípravu materiálu. Složitě je i dosažení optimálních poměrů připravovaných materiálů při zakládání kompostu (MEJZLÍK 2013). Celý proces kompostování selhal v Milevsku právě z důvodu nedostatečného množství vhodného materiálu pro tento proces kompostování. Jako většina městských kompostáren, tak i ta Milevská má velké množství travní hmoty, která by měla tvořit základ celého kompostovacího procesu. Biodegradace ve vacích je závislá především na dokonalém provzdušňování, které je zajištěno perforovanou hadicí o průměru 50 mm. Vaky plněné v oddělení technických služeb mají průměr 150 cm a v jednom vaku je možné kompostovat až 25 t bioodpadu. Pokud má kompostování ve vacích fungovat, musíme v první řadě dosáhnout dokonalého provzdušnění, které je závislé na optimální struktuře materiálu. Tyto zásady ovšem není možné dodržet, pokud v receptuře kompostu hraje prim travní hmota. Nesprávné nastavení surovinové skladby kompostovaného materiálu může mít za následek i zastavení kompostovacího procesu, což ve svém konečném důsledku může vést i k neuznání vyrobeného kompostu, jako se to stalo v případě kompostárny v Milevsku.

Problémem Milevské kompostárny kromě špatné receptury kompostu je podle mého názoru také pracovní rychlost kompostovací linky. Ta je především v letních měsících, kdy je nápor organické hmoty na kompostárnu nejvyšší, je velmi pomalá a tím způsobuje mnohé problémy. Mezi hlavní nedostatky patří zejména hromadění bioodpadu při přípravě ke kompostování, kdy u něho velmi rychle začíná probíhat proces hnití doprovázeným silným zápachem. Na základě tohoto problému musela kompostárna navíc řešit stížnosti obyvatel, které vyústily v provedení inspekce krajským hygienickým úřadem.

Kompostování by měl být způsob snížení množství produkováných odpadů, ale kompostárna v Milevsku díky vakuové technologii je pro odpady sama o sobě velkou zátěží. Plachty využívané na vaky společně s hadicemi tvoří značnou položku v produkováných odpadech a také jsou velmi finančně náročné

Kompostárna v současné době nefunguje. Rozšiřuje se, aby bylo možné lépe zvládnout nápor kompostovaného materiálu. Zatím není možné změnit kompostovací technologii z důvodu pořízení celé kompostárny z fondů Evropské unie. Takovýto projekt má v období 5 let po realizaci tzv. „údržnost projektu“, kdy kompostárna musí fungovat v nezměněném stavu. Ovšem po uplynutí této doby oddělení městských služeb zvažuje přechod na klasickou technologii kompostování v pásových hromadách na volné ploše.

Budoucnost Milevské kompostárny

V roce 2017 bude z rozpočtu města vyčleněna částka, díky které bude možné vybudovat novou kompostovací plochu dál od zástavby města, kde se obyvatelé stěžují na zápach. Plocha usnadní i manipulaci s bioodpadem, který měl tendenci v letních měsících zahnívat. Výstavba nové plochy kompostárny bude umístěna do areálu čističky odpadních vod za město Milevsko. Současně se z vyčleněných peněz vybuduje plocha pro uložení čistírenských kalů. Výstavba nové kompostovací plochy by měla začít na jaře 2017 tak, aby v létě bylo možné plochu plně využívat a obnovit provoz celé kompostárny (KOLÁŘOVÁ, 2017). Při kompostování v areálu čističky odpadních vod se nabízí možnost využití aktivovaných kalů. Proces spočívá v namnožení bakteriálního inokula na hygienizovaném čistírenském kalu a jeho následném přimíchávání do surovinové základny kompostu. Infekce bioodpadu pomocí takto namnožených bakterií urychlí a zkvalitní celý proces kompostování. Existuje zde ale možnost kontaminace kompostu zvýšeným množstvím těžkých kovů, či reziduí léčiv. Z toho důvodu bude nutno sledovat chemické složení čistírenských kalů a jejich přimíchávání do kompostu regulovat podle naměřených hodnot (DEEPESH *et al.*, 2016).

3.4.1. Strojní a technické vybavení kompostárny

Kompostovací linka Milevské kompostárny je poněkud odlišná od ostatních. Technologie kompostování ve vacích je méně náročná z hlediska využití jednoúčelových strojů. Vlastní kompostovací linka se skládá z kolového traktoru, míchacího vozu a štěpkovače. Štěpkovač se pro nízkou pracovní rychlost (8 m³ materiálu/den) v kompostárně již nevyužívá a celý proces štěpkování je řešen službou (FALADA, 2017).

Kolový traktor

Základní energickou jednotkou kompostovací linky je kolový traktor Massey Ferguson. Traktor pro práci s bioodpadem využívá pracovní lopatu s přidržovačem pro lepší

manipulaci s kompostovaným materiálem. Kolový traktor byl zvolen jako hlavní energetický prostředek především díky široké škále uplatnění a nižšímu objemu zpracovávaného organického odpadu (FALADA, 2017).

Tabulka č. 21 - Technické specifikace kolového traktoru Massey Ferguson 5600

Hmotnost stroje	Výkon motoru	Typ motoru	Spotřeba paliva
4200 kg	85 HP	AGCO POWER 3.3l/3cyl EGR	8 l/hod

(MASSAY FERGUSON, 2017)

Mobilní kompostárna Cernin MK9

Kompostování mobilní kompostárnou se stává ze smíchání biologického odpadu v míchací části s následným vyskladněním pásovým dopravníkem a šnekovým lisem do LDPE vaku společně s větrací hadicí. Objem zpracovávaných surovin míchacím zařízením se pohybuje okolo 14 – 30 m³. Doba úpravy a míchání kompostovaného materiálu se při průměrné hmotnosti 450 kg/m³ pohybuje okolo 30 minut.

Tabulka č. 22 - Technické specifikace mobilní kompostárny Cernin MK9

Celková hmotnost	Potřebný výkon traktoru	Počet šneků	Počet otáček šneků	Počet nožů
3320 kg	75 HP	1	25 ot/min	8

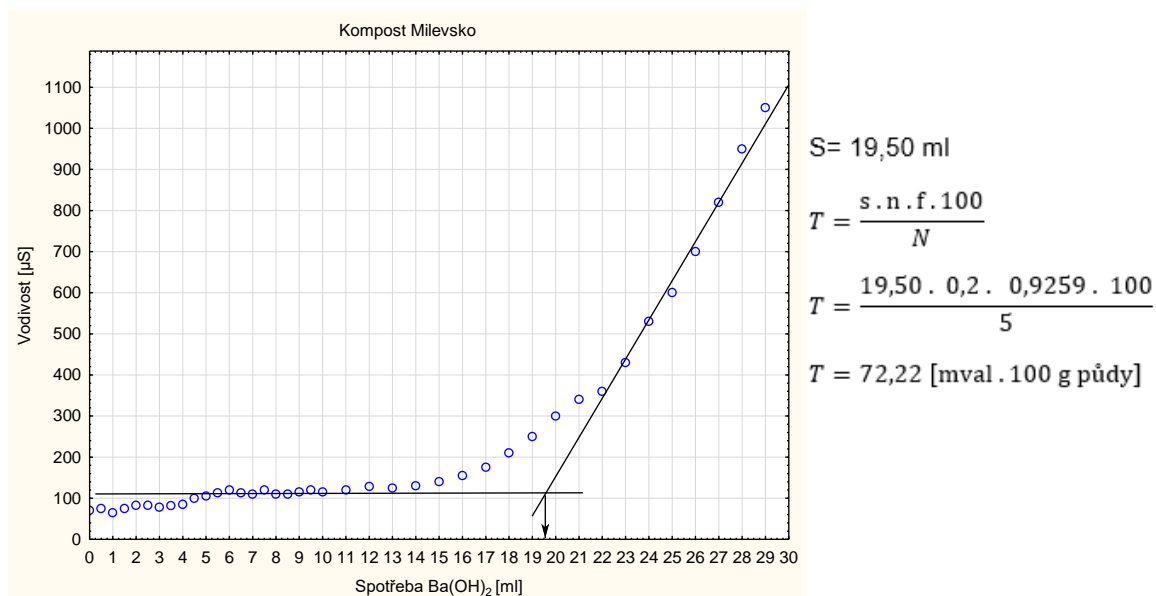
(CERNIN, 2017)

3.4.2. Hodnocení kvality kompostu v kompostárně města Milevska

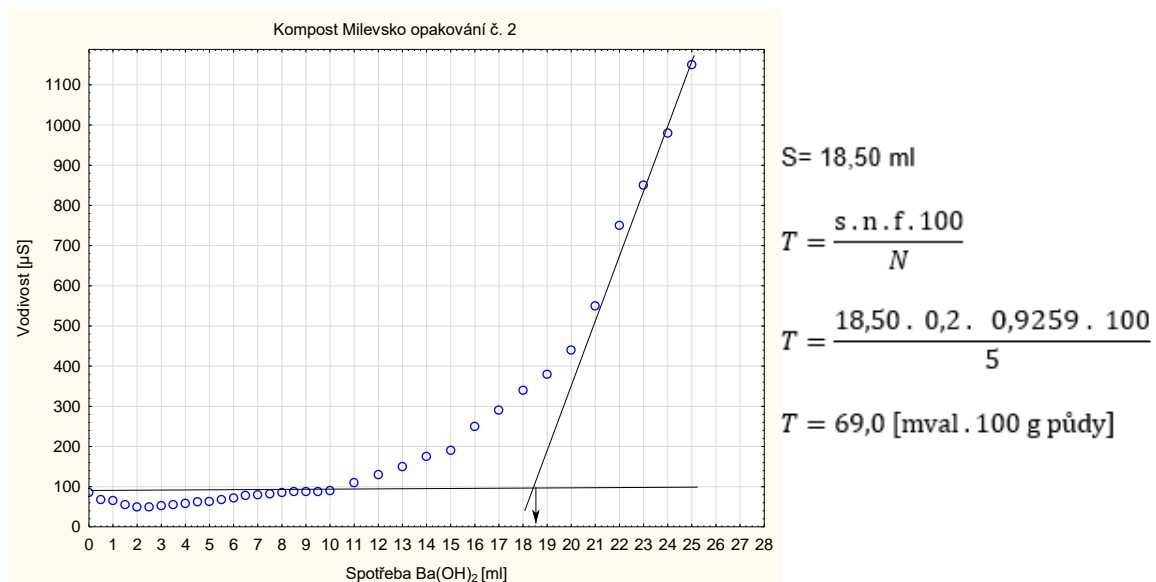
Homogenita odebraného vzorku byla i v tomto případě zajištěna odběrem z pěti různých stanovišť hromady kompostovaného materiálu. Vzorek vysušeného kompostu vážil 281 g. Snížení navážky celkového vzorku bylo nutné z důvodu rychlého vysušení, které muselo být provedeno co nejdříve pro nadměrný zápach celého vzorku. Po prosetí vzorku na síti s otvory průměru 0,2 mm byla váha vzorku 54,9 g. Nad sítí zůstalo 226,1 g. Odpad, který zůstal nad sítí, byl opět tvořen především kameny, nerozloženou dřevní štěpkou a odpady plastového původu.

Pro účely pokusu byl celý objem čistého vzorku promíchán. Z promíchaného materiálu bylo odváženo pět vzorků a každý z těchto vzorků měl přesnou navážku 5,0 g kompostu.

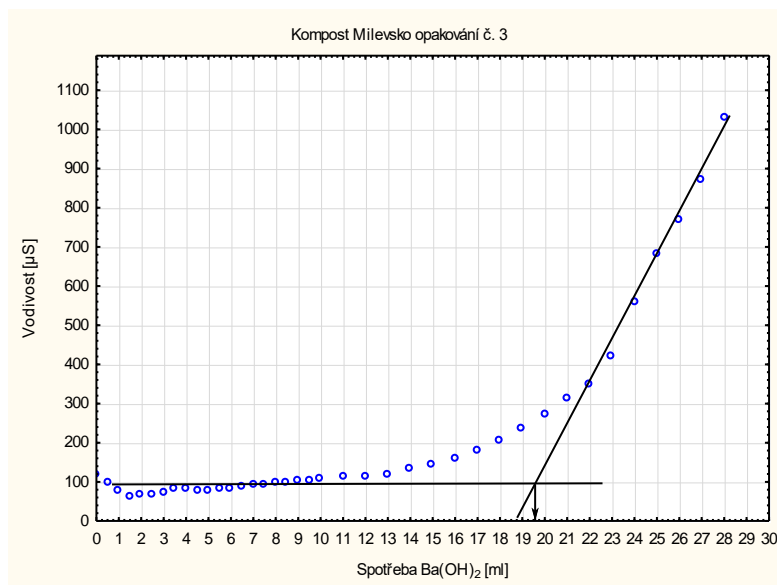
Graf č. 17: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 18: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



Graf č. 19: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



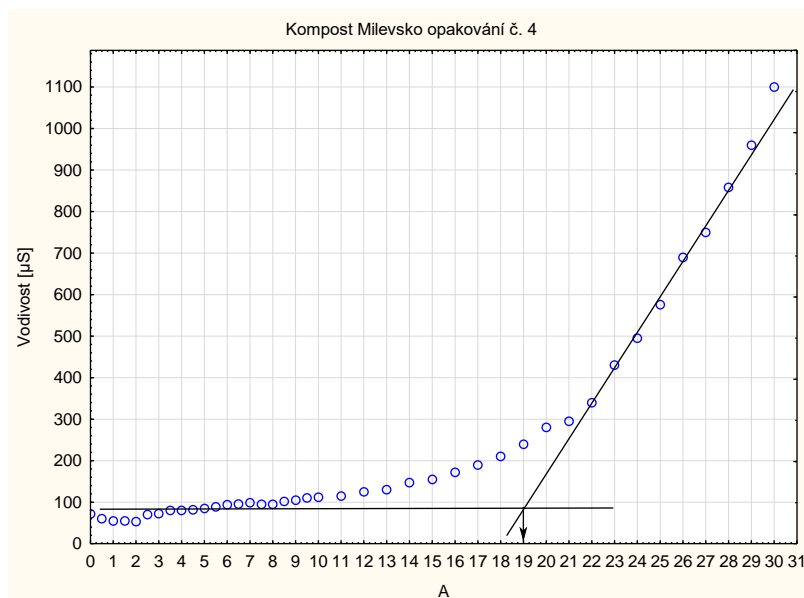
$$S = 19,50 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s.n.f. \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{19,50 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 72,22 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Graf č. 20: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



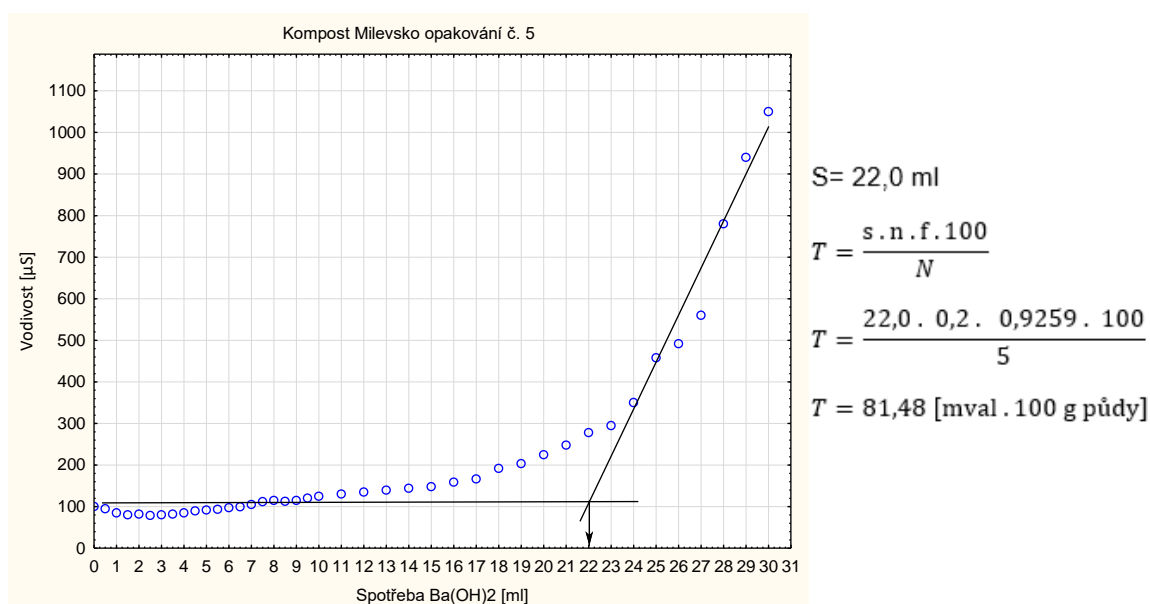
$$S = 19,0 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s.n.f. \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{19,0 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 70,37 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Graf č. 21: Vyjádření spotřeby $Ba(OH)_2$ pro určení iontovýměnné kapacity T dle Sandhofa.



3.4.3. Statistické zhodnocení výsledků kompostárna Milevsko

Dixonův test extrémních odchylek (Q test)

Výsledek grafu č. 21 se odchyluje od naměřených hodnot a je pravděpodobné, že se jedná o tzv. hrubou chybu a ta by mohla zkreslit výsledek měření. Pro hodnocení jsem vybral hladinu významnosti 95 % jejíž koeficient Q_k pro 5 měření je 0,642.

Tabulka č. 23: Seřazené hodnoty iontovýměnné kapacity pro Dixonův test

X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
69,0	70,37	72,22	72,22	81,48

Variační rozpětí:

$$R = x_5 - x_1 = 81,48 - 69,0 = 12,48$$

Q minimální pro X_1 :

$$Q_{min} = x = \frac{x_2 - x_1}{R} = \frac{70,37 - 69,0}{12,48} = 0,11$$

Q maximální pro X_5 :

$$Q_{max} = \frac{x_n - x_{n-1}}{R} = \frac{81,48 - 72,22}{12,48} = 0,74$$

Z výsledků je patrné, že hodnota Q_{max} pro X_5 je vyšší, než koeficient Q_k což ukazuje na chybu v měření, a proto nebude výsledek grafu č. 21 zařazován do konečného zhodnocení.

Intervalový odhad se spolehlivostí 95%

Pomocí Dixonova testu extrémních odchylek jsem z testování vyřadil graf č. 21 a z tohoto důvodu nebude zohledněn v následujícím testování.

Vzorce pro výpočet intervalového odhadu:

$$B1 = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$B2 = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

Tabulka č. 24 – Výpočet intervalového odhadu (Milevsko)

lontovýmienná kapacita	69
lontovýmienná kapacita	70,37
lontovýmienná kapacita	72,22
lontovýmienná kapacita	72,22
Průměr	70,9525
Směrodatná odchylka	1,566809
t_{n-1}	3,182446
B1	68,45936
B2	73,44564

Na základě statistického odhadu intervalů je možné tvrdit, že výsledky v případě pokračování výzkumu budou v rozmezí hodnot B1 – B2 a to na hladině pravděpodobnosti 95%.

3.5. Vermikompostárna Rumpold, Uherský Brod

Pro lepší srovnání kvality kompostů vyráběných v městských kompostárnách jsem se rozhodl využít možnosti srovnat jejich dosažené výsledky s kompostem, který vznikl kompostováním za poněkud odlišných podmínek. Kompostárna Rumpold UHB je komerční kompostárnou se značnými zkušenostmi ve vermikompostování. Porovnání klasické technologie výroby kompostu s vermikompostováním bude o to zajímavější, že vermikompostování není považováno některými autory (Váchalová *et al.*, 2016) z hlediska kvality kompostu za nejlepší cestu k dosažení kvalitního substrátu, zatímco technologie kompostování používané v městských kompostárnách jsou uznávané a velmi často doporučované v souvislosti s kvalitním kompostováním.

Kompostárna UHB zpracovává technologií vermikompostování biologický odpad z domů a sídlišť v Uherském Brodě.

3.5.1. Zakládání hromad v technologii vermikompostování

Proces vermikompostování byl založen v pásových hromadách na volné ploše v květnu v roce 2015. Pásové hromady měly velikost 5,6 m x 25,5 m. Kompostovací proces probíhal na asfaltovém povrchu, který zabraňoval vsakování odpadních vod. Samotný kompost byl založen podestýlkou skládající se z běžného bioodpadu produkovaného domácnostmi města Uherský Brod. Podestýlka byla následně naočkována červy, k tomuto účelu byly využívány žížaly *Eisenia Andrei* v koncentraci asi 50 žížal na jeden litr kompostované hmoty. Příkrmování žížal čerstvým substrátem bylo prováděno každé tři týdny v jarním a podzimním období, zatímco v zimních měsících každých pět týdnů. Od jara až do podzimu množství přidávaného odpadu tvořila 30 cm vrstva bioodpadu, zatímco v zimě vrstva tvořila 50 cm, aby se zabránilo poškození životních podmínek červů vlivem nepříznivých teplot. Bioodpad před přistýláním prošel termofilním předkompostováním. A to po dobu dvou týdnů v pásových hromadách na volné ploše. K předkompostování přistýlaného materiálu vedlo firmu hned několik důvodů. Mezi hlavní patřila nutnost dosažení určitého stupně homogenizace komponentů vstupní suroviny, snížení teploty v přistýlaném materiálu na únosnou hranici pro červy a v neposlední řadě předkompostování vedlo k získání chutnějšího a atraktivnějšího krmiva pro červy.

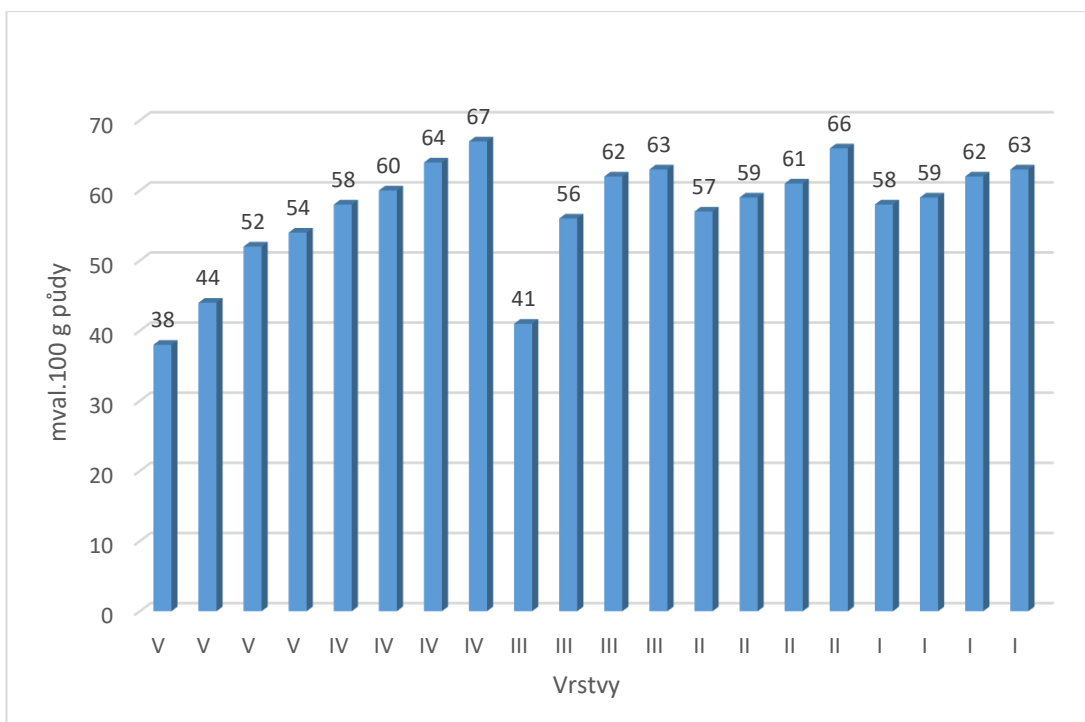
Při odebírání vzorků bylo nutné postupovat po jednotlivých vrstvách, to především z důvodu různého stáří kompostovaného materiálu.

Tabulka č. 25 - Jednotlivé odběry vermikompostu z kompostárny Rumpold UHB

Vrstva kompostu	Šířka kompostu	Stáří kompostu
V.	0 – 30 cm	< 3 měsíce
IV.	30 – 60 cm	3 – 6 měsíců
III.	60 – 90 cm	6 – 9 měsíců
II.	90 – 120 cm	9 – 12 měsíců
I.	120 – 150 cm	≥ 12 měsíců

Vermikompostárna poskytuje možnost pro kvalitní zpracování směsi výkalů a podestýlky z chovů drůbeže za současného dodání uhlíku (C) z jiného druhu biologicky rozložitelného odpadu. Za předpokladu zajištění optimálního poměru C:N je červy tento druh organického materiálu velmi dobře zpracovatelný. Je možné z něj vytvořit substrát, který je dobře využitelný jako hnojivo v zemědělství. Při kompostování se po 21 týdnech prokazatelně zvyšuje obsah vázaného dusíku (N) a fosforu (P) zatímco elektrická vodivost a obsah těžkých kovů klesá. Tímto způsobem se snižuje fytoxicita slepičího hnoje a vermikompostování umožňuje jeho využití na zemědělské půdě, jako bezpečného organického hnojiva (RAVINDRAN *et al.*, 2016).

Graf č. 22 – Ionová kapacita podle stáří vrstev vermikompostu Uherský Brod (výsledky poskytnuté vedoucím práce)



3.5.2. Statistické zhodnocení: kompostárna Uherský Brod

Intervalový odhad se spolehlivostí 95%

Na základě statistického odhadu intervalů je možné tvrdit, že výsledky v případě pokračování výzkumu budou v rozmezí hodnot B1 – B2, a to na hladině pravděpodobnosti 95%. (v návaznosti na jednotlivé vrstvy)

Vzorce pro výpočet intervalového odhadu:

$$B1 = \bar{x} - \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

$$B2 = \bar{x} + \frac{s}{\sqrt{n}} * t_{n-1} \left(1 - \frac{\alpha}{2}\right)$$

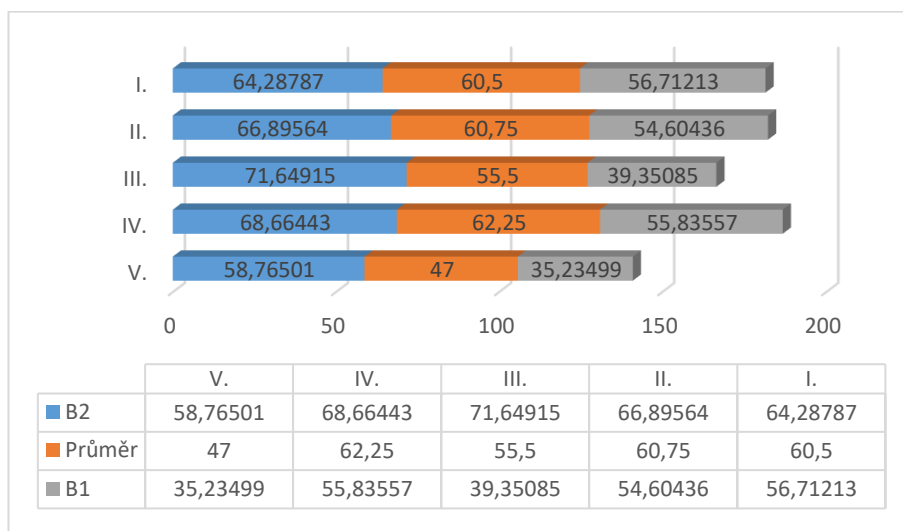
Tabulka č. 26 – Výpočet intervalového odhadu (Uherský Brod)

Vrstva kompostu	V.	IV	III.	II.	I.
Iontovýmienná kapacita	38	58	41	57	58
Iontovýmienná kapacita	44	60	56	59	59
Iontovýmienná kapacita	52	64	62	61	62
Iontovýmienná kapacita	54	67	63	66	63
Průměr	47	62,25	55,5	60,75	60,5
Směrodatná odchylka	7,393691	4,031129	10,14889	3,86221	2,380476
t_{n-1}	3,182446	3,182446	3,182446	3,182446	3,182446
B1	35,23499	55,83557	39,35085	54,60436	56,71213
B2	58,76501	68,66443	71,64915	66,89564	64,28787

3.6. Závěr statistického vyhodnocení

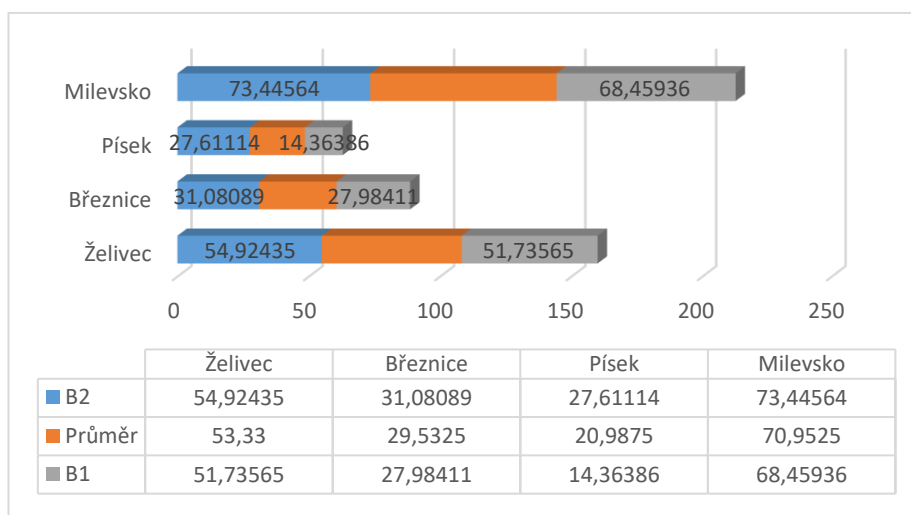
Na základě intervalových odhadů spolehlivosti jsem (na hladině pravděpodobnosti 95%) sestavil grafy z průměrů, nejvyšších (B2) a nejnižších hodnot (B1), které definují vzájemnou statistickou odlišnost.

Graf č. 23: Intervalový odhad spolehlivosti: vermikompostárna Uherský Brod



Rozdíly v hodnotě T pro jednotlivé vrstvy kompostu vermikompostárny Uherský Brod jsou v souladu se statistickým hodnocením statisticky neprůkazné, a to na hladině pravděpodobnosti 95%.

Graf č. 24: Intervalový odhad spolehlivosti: ostatní technologie kompostování



Při vzájemném porovnání výsledků hodnoty T kompostů v jednotlivých kompostárnách je možné konstatovat, že byl zjištěn statisticky průkazný rozdíl v kvalitě kompostu z Milevské kompostárny ve srovnání se všemi ostatními komposty z kompostáren v Písku, Želivci a Březnici. Vzájemné rozdíly v kvalitě kompostů mezi kompostárnami v Písku, Želivci a Březnici nejsou statisticky průkazné na hladině spolehlivosti 95 %

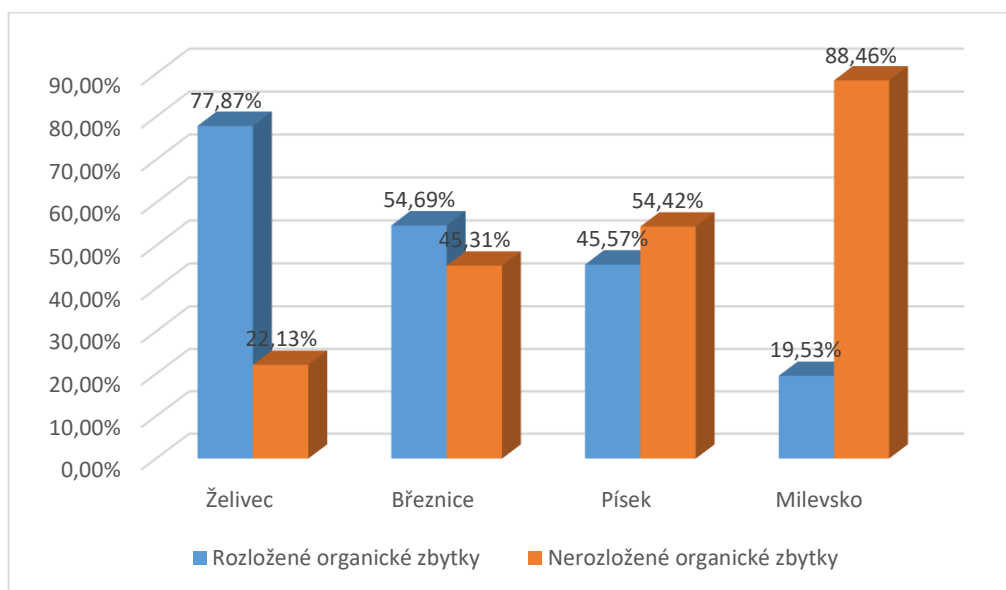
4.0. Diskuze:

4.1. Hodnocení kvality kompostu z vybraných kompostáren

Zde jsou porovnány vzorky kompostů ze sledovaných vybraných kompostáren. Je zprůměrováno všech pět opakování u každé vybrané kompostárny. Očekávalo se, že vzorky budou reprezentovat zvýšené hodnoty iontovýměnné kapacity. Tento efekt je založen mimo jiné i na tvrzení, že humus prostřednictvím svých koloidních částic pomáhá ke zvyšování iontovýměnné kapacity. To sebou na pozemek přináší zvýšení půdní úrodnosti. K tomu dochází díky zvýšené schopnosti půdy zadržovat kationty, které jsou snadno využitelné rostlinami k jejich výživě. Jedná se především o vápník, draslík, hořčík, amonný kationt a sodík. Půda se po aplikaci kompostu s dobrou iontovýměnnou kapacitou stává více odolnou proti vyluhování. (CROVETTO 2001). Srovnání kvality vyráběného kompostu je nutné z hlediska informovanosti široké veřejnosti. Přístup veřejnosti ke konvenčně vyráběnému kompostu je v mnohých případech značně negativní, což vede k nízkému odbytu často i kvalitního produktu s vysokým přínosem pro půdu (VAN FAN *et al.*, 2016).

REICOSKY (2001) ve své publikaci uvádí, že i organická hmota sama o sobě může zvyšovat iontovýměnnou sorpční kapacitu půdy. Zde se může jednat o zvýšení z 20 % na více než 70%.

Graf č. 25: Zhodnocení rozloženého bioodpadu v hodnocených kompostárnách

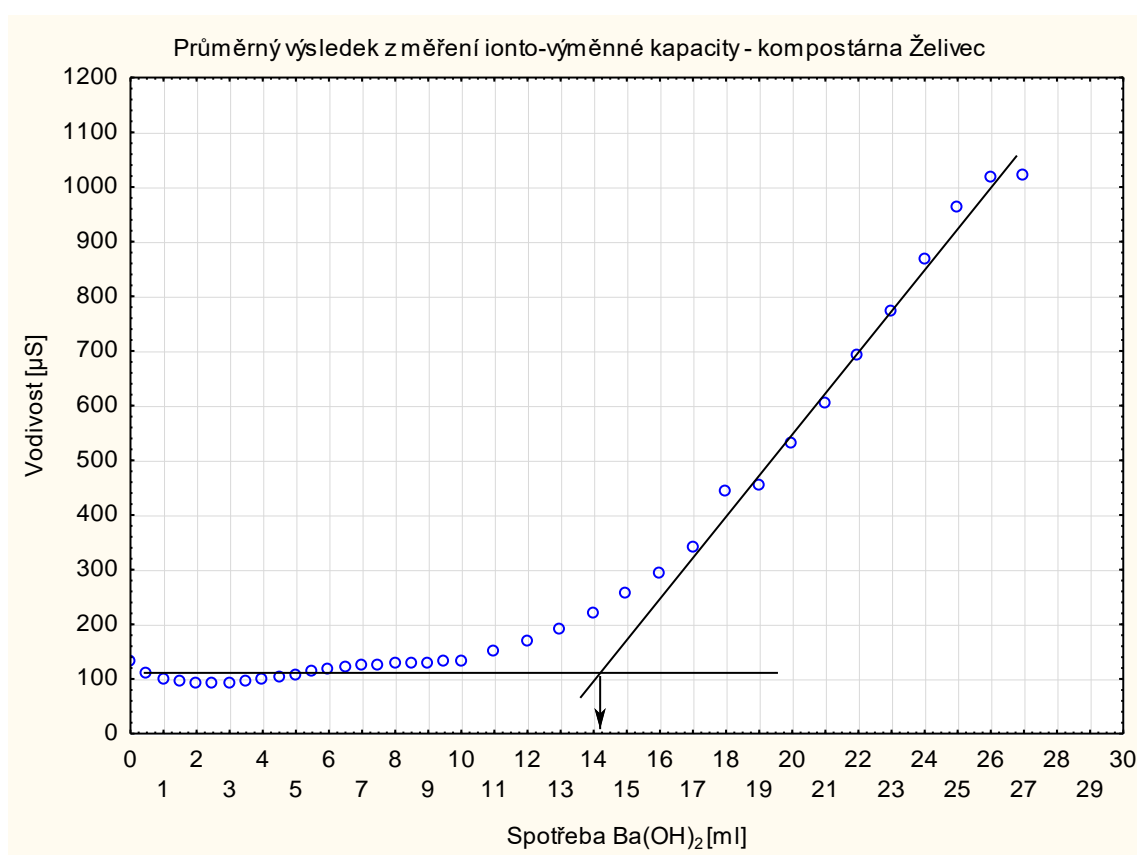


Z grafu nerozložených a rozložených organických zbytků vyplývá, jak by měla být optimálně nastavena kompostovací technologie, aby došlo ke kvalitnímu rozložení všech organických zbytků včetně dřevní štěpky. Všechny kompostárny bioodpad zpracovávají přibližně stejnou dobu (3 měsíce), ale výsledek kompostárny v Želivci předčil všechny ostatní. Nejrychlejší biodegradaci biologicky rozložitelného odpadu je podle dosažených výsledků možné očekávat v technologii kompostování, která je založená na kompostování v boxech s následným kompostováním materiálu v pásových hromadách. Naopak technologie s kompostováním ve vacích dopadla v mém hodnocení nejhůře a je patrné, že biodegradaci prošla nejspíše jen travní hmota, a to ještě ne všechna. Kompostárna Březnice a kompostárna Písek jsou klasické městské kompostárny založené na technologii kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Biodegradace materiálu v těchto zařízeních funguje. Jejich účinnost není závratná. Je možné předpokládat, že kompletní rozložení jedné zakládky se protáhne na několik cyklů kompostování. Na jednotlivé aspekty kvality kompostování v těchto kompostárnách se zaměříme při zhodnocení každé kompostárny.

K tématu o kvalitním rozložení organických zbytků v kompostu se vyjadřuje i Plíva *et al.* (2016) a ve své knize uvádí, že základní podmínkou procesu kompostování a kvalitně rozložených organických zbytků je příprava a založení surovin do kompostu. Pokud tedy chceme v relativně krátkém časovém úseku (3 měsíce) z velké části rozložit většinu organických zbytků (kompostárna Želivec) je nutné věnovat se vhodné úpravě vstupních surovin. Surovinová zakládka kompostu musí být dostatečně zhomogenizována a je nutné provést dezintegraci velkých částí na části menší s větší plochou pro aktivaci biodegradačních mikroorganismů.

4.2. Vyhodnocení výsledků v kompostárně Želivec

Graf č. 26 – vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Želivec



$$S = 14,25 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{14,25 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 52,8 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Kompostárna Želivec má výborné zázemí, které je srovnatelné s podniky ve světovém měřítku. Proces biodegradace je díky využívané technologii mnohem šetrnější k životnímu prostředí což v kombinaci se skvěle zvládnutým systémem a zpracováním kompostovaných materiálů vede k výborným výsledkům. (WANG *et al.* 2013)

Výsledek, kterého bylo dosaženo při stanovení iontovýměnné kapacity kompostu z kompostárny Želivec ukazuje na velmi rozvinutý komplex látek, které se vykazují velmi vysokou sorpční kapacitou.

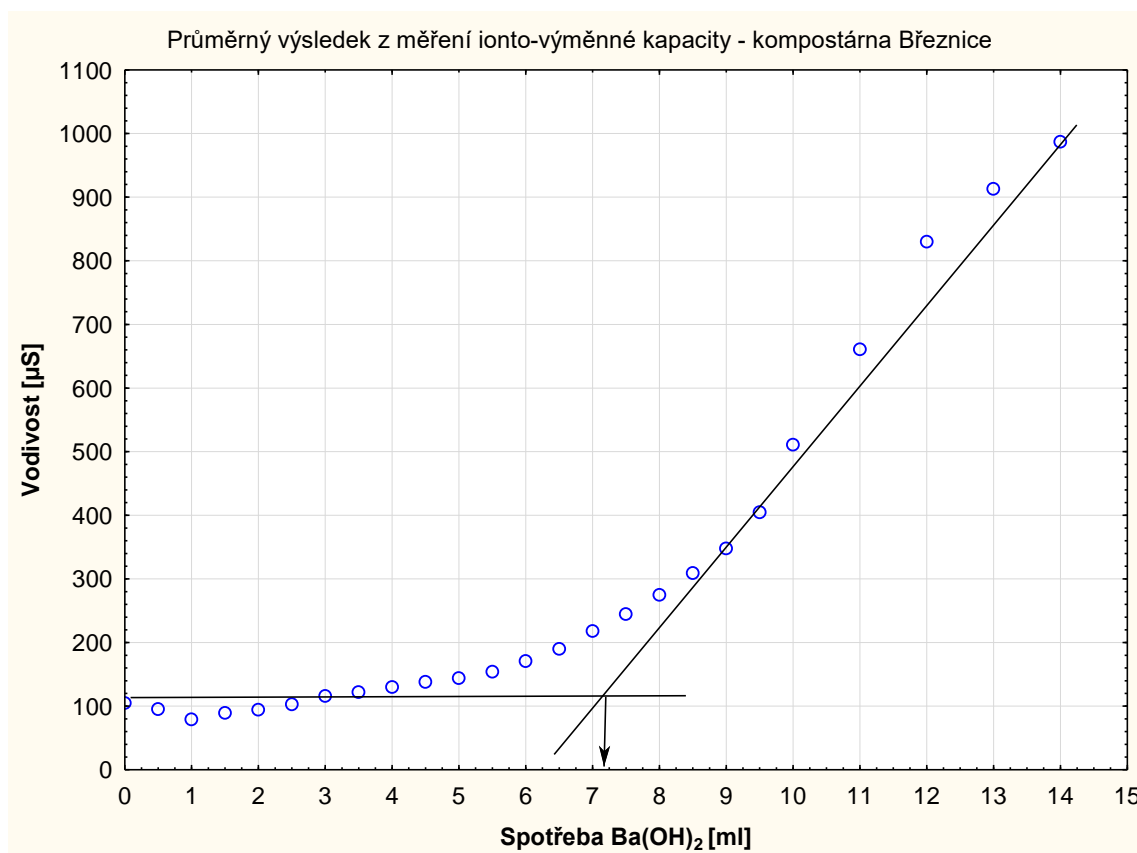
Vytvořený substrát je možné použít jako kvalitní hnojivo s příznivým dopadem na půdní vlastnosti. Na pozemku by mělo dojít k zlepšení zásobenosti půdy živinami, zlepšit by se měla také schopnost půdy zadržovat vodu. Zásobenost půdy živinami by vzhledem ke kvalitě tohoto kompostu měla být pružná a nemělo by docházet k vyplavování živin do spodních vod (PICCOLO, 1996).

Aplikaci tohoto kompostu je možné doporučit na všechny druhy půd (HORÁČEK *et al.*, 1994). Kvalita kompostu je dána především kombinací boxové technologie s technologií kompostování v pásových hromadách na volné ploše. V této technologii hraje velmi důležitou úlohu teplota při procesu kompostování při samotné zakládce kompostu v boxech, kdy dojde k rychlému zmineralizování organických látek a následně kompost dozrává v pásových hromadách na volné ploše. Nucená areace statických hromad má taktéž vyloženě pozitivní efekt, který staví vyráběný kompost na vysokou úroveň. Můj závěr podporuje i RASAPOOR *et al.*, (2016), který ve své studii uvádí výsledky měřených parametrů (teplota, pH, elektrická vodivost, poměr C:N, obsah N, P a K). Výsledný produkt technologie kompostování s nuceným větráním je kvalitnější než produkty běžného kompostování bez nucené areace. Na závěr Rasapoor upozorňuje na značnou energetickou náročnost této technologie a možnost znečištění ovzduší emisemi. Problematiku tohoto typu má technologie kompostárny Želivec velmi dobře vyřešenou, jak jsem již uvedl v popisu tohoto zařízení.

Vyráběný kompost je v rámci podniku dále využíván k vytváření zahradnického substrátu tvořící hlavní ekonomický pilíř této kompostárny. K vytvoření kvalitního substrátu se využívá 20 – 50 % kompostu, který dodává substrátu schopnost vázat vodu a tím přispívá k lepšímu vodnímu režimu v půdě. Kvalitu takového substrátu je možné dále zlepšovat přidávkou hnojiv na bázi vápníku (Ca) a hnojiv bohatými na dusík (N). Podobný druh substrátu je kvalitou srovnatelný se substráty vyráběnými konvenčním způsobem a jeho využití je možné i v běžných produkčních systémech hospodaření. (BURNETT *et al.*, 2016)

4.3. Vyhodnocení výsledků v kompostárně Březnice

Graf č. 27– vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Březnice



$$S = 7,15 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{7,15 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 26,5 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Výsledek v měření iontovýměnné kapacity, kterého bylo dosaženo v kompostu původem z kompostárny v Březnici, nedosahuje takové iontovýměnné kapacity jako kompost z kompostárny Želivec. Rozdíl mezi těmito komposty je 26,3 mval.100 g půdy. Což značně zasahuje do celkové kvality kompostovaného materiálu a značně ji zhoršuje.

BARTUNĚK (2016) uvedl, že kapacita kompostárny v Březnici je nedostatečná, a tak je nucen zkracovat dobu kompostování až o 1/3 což i podle SHERMAN (1999) spolu s nevhodnou skladbou kompostovaného materiálu (založenou na pravidlech zakládání

kompostu ve správném poměru C:N) může vést k nedostatečnému rozložení kompostovaného materiálu.

Dva měsíce není při klasickém způsobu založení hromady s C:N 30:1 dostačující doba na to, aby došlo k snížení tohoto poměru na požadovaných 10–15:1. Tato skutečnost může vést k problémům při skladování. S největší pravděpodobností bude kompost se špatným poměrem C:N při skladování zahnívat a silně páchnout (KAYHANINAN a TCHOBANOGLUS, 1992).

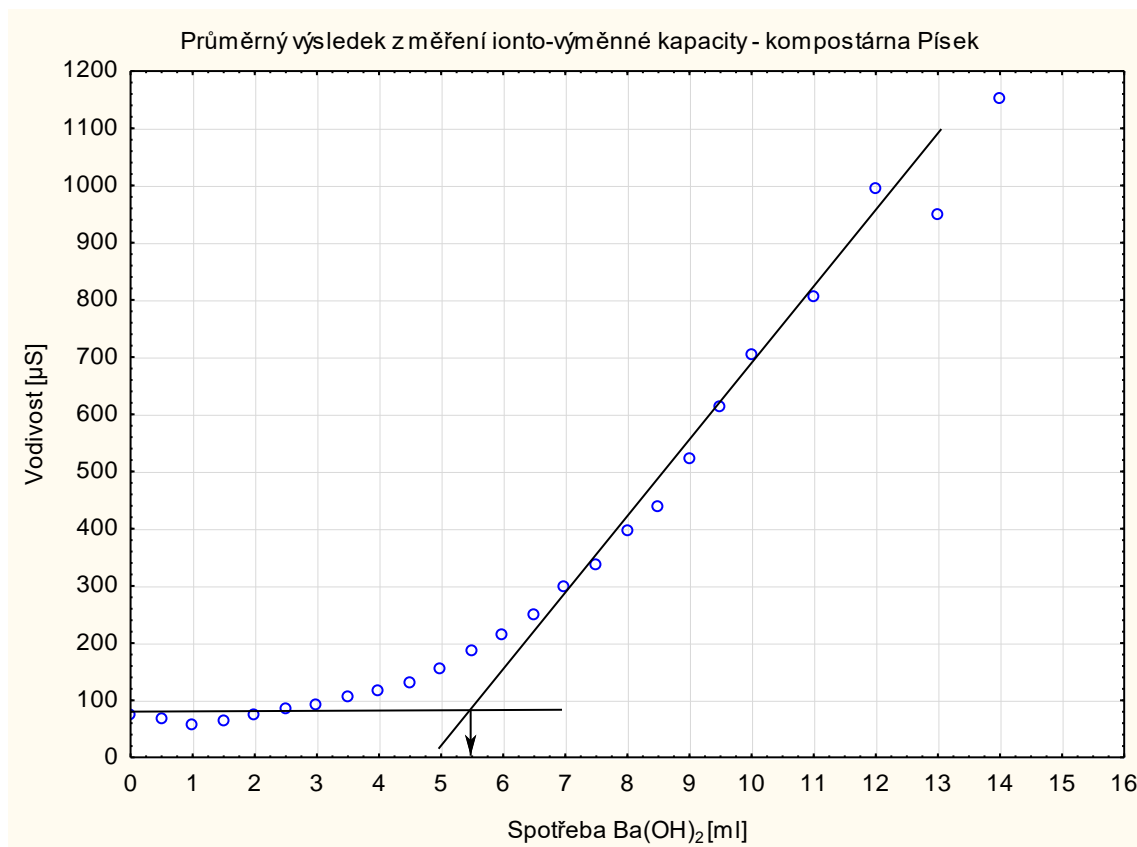
Dalším nesporným problémem je velikost hromad, díky níž může docházet ke kolísání teplot v rozmezí od 40 do 60°C. Díky silným výkyvům teplot může docházet k narušování přirozeného populačního růstu mikroorganismů. Jak víme, teplota by v průběhu procesu kompostování měla dosahovat alespoň 60°C minimálně po dobu tří týdnů. Při této teplotě se daří především termofilním druhům bakterií v čele s rodem *Bacillus*. Při poklesu na teplotu okolo 40°C dochází k utlumení jejich životních funkcí a dochází k namnožení mezofilních bakterií. Kolísání teplot tímto způsobem poškozuje kvalitu kompostu a mimo to i proces hygienizace (ROY 2013). Při nedostatečné hygienizaci v kompostu přežívá většina patogenních bakterií, které se vyskytují především ve střevní mikroflóře. Můžeme zde najít nebezpečné bakterie rodu *Listeria*, *Listeria* a enterohemoragické *Escherichia coli*. V současné době je již několik prokázaných ohnisek infekcí těmito patogeny díky hnojení listové zeleniny komposty s nedostatečnou kontrolou mikrobiologických kultur. V případě nedostatečné hygienizace jsou bakterie schopné nejen přežít v nehostinném prostředí, ale následně se i znovu namnožit, a to může kompostárně vytvořit značné problémy (SHARMA a REYNNELLS, 2016).

Podle hodnocení iontovýmenné sorpční kapacity se tento kompost rovná kvalitním půdám, a proto je jeho využití na méně úrodných půdách žádoucí. Je možné do budoucna počítat s tím, že iontovýmenná kapacita po jeho aplikaci vzroste.

Aplikace tohoto kompostu je vhodná především na pozemky, které byly poškozeny erozí, či u nich došlo, nějakým způsobem, k poškození půdních vlastností, především vázání živin. Kompost toho typu nepatří k nejlepším, ale potenciál pro uplatnění na půdu jistě má. Je nutné brát v potaz hodnoty iontovýmenné kapacity půd, na které budeme tento kompost aplikovat. Pokud dodržíme tato pravidla bude i tento kompost přínosem.

4.4. Vyhodnocení výsledků v kompostárně Písek

Graf č. 28– vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Písek



$$S = 5,5 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s \cdot n \cdot f \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{5,5 \cdot 0,2 \cdot 1,010 \cdot 100}{5}$$

$$T = 22,2 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Podle výsledků získaných při analýze iontovýměnné kapacity je možné soudit, že u tohoto kompostu není dostatečná kapacita pro iontovou výměnu, jakou bychom u kvalitního kompostu očekávali. S výslednou průměrnou iontovýměnnou kapacitou 22,2 [mval . 100 g půdy] je kompost ještě slabší, než kompost kompostárny Březnice.

Příčinou nízké kapacity pro iontovou výměnu může být především nedostačující provzdušňování kompostovaných hromad. Podle slov pana Gareise (2016) dochází k překopávání až v době, kdy je kompostovací kapacita jedné hromady zcela zaplněna.

Za tu dobu uvnitř hromady nedochází k dostatečnému provzdušňování, což vede k problémům s rozkladem organické hmoty.

Nedostatečný obsah kyslíku v kompostovaném substrátu velmi významně ovlivňuje mikroflóru a tím pádem i následný rozklad a humifikační procesy, jenž sebou do substrátu tyto organismy a děje přinášejí. Míra spotřeby kyslíku (dynamický respirační index) je jeden z nejspolehlivějších ukazatelů mikrobiální aktivity v prostředí kompostovaného materiálu. Tento ukazatel se v průběhu kompostování samozřejmě mění, proto je třeba v případě pozorování mít na paměti že např. v počáteční fázi kompostování je spotřeba kyslíku nízká a kolísá společně s aktivitou mikroorganismů (GEA *et al.*, 2004).

Nedostatek kyslíku nese také změnu v procesu rozkladu organické hmoty. Pokud není zabezpečen dostatečný přísun kyslíku, nastává tzv. anaerobní hnití. Díky tomuto procesu se začínají tvořit plyny velmi výrazného zápachu (např. metan, sirovodík a další). Na procesu hnití se podílejí především patogenní mikroorganismy, které jsou zdraví škodlivé a kompost se tak stává nevhodný pro běžné používání (HULEŠ, 2007). Je nutné zde zdůraznit, že kompost vykazuje stejnou iontovýměnnou kapacitu jako půdy se střední iontovýměnnou kapacitou a proto je možné výchozí kompost z kompostárny v Písku doporučit, pro méně úrodné půdy, jako zlepšující substrát. Pokud bude kompost využit při parkových úpravách, je kapacita 22,2 [mval . 100 g půdy] dostačující a společně s hnojivým účinkem tohoto substrátu bude dosaženo kvalitních výsledků při pěstování okrasné zeleně.

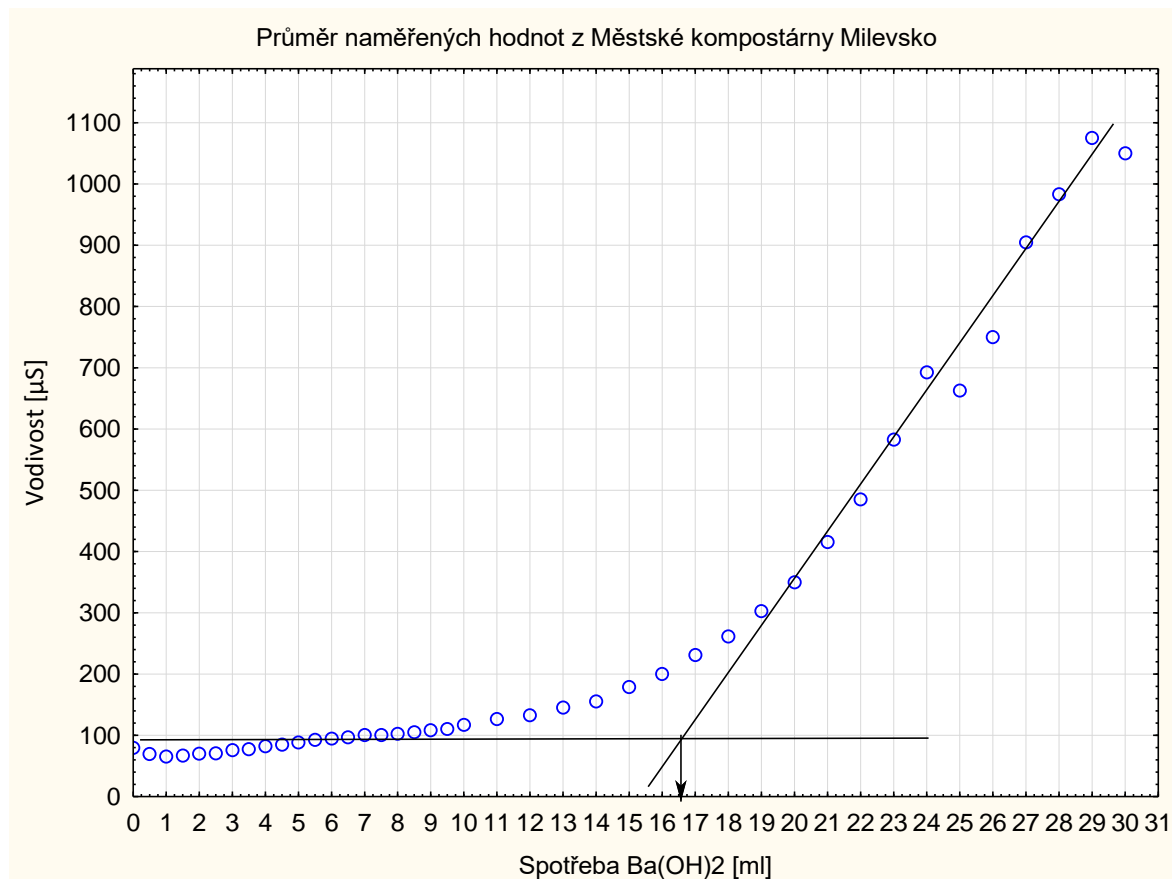
Pokud porovnáme výchozí komposty z kompostárny v Březnici s kompostárnou v Písku, tak písecká kompostárna by na základě kapacitních podmínek a kvality kompostovací linky měla produkovat kompost vyšší iontovýměnné kapacity než je tomu doposud a Březnickou kompostárnu by měla zásadně převyšovat.

Chemický rozbor kompostu z městské kompostárny Písek

Charakteristiku kvality kompostu z kompostárny z Písku potvrzují data získaná, analýzou kompostu akreditovanou zkušební laboratoří Ing. Josef Němec, Chemická a mikrobiologická laboratoř, Nový Dvůr. Výsledky se vztahují k procentuálně stanovené sušině vzorku, která tvořila 54,80 %. Draslík (K), 0,842 %, fosfor (P) 0,166%, celkový dusík (N) 0,57 %, pH 7,22, poměr C:N (10:1) a nerozložitelné příměsi tvořily (17,8%). Výsledky akreditované laboratoře ukazují Písecký kompost v jiném světle a dokládají jeho kvalitu. (viz příloha)

4.5. Vyhodnocení výsledků v kompostárně Milevsko

Graf č. 29 – Vyjádření průměrného výsledku z kompostárny Milevsko



$$S = 16,5 \text{ ml}$$

$$T = \frac{s.n.f. \cdot 100}{N}$$

$$T = \frac{17,0 \cdot 0,2 \cdot 0,9259 \cdot 100}{5}$$

$$T = 61,11 \text{ [mval} \cdot 100 \text{ g půdy]}$$

Výsledky kompostu jsou na první pohled velmi dobré. S iontovýmennou kapacitou 61,1 mval.100g půdy by tomu tak i mohlo být. Bohužel z grafu č. 23 Zhodnocení rozloženého bioodpadu ve sledovaných kompostárnách vidíme, že technologie kompostování ve vacích nebyla schopna rozložit ani 20 % z naskladněného materiálu. Celý tento problém ukazuje na špatnou mikrobiologickou aktivitu, která byla zapříčiněna nedostatkem vzduchu a především špatnou dezintegrací kompostovaného materiálu.

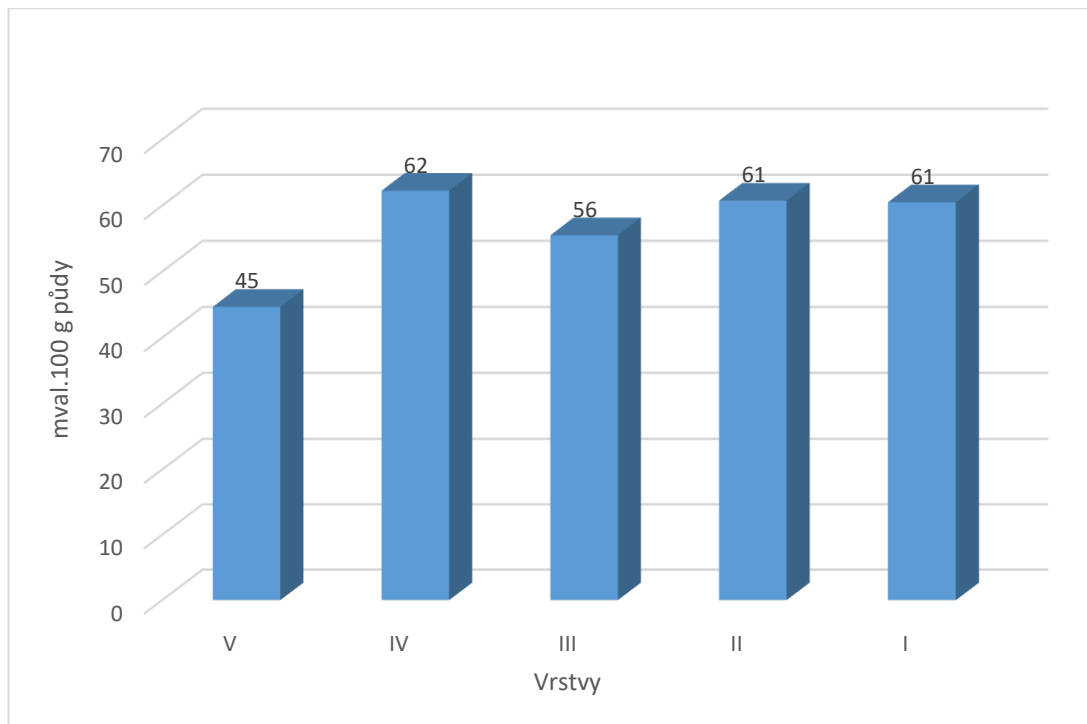
Kompostování v městské kompostárně by mělo usnadňovat likvidaci bioodpadů pocházejících z pozemků města, a to především v letních měsících, kdy je tlak bioodpadu nejvyšší. Je logické, že se zakládka kompostu bude skládat především z materiálů založených na bázi lignocelulózových zbytků (dřevní štěrka, tráva). Při přebytku travní hmoty není možné měnit složení zakládky kompostu a je nutné držet se stále stejné receptury. Pokud se receptura u této technologie změní, potom s největší pravděpodobností dojde k zamezení přístupu vzduchu a následně k zastavení celkového rozkladného procesu. Při kompostování v milevské kompostárně došlo přesně k tomuto problému, následkem kterého bylo rozložení pouze malého množství organické hmoty s následným zastavením celého procesu (TUOMELA, 2000). V případě milevské kompostárny byl problém nejspíše i v nedostatečné kapacitě (ploše) kompostárny. Její plochu se město chystá rozšířit a přesunout. Tento krok by do budoucna mohl ulevit celému procesu a zamezit tak chybám v samotné zakládce kompostu, do kterých provozovatele nejspíše nutily stížnosti obyvatel na zápach z tlející, nezpracované travní hmoty (PLÍVA *et al.*, 2016).

I přes velmi vysokou intovýměnnou kapacitu v malé části rozloženého substrátu není možné nazvat tento produkt kvalitním kompostem. Nejspíše ani není možné výslednému produktu říkat kompost. Z výsledků stanovených z malé části rozloženého substrátu je možné říci, že tato technologie může mít při správném využití a za dodržení jistých podmínek svůj potenciál. JAKOBSEN (1994) ve své publikaci uvádí, že při kompostování s nedostatečným přístupem vzduchu se tvoří nadměrné množství kyseliny octové, která negativně působí na rostliny. Tento problém je řešitelný, ale kompost se musí aplikovat na půdu pouze povrchově a není možné ho zapravit do půdy. Na povrchu půdy dochází k přeměně kyseliny na amoniak a mikrobiální proteiny. Celý tento proces je časově náročný a ve své podstatě neefektivní z důvodů úniku cenného dusíku (N) do ovzduší.

Z těchto důvodů, z mé strany, není možné doporučit kompost vyrobený v městské kompostárně Milevsko k běžné aplikaci na půdu. Situace by se dala napravit prosetím kompostu, opětovnou dezintegrací nadsítné části kompostu a opakováním procesu kompostování s novou zakládkou čerstvého bioodpadu, travní hmoty, na větší ploše a zamezením nedostatečného přístupu vzduchu .

4.6. Vyhodnocení výsledků vermikompostárny Uherský Brod

Graf č. 30 – Vyjádření průměrných výsledků z Vermikompostárny Uherský brod



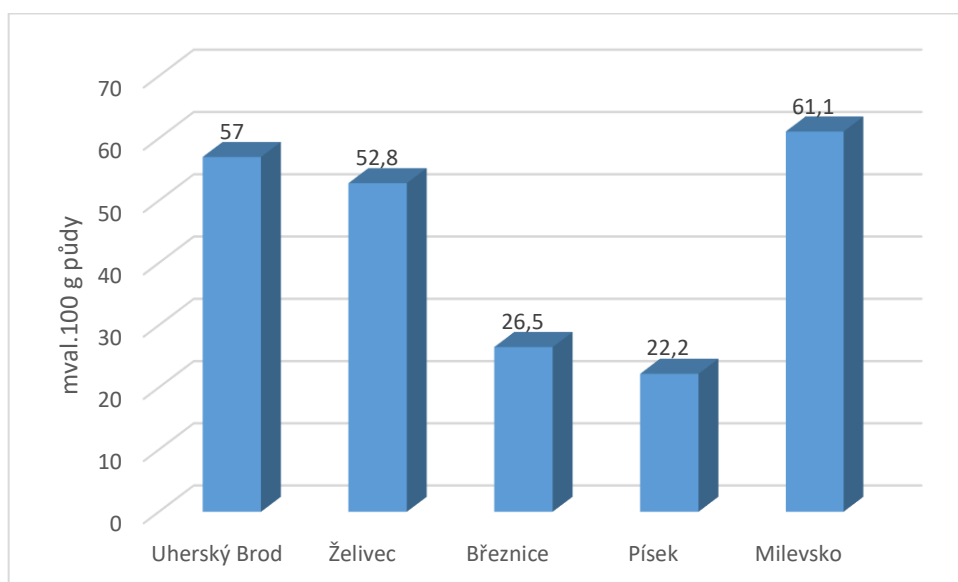
Z vyhodnocených výsledků je vidět, že kvalita vermikompostu roste společně se stářím jednotlivých vrstev (vrstva č. 5 je nejmladší). Vrstva č. 4 byla s největší pravděpodobností kontaminována ostatními vrstvami, a tak zde nejsou výsledky zcela průkazné. Nárůst kvality iontovýměnné kapacity je patrný s návazností na stáří kompostovaného materiálu.

Kvalita tohoto druhu kompostu nemusí být charakterizována jen vysokou iontovýměnnou kapacitou, ale také přístupnějšími živinami díky působení trávicího traktu červů. Zastoupení jednotlivých živin v kompostu a ve vermikompostu může být značně rozdílné. Je prokázáno, že ve vermikompostu se nachází větší zastoupení živin než v obyčejném, běžně kompostovaném materiálu. Tato hypotéza byla prokázána experimentem s jílkem. V tomto pokusu došlo ke smíchání množství od 20 – 40 g kompostu a vermikompostu na jeden kg půdy stejného typu. Zvýšení výnosu ve variantě s vermikompostem prokázalo zvýšený obsah živin v tomto druhu kompostu (TOGNETTI *et al.* 2013). Za pomoci červů je získán kvalitnější kompost než při běžném kompostování. Jak z hlediska živin, tak z hlediska iontovýměnné kapacity. Využití vzniklého substrátu může být mnohem efektivnější především na místech, kde očekáváme vysokou produkci za optimálních podmínek např. při pěstování zeleniny ve sklenících. Je prokázáno, že po přidání vermikompostu do pěstebního substrátu se

zvýšila nejen výška pěstovaných rostlin a zlepšil jejich habitus, ale došlo i k celkovému zvýšení výnosů. V substrátu z vermikompostování došlo ke snížení pH a zvýšil se i podíl nerozpustných (stabilních) látek v půdě (GUTIÉRREZ-MICELI *et al.*, 2007).

Vermikompost je charakterizován delší dobou zrání ve srovnání s běžnými komposty. Během zrání se mění i složení jednotlivých humusových kyselin. První měsíc je charakteristický nárůstem množství fulvokyselin. Po cca 30 dnech jejich obsah klesá s tvorbou humnových kyselin. Pro každý kompost a zvláště pro vermikompost znamená delší doba zrání vyšší kvalitu humusového komplexu a vyšší iontovýměnnou kapacitu (SHAILAJA, 2005).

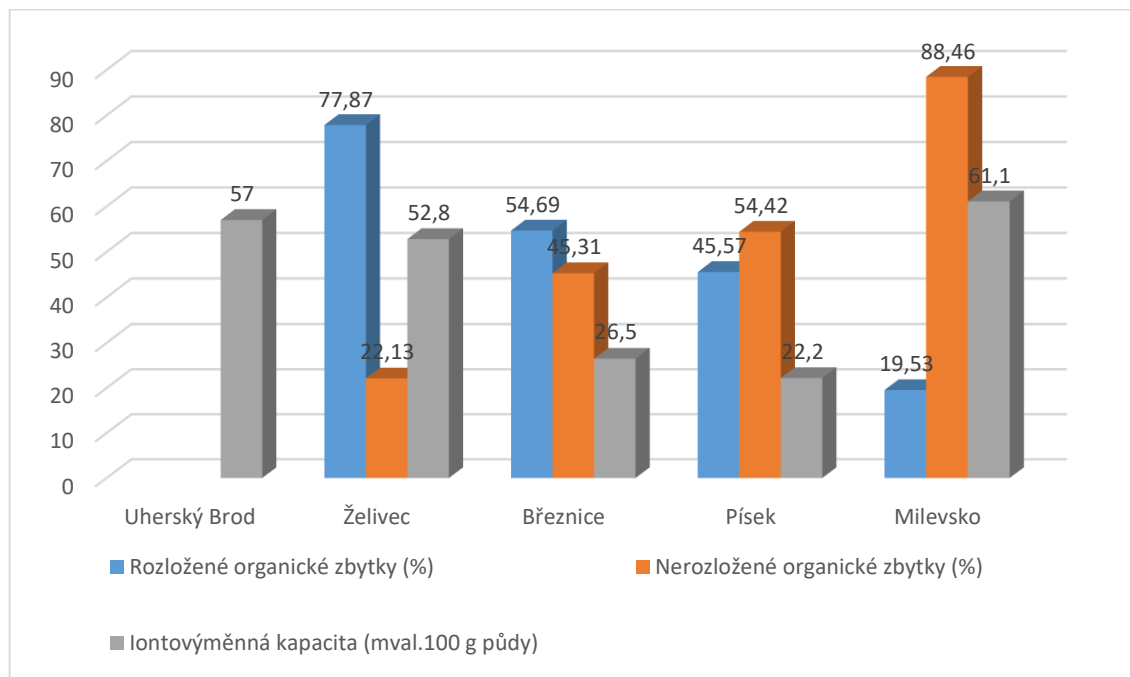
Graf č. 31: Porovnání výsledků iontovýměnné kapacity z vybraných kompostáren



Z výsledků v grafu č. 28 je patrné, že kvalita kompostu je značně variabilní, a to především v návaznosti na technologii kompostování jednotlivých podniků. I přes jisté rozdíly v dosažených výsledcích není možné říci, že by některý z vybraných vzorků byl vyloženě špatný a nepoužitelný (až na kompost milevské městské kompostárny). Pokud jednotlivé komposty nejsou kontaminovány těžkými kovy, potom je použití téměř vždy možné a v případě kompostáren: Želivec, Uherský Brod, Březnice, Písek bude produkt pro půdu přínosem. Dokonce i substráty s mnohem nižší iontovýměnnou kapacitou je možné aplikovat na pozemky, které byly zasaženy průmyslovou výrobou, a u kterých došlo k jejich znehodnocení. Na druhé straně se mohou vyskytnout i komposty s vysokou naměřenou iontovýměnnou kapacitou, ale jejich využití na půdě je téměř nebezpečné. Při aplikaci milevského kompostu se vystavujeme riziku znečištění půdy velkým množstvím nerozložených organických zbytků a množstvím inhibičních látek nebezpečných rostlinám, jak nám ukazuje graf č. 29. Fyzikálně-biologické zpracování

bioodpadu je bezpochyby dobrým krokem pro snížení jeho obsahu v obyčejném směsném odpadu. Při správném použití je téměř každý vyrobený substrát přínosem pro půdu (FARREL a JONES, 2009).

Graf č. 32: *Komplexní srovnání výsledků z vyhodnocovaných kompostáren*



4.7. Kvalita kompostu z jiného úhlu pohledu

Iontová výměna je schopnost půdních částic a organické hmoty, jež jsou negativně nabitě, přitahovat pozitivně nabitě ionty (kationty). Tato vlastnost dovoluje půdě vázat a v případě potřeby uvolňovat kationty (Ca, K, Mg atd.). Nízká iontovýmienná schopnost půdy tedy znamená menší schopnost udržet živiny. Z toho důvodu v této práci považuji iontovýmiennou kapacitu za důležitou vlastnost, kterou je nutno u nově vznikajících kompostů sledovat (ANGIMA, 2017). Tato hodnota ovšem není jediným ukazatelem kvality kompostu, a proto je nutné se podívat i na další možné hodnocení jeho kvality.

Kompost má mimo iontovýmienné kapacity také schopnost hnojitvou. Díky této vlastnosti můžeme jeho aplikací na půdu doplnit velké množství živin. Průměrný kompost obsahuje okolo 5 – 16 kg N v jedné tuně, což v sušině představuje asi 0,5 až 2,5 %. Dusík jako živina je z 90 % vázána v organické hmotě, ale celých deset procent je obsaženo ve vazbách huminových kyselin. Díky této skutečnosti není veškerý N vázaný v kompostu ihned přístupný rostlinám, ale dochází k jeho postupné mineralizaci a uvolňování do půdního prostředí (ŠREFL, 2012). Pokud se podíváme na uvolňování N v půdě, je zajímavé, že mnohem stabilnější je např. N vázaný v nemineralizovaných

rostlinných zbytcích, zatímco N vázaný v organických zbytcích živočišného původu je v půdě mnohem méně stabilní a je tudíž snáze přístupný pro rostliny. Tento fakt v důsledku znamená, že dostupnost N je po prvním roce po aplikaci kompostu na pozemek cca 20% (ŠREFL, 2011).

Obdobná situace nastává i při uvolňování fosforu. Ten je nejlépe uvolňován z čerstvých zbytků rostlinného původu, zatímco jeho uvolňování z kvalitního kompostu je poněkud složitější. Obecně je možné považovat kompost za dlouhodobý zdroj P, který se do půdy bude uvolňovat velmi pozvolna (PRASAD, 2009). V sušině kvalitního kompostu je obsah čistého P odhadován na 1 kg/t, ve formě P₂O₅ se jedná o 2,3 kg/t (KUNZOVÁ, 2009).

Dalším důležitým prvkem obsaženým v kompostu je draslík. Jeho koncentrace se pohybuje v rozsahu od 0,4 – 2,2 % v sušině (BARTAL *et al.*, 2004). ŠREFL (2012) ve své práci uvádí, že nejvyšší koncentrace draslíku byla v kompostu, který obsahoval velké množství zelených zbytků. Draslík je velmi dobře vyluhovatelný, a tak dochází k jeho ztrátám při vystavení kompostovaného materiálu dešti. Přístupnost tohoto prvku rostlinám je velmi vysoká, autor uvádí až 58% z celkového množství v roce aplikace do půdy. Zbytek draslíku v půdě pak velmi dobře mineralizuje.

Tyto poznatky o výživných hodnotách kompostu dávají pojmu „kvalita kompostu“ mnohem větší rozsah. Příkladem kompostu, který obsahuje velké množství živin je z pohledu doložených materiálů kompost z městské kompostárny v Písku, který v hodnocení podle iontovýmenné kapacity dopadl nejhůře z vybraných kompostáren. Bohužel u ostatních kompostáren není laboratorní hodnocení obsahu živin dostupné.

4.8. Navržení optimálního modelu kompostárny na základě hodnocení kvality kompostu pomocí Sandhofovy metody

Z hlediska získaných informací na základě pokusů s iontovýmennou kapacitou je možné říci, že proces kompostování v klasických městských kompostárnách nefunguje příliš dobře. Nej kvalitnější kompost z pohledu iontovýmenné kapacity vyráběla kompostárna Želivec. Zde byla zjištěna iontovýmenná kapacita $T = 52,8$ [mval . 100 g půdy]. Tento výsledek ve své podstatě sám o sobě mluví za kvalitu samotného kompostu. Na základě této skutečnosti jsem si vybral pro vytvoření optimálního modelu kompostárny právě tento podnik, ze kterého budu vycházet.

Zázemí kompostárny

Základním požadavkem pro vytvoření kompostárny je vhodné stanoviště, které by nemělo být na větrném místě z důvodu nadměrného vysychání kompostu a rozšiřování zápachu do okolí. Vhodné místo pro vznik nové kompostárny se nabízí především na periferii města s dobrým přístupem k pozemním komunikacím (PLÍVA *et al.*, 2009). Již při zakládání nové kompostárny je nutné navrhnout dostatečnou plochu pro kompostování a pohyb techniky. Tento krok by měl být podniknut až na základě vytvořeného plánu pro svoz bioodpadu, který nastíní, jak bude kompostárna zatížena v průběhu roku. Tento krok zamezí nedostatečné kapacitě možnosti zahlcení kompostárny, jak se tomu děje ve zmíněné kompostárně Březnice (BARTUNĚK, 2016). Pro město čítající cca 15 000 obyvatel musí kompostárna dosahovat přibližně kapacity 8 000 až 10 000 t zpracovaného bioodpadu za rok.

Základem každé kompostárny je technologie, jakou se bude odpad zpracovávat. Kompostování v pásových hromadách na volné ploše je jistě velmi efektivní, ale hodí se spíše do podmínek s teplejším a stabilnějším klimatem, než panuje ve středočeském kraji. Samotná technologie kompostování v pásových hromadách může být ohrožena především nadměrným kolísáním teplot, což může narušovat proces hygienizace a podle ROY (2013) i skladbu mikroorganismů (rozkladačů). Proto po vzoru kompostárny v Želivci doporučuji využití kompostování v uzavřených boxech, kde dojde v první fázi digesce organické hmoty k dokonalé hygienizaci kompostu a rychlému rozložení labilních organických látek. Teplota by se při první fázi rozkladu v boxech měla pohybovat nad 75°C po dobu cca 3 týdnů. Při této teplotě v substrátu převažují termofilní bakterie, které za intenzivní areace rozkládají labilní organickou hmotu, ta je zároveň dokonale zhygienizována díky vysoké teplotě. Dochází k odstranění patogenních mikroorganismů a semen plevelných rostlin (BEFFA *et al.*, 1996).

Kompostovaný materiál

Pokud vyrábíme kompost se zaměřením především na jeho kvalitu, musíme mimo dobré technologie zvolit také vhodnou skladbu surovinové základny s vhodným poměrem C:N. Tento poměr se má pohybovat nejčastěji od 25:1 do 40:1, jeho rozpětí bychom měli regulovat především v závislosti na kompostovaném materiálu, poměrem různých komponent (ANGIMA, 2017).

Vhodnou základkou kompostu vytvoříme kvalitní prostředí pro organismy (dekompozitory). Materiály vhodné pro kompostování musí jednoznačně vycházet

z organických zbytků, jež jsou produkovány v nejbližším okolí. Jedná se především o odpady vznikající při údržbě zahrad, odpady vznikající při údržbě městské zeleně a zeminu z terénních úprav. V zásadě se dostáváme k následujícím materiálům: Posekaná tráva, nadrcené větve, listy, půda, specifické druhy hospodářských odpadů (kravský hnůj). Pokud chceme uspíšit start rozkladu organické hmoty u nově založeného kompostu, je možné přidat pro inokulaci vyzrálý kompost, aby došlo k rychlejšímu namnožení dekompozitorů (MACH, 2008).

Jde také o materiály, kterých bychom se měli při kompostování vyvarovat. Jedná se především o: oleje, tuky, maso, odolné plevele a jejich semena. Zvláštní pozornost bychom měli věnovat také kočičím a psím exkrementům. Ty mohou obsahovat parazity v odolných stádiích s možnou opětovnou reaktivací (ANGIMA, 2017).

V současné době se objevuje prostředek pro zlepšení kvality kompostování i výsledného produktu. Biouhel (Biochar) je produktem pyrolýzy biomasy a přidává se do kompostovaného materiálu v poměru 10 % na celkovou váhu kompostované hmoty. Hlavním přínosem biouhlu do procesu kompostování je zrychlení biodegradčního procesu organické hmoty v bio-oxidační fázi. Dále se při použití biouhlu prokazatelně snižují ztráty N z původního materiálu, a to až z původních 22 % na 3 %. Po aplikaci této látky také vzniká více snadno přístupných sloučenin fosforu (P) jejich koncentrace se zvedá z původních 14,9 na 17,4 mg/kg. Přidáním biouhlu do kompostovací zakládky je tedy možné zvýšit hnojivé účinky kompostu a tím posunout kvalitu o stupeň výš. Navíc dochází ke snížení emisí při kompostovacím procesu, což je jednoznačným přínosem pro životní prostředí. Z těchto důvodů je využití biouhlu v ideální kompostárně žádoucí (MONDINI *et al.*, 2016). Jednoznačně doporučuji využití tohoto produktu.

V kompostárnách městského typu se mohou objevit i materiály jejichž použití není samo o sobě v procesu kompostování příliš bezpečné a je nutné tyto materiál ještě před přidáním do procesu upravit, či pozměnit kompostovací technologii. Po přidání čistírenských kalů, koňského hnoje, starých zahradnických substrátů atd. se můžeme setkat se sníženou aktivitou dekompozitorů způsobenou zbytky léčiv ve výkalech, či fyto toxicitou u vyrobeného kompostu. Tyto substráty mohou být fermentovány odděleně od kompostu a následně je můžeme přidávat, po odstranění nežádoucích látek (VERDONCK, 1988). Pokud dojde ke kontaminaci kompostu plasty, které jsou běžnou nežádoucí příměsí svážených bioodpadů, může dojít k problémům při samotném kompostovacím procesu. Problém s klasickými konvenčně vyráběnými plasty by do budoucna mohly řešit tzv. bioplasty. Bioplasty jsou velmi náchylné na fyzikální a chemické podmínky prostředí. Rozklad těchto struktur je možný i v procesu

kompostování především díky vhodným mikrobiologickým kulturám vyskytujícím se v kompostech (EMADIAN, 2017). Biodegradovatelné polymerní směsi získané z obnovitelných zdrojů (PLA) mohou po úspěšném procesu kompostování sloužit jako kvalitní organické hnojivo, které je navíc šetrné k životnímu prostředí (MAKHIJANI *et al.*, 2014)

Kompostování travní fytomasy

V městských kompostárnách bývá travní fytomasa zastoupena v největší míře. Nadměrné množství tohoto materiálu vzniká především při údržbě pozemků, které jsou udržovány oddělením technických nebo městských služeb. Pokud dojde k nadměrnému zatížení kompostovacího procesu travní fytomasou, může dojít ke stejným potížím jako v městské kompostárně Milevsko. Posekaná travní fytomasa je velmi vhodným, ale značně problematickým materiálem pro kompostování.

Přebytek travní fytomasy je velmi nebezpečný z hlediska redukované objemové hmotnosti (přepočtené na sušinu), což je fyzikální vlastnost komplikující proces kompostování znepřístupněním vzduchu. Pokud je v procesu nedostatek vzduchu, dochází ke změně rozkladného procesu na hnití se silným zápachem. Dále je při zpracování tohoto materiálu třeba brát v úvahu snížení objemu kompostovaného materiálu. Na druhou stranu travní fytomasa má naprosto dokonalý poměr C:N (18 – 35:1). Z těchto důvodů je vhodné travní fytomasu míchat s dalšími bioodpady (HEJTÁKOVÁ, 2007).

Vhodným přídatkem do surovinové skladby při nadbytku travní fytomasy je zemina, zejména orniční skrývka. Kombinace těchto dvou materiálů je doporučena především kvůli struktuře zeminy a také z důvodu zabezpečení vhodné skladby mikroflóry. Dobrou strukturu nám zajistí přídavek zeminy 5 – 10 % v celkovém objemu. Místo zeminy je možné využít i vyzrálý kompost.

Dále je možné využít lignocelulóзовý substrát zlepšující fyzikální vlastnosti a zabezpečující přirozenou pórovitost a ventilaci zrajícího kompostu. Zde je možné využít dřevní štěpku. Přednostně doporučuji využít hmotu, která je produktem drtiče dřevní hmoty. Drtič vytváří drobnější materiál s větší plochou, který se lépe rozkládá než běžná dřevní štěpka. Naopak nedoporučuji využívat kůru stromů, z důvodu možné fytotoxicity některých druhů (ANGIMA, 2017).

Optimální teplota kompostování travní fytomasy se neliší od běžného doporučení 60 °C. Zde bych se bránil mnou doporučované vyšší teplotě z důvodu rychlého rozkladu, který by nemusel být prospěšný pro celý proces kompostování. Optimální vlhkost se při

kompostování tohoto materiálu má pohybovat nad 50 % MKK. Proces rozkladu v optimálně založené hromadě je velmi rychlý. Za 194 hodin při uvedené teplotě a vlhkosti dojde k rozkladu až 75% travní fytomasy (NAKASAKI *et al.*, 1994).

Strojní vybavení kompostárny

Kompostovací linku je nutné navrhnout takovým způsobem, aby využití energetické prostředky svým výkonem nebrzdily proces kompostování a měly nějakou rezervu pro případ rozšiřování kompostárny. Stejný problém v současné době řeší jak kompostárna Březnice, tak kompostárna Milevsko. Pokud nestíhá kompostovací linka dostatečně rychle zpracovávat nápor biologického odpadu, začíná proces hnití což podle JELÍNKA KOLLÁROVÉ (2002) vede k tvorbě nadměrného množství NH_3 a H_2S a vede k problémům se zápachem.

Kolový nakladač

Tento stroj je velmi výhodný z hlediska rychlosti objemu vykonané práce. Velkou předností tohoto stroje je pracovní lopata s velkým objemem, která například u stroje v kompostárně Písek podle pana Gareise má objem 2,7 m³. Kolový traktor je stroj méně vhodný pro kompostárnu o provozním zatížení 2 000 – 4 000 t bioodpadu/rok.

Drtič

V návaznosti na získané zkušenosti upřednostňuji drtič před štěpkovačem. Drtič je schopen lignocelulózový materiál mnohem lépe připravit pro proces kompostování. Tato skutečnost vede k nižšímu podílu odpadového materiálu, který zůstává nad sítím při závěrečném prosívání hotového kompostu. Pracovní rychlost 5 – 10 m³/hod s výkonem 234,6 HP je více než dostačující a je možné počítat s takovýmto strojem i v případě rozšiřování kompostárny (GAREIS, 2016).

Překopávač kompostu

Při mnou zvolené technologii kompostování kombinace kompostování v boxech a kompostování v pásových hromadách na volné ploše je nutné pro dokončení celého procesu materiál pravidelně překopávat. Aby biodegradace v kompostu dosahovala dostatečné ekonomické i kvalitativní úrovně je materiál nutné provzdušňovat a kypřit. Z tohoto důvodu doporučuji kvalitní samojízdný řádkový překopávač o výkonu 202 HP a pracovním záběru 4,2 m x 2,1 m. Důležitým prvkem by na samojízdném překopávači měla být kabina s kvalitní klimatizací pro odvětrání plynů, které se uvolňují při překopávání kompostu (ŽILÍK, 2016).

Výsledný produkt a jeho registrace

Komposty budou do budoucna běžným organickým hnojivem, které bude využíváno především pro obsah živin, humusové látky a vysokou aktivitu mikroorganismů. Široké využití kompostu jako organického hnojiva může zbrzdit především strach z možného obsahu těžkých kovů. Těžké kovy mohou v půdě působit velmi fyto toxicky a celkově půdu znehodnocovat (HUANG *et al.*, 2016). Problémem může být i přístup k vyhodnocování stability a zralosti kompostu. Pokud aplikujeme kompost na půdu, musíme si být jisti, že je dostatečně vyzrálý a stabilní. Vyhodnocování těchto vlastností je problematické nejen u nás, ale takřka po celé Evropě. Pokud se provádí měření těchto dvou vlastností, které spolu souvisí, tak se jedná většinou pouze o test klíčivosti. Ten má prokázat, zda kompost nepůsobí na rostliny fyto toxicky, ale není možné říci, že test klíčivosti je jednoznačně objektivní, dostačující a že vylučuje inhibiční vlastnosti nezralého kompostu (CESARO *et al.*, 2015).

Jako každé hnojivo tak i kompost uváděný do oběhu musí být registrován. Jako kompost je podle nařízení vlády č. 103/2003 Sb. uváděno organické hnojivo vyrobené z biologicky rozložitelných surovin (nebo materiálů) s pomalu uvolnitelným dusíkem a poměrem C:N rovným nebo vyšším než 10.

Legislativní základ, který řídí výrobu, registraci a nakládání s komposty je zakotven v následujících nařízeních, vyhláškách a zákonech. Zákon 156/1998 Sb. o hnojivech, dále je upravován vyhláškou č. 474/200 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, vyhláškou 274/1998 sb., o skladování a způsobu používání hnojiv, nařízením vlády č. 103/2003 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a používání a skladování hnojiv a statkových hnojiv, střídání plodin a provádění protierozních opatření v těchto oblastech. V neposlední řadě výrobu a používání kompostu upravuje nařízení evropského parlamentu a rady č. 1774/2002, o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou výživu.

Registrace hnojiva (v našem případě kompostu) je prováděna pomocí formuláře dostupného na internetové adrese, či přímo na pracovišti ÚKZÚZ Praha. Žádost se skládá ze základních informací o společnosti uvádějící kompost na trh. Podle vyhlášky č. 474/200 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva určí typ hnojiva (v našem případě: kompost). Žadatel je také povinen poskytnout ústavu potřebné vzorky kompostu, či umožnit jejich odběr (VEČEŘOVÁ, 2008). Vzorek v základě charakterizuje základní parametry hnojiva. Ty jsou v našem případě: Vlhkost, spalitelné látky, pH, celkový dusík, poměr C:N, nerozložitelné příměsi a hodnoty rizikových prvků (HOUČEK, 2012).

Dávka N v kompostu nesmí přesahovat maximální limit organického hnojení 170 kg N/ha a maximální aplikační dávka na 1 ha průběhu tří let je 20 t sušiny na 1 ha. Důležité je, aby kompost uváděný do oběhu neobsahoval nadlimitní množství rizikových prvků. Nadlimitní množství těchto prvků může zastavit celou registraci kompostu. (HOUČEK, 2012). Dalším velmi nebezpečným prvkem, který se může nacházet v kompostu, který je třeba monitorovat je arsen (As) (VITHANAGE *et al.*, 2017).

4.9. Ekonomika výroby kompostu

Zhodnocení ekonomické stability městské kompostárny je velmi důležitým ukazatelem rentability výroby kompostu. Výroba kompostu je velmi šetrná k životnímu prostředí a následně, po aplikaci na půdu, zlepšuje půdní vlastnosti. Kompostování je velmi náročné po finanční stránce, a to především v městských kompostárnách, které v návaznosti na získaný dotační titul nesmí vykazovat zisk, a tak kompost neprodávají ani nevybírají peníze za uskladnění bioodpadu na kompostárně. Výsledný produkt je k dispozici pro odběr obyvatelům zdarma. Celý proces je pak veden jako služba obyvatelstvu, za kterou se skrývá nemalá finanční náročnost. Tu se v tomto úseku pokusím nastínit a přibližně stanovit náklady na střední městskou kompostárnu, která je podobná kompostárně Březnické.

Nejprve bylo nutné stanovit průměrné ceny pohonných hmot, které jsou v provozu každé kompostárny velmi důležité.

Tabulka č. 27: Průměrná cena nafty v roce 2016

	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Průměrná cena
Cena PH (Kč)	26,48	27,32	28,59	28,61	28,00	28,18	28,62	27,97 Kč

V dalším postupu jsem se zaměřil na průměrnou spotřebu nafty u strojů pro údržbu veřejné zeleně. Jedná se o náklady spojené se zajištěním dostatečného množství bioodpadu pro provoz kompostárny

Tabulka č. 28: Průměrná spotřeba strojů pro údržbu městských pozemků za rok 2016

Stroj	Spotřeba nafty (den)	Pracovní doba dny	Celková spotřeba PHM	průměrná cena PHM	cena PHM
Kubota STV 40	22	116	2552	27,97 Kč	71 379,44 Kč
Kubota G 23 H	17		1972		55 156,84 Kč
Motorové kosačky	5		580		16 222,60 Kč
					Celkem: 142 758,88 Kč

V programu většiny měst je zařazen také svoz bioodpadu ze stanovených míst pro jejich sběr. Pro náš případ jsem zahrnul i náklady spojené se svozem posekané trávy z údržby pozemků města.

Tabulka č. 29: Průměrné náklady na svoz bioodpadu

Úkony	Najeté km	Spotřeba na jeden km	Průměrná cena PHM	Cena
Svoz bioodpadu	480	0,33	27,97	4 430,45 Kč
Svoz posekané travní hmoty	4640	0,17		22 062,74 Kč
				Celkem: 26 493,18 Kč

Vlastní proces kompostování v pásových hromadách na volné ploše není tolik nákladný, a proto náklady spojené s jedním cyklem kompostování nejsou nijak závratné.

Tabulka č. 30: Ekonomické zhodnocení pracovních operací kompostovací technologie

Úkony	Počet opakování	Čas (hod)	Počet zakládek	Počet hodin překop. / 1 cyklus	Spotřeba PHM t/hod	Průměrná cena PHM	Celkové náklady/ 1 cyklus
překopávání kompostu	6	3	6	18	4,5	27,97 Kč	2 265,57 Kč
překopávání po sloučení hromad	2	1	3	3			377,60 Kč
přesévání	1	2,5	3	7,5			943,99 Kč
							Celkem : 3 587,15 Kč

S kompostovacím procesem je spojena také manipulace s výsledným produktem. Pro započítání procesu kompostování je nejprve nutné založit kompostovací hromady, které se po určitém čase ošetřují a po skončení celého procesu je hotový kompost třeba odvést.

Tabulka č. 31: Ekonomické zhodnocení manipulace s kompostem

Úkony	Počet opakování	Čas (hod)	Počet zakládek	Spotřeba PHM t/hod	Průměrná cena PHM	Celkové náklady/ 1 cyklus
Navážka materiálu	1	2,5	6	4,5	27,97 Kč	1 887,98 Kč
Slučování	1	0,5	3			188,80 Kč
Odvoz materiálu	1	1	3			377,60 Kč
						Celkem: 2 454,37 Kč

Kompostovací proces ve většině případů trvá zhruba tři, někdy i dva měsíce, a proto je možné celý proces několikrát za rok opakovat. Opakování zvyšuje nejen množství získaného kompostu, ale zároveň i náklady na kompostování.

Tabulka č. 32: Celkové náklady na proces kompostování za jeden rok

Úkony	Náklady na jeden cyklus	Počet cyklů	Celkové náklady (4 cykly)
Náklady kompostovací proces	3 587,15 Kč	4	14 348,60 Kč
Náklady manipulace s kompostem	2 454,36 Kč		9 817,44 Kč
			Celkem: 24 166,04 Kč

Kompostování v městské kompostárně je náročné na pracovní sílu. Protože proces kompostování vychází z dostatečného množství bioodpadu, bylo nutné započítat i náklady spojené s platy dělníků městských služeb, kteří zabezpečují dostatečné množství travní fytomasy.

Tabulka č. 33: Finanční ohodnocení pracovníků kompostárny

Zaměstnanci	počet pracovních dní	počet měsíců	počet pracovníků	průměrná mzda	celkem
Pracovníci s motorovou kosou	116	5,8	8	13 000,00 Kč	603 200,00 Kč
Dopravce	77,3	3,9	1	17 000,00 Kč	66 300,00 Kč
Pracovník kompostárny	160	8	1	16 500,00 Kč	132 000,00 Kč
Vedoucí pracovník	40	2	1	25 000,00 Kč	50 000,00 Kč
					Celkem: 851 500,00 Kč

Kompostárna se neobejde bez dobré strojové základny (kompostovací linky) a náklady na tyto stroje nám vyjadřují odpisy za určité období, které se následně promítnou do celkových nákladů.

Tabulka č. 34: Odpisové sazby za druhý rok provozu kompostárny

Stroj	Odpisová sazba	Odepisovaná částka
Traktor	17,25%	211 399 Kč
Překopávač	30%	109 650 Kč
Prosévací síto	30%	240 262 Kč
		Celkem: 561 311 Kč

Stanovení celkových nákladů je provedeno sečtením jednotlivých položek, ze kterých je následně možné stanovit cenu za 1 tunu kompostu.

Tabulka č. 35: Celkové náklady na provoz městské kompostárny

Náklady na provoz strojů	142 758,88 Kč
Svoz bioodpadu	4 430,45 Kč
Svoz posekané travní hmoty	22 062,74 Kč
překopávání kompostu	9 062,28 Kč
překopávání po sloučení hromad	1 510,40 Kč
přesévání	3 775,96 Kč
Navážka materiálu	7 551,92 Kč
Slučování	755,20 Kč
Odvoz materiálu	1 510,40 Kč
Odpisy strojů	651 311,00 Kč
Pracovníci s motorovou kosou	603 200,00 Kč
Doprava 2/3 úvazku	66 300,00 Kč
Vedoucí pracovník	50 000,00 Kč
Pracovník kompostárny	132 000,00 Kč
Celkem	1 696 229,23 Kč

Celkové náklady jsem v městské kompostárně stanovil na 1 696 229,23 Kč za rok. Z této částky vyplývá, že na jednu tunu vyrobeného kompostu jsou čisté náklady 848,11 Kč. Je třeba mít na paměti, že se jedná pouze o náklady a pro stabilitu kompostárny by bylo nutné připočítat ještě marži.

5.0. Závěr

Moje diplomová práce se podrobně zabývala problematikou kompostování v České republice. Jak z pohledu technologie kompostování, tak kvality kompostu a jeho následného využití v zemědělské praxi. Je důležité si uvědomit, že procesy probíhající v kompostu v půdě trvají mnoho let. Při kompostování by vždy mělo jít o vytvoření vysoce kvalitního výchozího substrátu. Ten by se měl vyznačovat minimálně vzniklými prekurzory humusu, labilní, semilabilní a stabilní organickou hmotou, dobrým hnojivým účinkem a pružným iontovýměnným komplexem, který nám umožní udržení základních živin v půdě s jejich postupným uvolňováním pro potřeby pěstovaných rostlin do půdního roztoku. Role organické hmoty a kvalitního humusu v půdě se vztahuje i k zadržení dostatečného množství vláhy, jejíž hodnoty v posledních letech nejsou příliš uspokojivé a projevují se v podobě dlouhotrvajících přísušků v letním období. Produkce kvalitního kompostu do jisté míry souvisí i s celosvětovými problémy s nadměrnou produkcí CO₂. Kompostování je alternativou, která pomáhá snížit výskyt tohoto skleníkového plynu pomocí jeho konzervace v organické hmotě uložené do půdy.

Jistou nutnost zabývat se právě kompostováním vidím i v nařízení Evropské unie o snížení obsahu bioodpadu v komunálních odpadech. Celá myšlenka je ve své podstatě dobrá. Musíme si položit otázku, zda je dobrý nápad podporovat za každou cenu výstavbu velkého množství městských kompostáren, které ne vždy dobře fungují, a jejichž produkty často nejsou dokonalé. Z tohoto důvodu jsem na jejich problematiku zaměřil a svoji hypotézu jsem se pokusil prokázat měřením iontovýměnné kapacity jejich produktů. Zajímavým faktem je, že kvalitní kompost se z pravidla vyrábí v komerčních kompostárnách a jeho kvalita je reprezentována nejen vypracovanou technologií kompostování, ale i iontovýměnnou kapacitou produktů. Další výhodou komerčních kompostáren je ekonomická stabilita, umožňující rozšiřování podniků a zdokonalování technologií. Zatímco městské kompostárny jsou nevýdělečné a vedené jako služba občanům s nedostatečnou motivací ke zlepšení technologie či kvality produkovaného kompostu. To mne vede k myšlence, že velké množství městských kompostáren, vzniklých na území České republiky, pouze finančně zatíží jejich provozovatele a efekt z likvidace bioodpadu nebude natolik kvalitní jako v komerčních kompostárnách, kterým konkurují a připravují je o peníze za bioodpad, který kompostárny tohoto typu dokážou mnohem lépe zhodnotit.

Kompostování je velmi složitý proces vyžadující znalost přípravy materiálu, jeho živinových hodnot, přesný monitoring základních parametrů při jeho průběhu a dobré načasování jednotlivých operací, které charakterizují proces kompostování. Mnou

navštívené kompostárny mají velmi kvalitní technické zázemí reprezentované dobře sestavenou kompostovací linkou a zvládají přísun bioodpadu, který je nutné zpracovat. Produkovaný kompost není vždy špičkové kvality, ale téměř vždy se jedná o substrát přinášející do půdy určitý potenciál a možnost zlepšení půdních vlastností. Pouze u jedné kompostárny jsem se setkal se špatně fungující technologií, která měla negativní dopad na kvalitu výsledného substrátu, ten jediný jsem musel označit jako nepoužitelný pro aplikaci na půdu.

Kompostování je podle mého názoru jistě krok správným směrem s velkým potenciálem pro zlepšení mnoha půdních vlastností, ulehčení životnímu prostředí a racionálním způsobem likvidace biologického odpadu s dobrým využitím jeho vlastností.

6.0. Přílohy:

6.1. Výsledky z měření iontovýmenné kapacity jednotlivých kompostů

Tabulka č. 36 – Průběžná měření z kompostárny Březnice

Spotřeba Ba(OH) ₂ [ml]	Vodivost [μS] Opakování č. 1	Vodivost [μS] Opakování č.2	Vodivost [μS] Opakování č.3	Vodivost [μS] Opakování č.4	Vodivost [μS] Opakování č.5	Průměr z Vodivostí [μS]
0	110	105	110	100	100	104
0,5	100	95	100	90	90	94
1	72	80	95	70	80	76
1,5	85	85	120	73	82	81
2	95	90	130	70	85	85
2,5	110	100	135	80	90	95
3	110	110	150	98	110	107
3,5	115	115	160	100	120	113
4	120	120	180	105	125	118
4,5	125	125	200	110	130	123
5	130	130	210	110	140	128
5,5	140	140	235	110	145	134
6	155	145	285	120	150	143
6,5	175	152	320	135	170	158
7	210	165	355	150	210	184
7,5	250	178	405	160	230	205
8	290	193	450	180	260	231
8,5	340	210	510	200	285	259
9	390	230	575	230	315	291
9,5	450	310	625	250	390	350
10	550	420	675	350	560	470
11	880	550	875	400	600	608
12	950	700	1100	550	850	763
13	1150	850		675	975	913
14		1050		800	1110	987
15				925		925
16				1025		1025

Tabulka č. 37 – Průběžná měření z kompostárny Želivec

Spotřeba Ba(OH) ₂ [ml]	Vodivost [μS] Opakování č. 1	Vodivost [μS] Opakování č.2	Vodivost [μS] Opakování č.3	Vodivost [μS] Opakování č.4	Vodivost [μS] Opakování č.5	Průměr z Vodivosti [μS]
0	105	150	125	130	150	133
0,5	92	122	105	120	115	109
1	82	102	99	110	104	97
1,5	80	103	92	100	100	94
2	75	101	90	91	99	91
2,5	80	101	90	90	99	93
3	84	102	90	89	100	94
3,5	90	101	92	90	101	96
4	95	110	98	90	102	101
4,5	102	115	102	91	109	107
5	109	120	105	95	110	111
5,5	115	128	114	97	115	118
6	119	130	116	100	122	122
6,5	120	135	120	105	125	125
7	122	135	122	109	129	127
7,5	123	138	125	111	130	129
8	125	139	126	112	130	130
8,5	128	140	128	115	131	132
9	128	140	129	115	132	132
9,5	129	145	130	115	134	135
10	130	149	130	117	135	136
11	150	173	150	120	151	156
12	175	200	170	127	170	179
13	200	230	200	135	193	206
14	230	270	225	155	220	236
15	275	310	265	175	255	276
16	310	360	310	200	290	318
17	355	420	350	235	340	366
18	415	740	400	275	390	486
19	475	550	475	320	450	488
20	550	620	570	375	540	570
21	610	700	650	430	620	645
22	700	800	730	530	690	730
23	790	860	810	610	790	813
24	870	980	900	700	890	910
25	960	1070	1000	790	990	1005
26	1050			900	1100	1075
27				1020	1020	1020

Tabulka č. 38 – Průběžná měření z kompostárny Písek

Spotřeba Ba(OH) ₂ [ml]	Vodivost [μS] Opakování č. 1	Vodivost [μS] Opakování č.2	Vodivost [μS] Opakování č.3	Vodivost [μS] Opakování č.4	Vodivost [μS] Opakování č.5	Průměr z Vodivostí [μS]
0	75	80	75	65	75	76
0,5	60	75	70	60	70	69
1	58	60	50	52	60	57
1,5	50	75	64	55	74	66
2	65	90	70	62	85	78
2,5	70	115	75	68	90	88
3	72	135	80	70	100	97
3,5	75	160	92	75	120	112
4	90	190	100	75	130	128
4,5	105	220	110	80	140	144
5	123	285	130	90	150	172
5,5	155	330	155	100	180	205
6	185	380	195	105	200	240
6,5	225	450	225	130	220	280
7	270	525	275	145	270	335
7,5	345	575	295	155	305	380
8	425	660	345	170	375	451
8,5	455	740	400	210	390	496
9	560	810	460	280	490	580
9,5	620	950	560	340	600	683
10	740	1000	650	400	725	779
11	925		825	550	925	892
12	1150		1050	725	1050	1083
13				950		
14				1150		

Tabulka č. 39 – Průběžná měření z kompostárny Milevsko

Spotřeba Ba(OH) ₂ [ml]	Vodivost [μS] Opakování č. 1	Vodivost [μS] Opakování č.2	Vodivost [μS] Opakování č.3	Vodivost [μS] Opakování č.4	Vodivost [μS] Opakování č.5	Průměr z Vodivosti [μS]
0,5	75	68	100	60	95	76
1	65	65	79	55	85	66
1,5	75	55	62	55	80	62
2	83	50	68	53	82	64
2,5	83	50	68	70	79	68
3	78	53	70	73	80	69
3,5	82	55	80	80	82	74
4	85	58	80	80	85	76
4,5	100	62	78	82	90	81
5	105	63	78	85	92	83
5,5	113	68	81	89	93	88
6	120	72	81	94	97	92
6,5	113	78	88	96	99	94
7	110	80	90	99	105	95
7,5	120	82	92	95	112	97
8	110	85	98	95	115	97
8,5	110	88	100	102	113	100
9	115	88	102	105	115	103
9,5	120	88	102	110	120	105
10	115	90	110	112	125	107
11	120	110	111	115	130	114
12	129	130	115	125	135	125
13	125	150	120	130	140	131
14	130	175	131	147	144	146
15	140	190	145	155	148	158
16	155	250	160	172	159	184
17	175	290	180	190	166	209
18	210	340	205	210	192	241
19	250	380	235	240	203	276
20	300	440	270	280	225	323
21	340	550	315	295	248	375
22	360	750	350	340	278	450
23	430	850	420	430	295	533
24	530	980	560	495	350	641
25	600	1150	680	576	458	752
26	700		770	690	492	720
27	820		870	750	560	813
28	950		1030	858	780	946
29	1050			960	940	1005
30				1100	1050	1100

Analyza č. 1: Chemický rozbor kompostu z kompostárny Písek

Ing. Josef Němec
Chemická a mikrobiologická laboratoř
U Ovčína 53, Nový Dvůr, 397 01 Písek
Telefon: 608 029 776, e-mail: posta@laborator-pisek.cz



L 1142

Zákazník: Městské služby Písek s.r.o.
Pražská 372
397 01 Písek

Zkušební laboratoř č.1142, akreditovaná ČIA dle ČSN EN ISO/IEC 17025:2005

Protokol o zkoušce č. 12551/2016

Číslo vzorku: 15560
Místo odběru: Písek
Upřesnění místa odběru:
Odběr provedl: zákazník, 19.12.2016,
Způsob odběru:
Doprava vzorku: Zákazník
Datum příjmu: 19.12.2016
Datum zahájení analýz: 19.12.2016
Datum dokončení: 23.1.2017
Klasifikace vzorku: kompost, kompost

Název zkoušky	Jednotky	Výsledek	Limity	Nejistota měření	Metoda
Sušina	% ve vzorku	54,80		±0,6 %	SOP 24 (ČSN EN 14346 , ČSN EN ISO 18134-2.3 (z))
pH		7,22			(ČSN 467012) *
Draslík (K)	% ve vzorku	0,842			IM 30 AAS *
Fosfor (P)	% ve vzorku	0,166		±19%	SOP 11 (Javorský,Krečmar: Chem. rozb. v zem.lab., 1987)
spalitelné látky	% ve vzorku	11,43			SOP24 (ČSN EN 14774-2.3) *
Arsen (As)	mg/kg suš.	19,70		±20%	SOP OV 200.16 (TNV 757408, ČSN EN ISO 15586)
Chrom (Cr)	mg/kg suš.	49,4		±11 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Kadmium (Cd)	mg/kg suš.	0,34		±11 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Měď (Cu)	mg/kg suš.	31,7		±7 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Nikl (Ni)	mg/kg suš.	17,8		±17 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Olovo (Pb)	mg/kg suš.	25,3		±6 %	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
Rtuť (Hg)	mg/kg suš.	0,101		±20%	SOP OV 200.03 (ČSN 757440) +
Suma PAU	mg/kg suš.	4,54		±30%	SOP D06-03-161 (GC-MS) +
Dusík celkový	% ve vzorku	0,57		±1,1%	SOP 6 (P.Javorský, F. Krečmar: Chemické rozborů v zemědělských laboratořích, Praha 1987) *
Molybden (Mo)	mg/kg suš.	1,32		±20%	SOP OV 200.16 (TNV 757408, ČSN EN ISO 15586)
Zinek (Zn)	mg/kg suš.	151,8		±22%	SOP 43 (ČSN EN 16179, ČSN ISO 8288, JPP UKZUZ)
suma PCB	mg/kg suš.	<0,120			SOPD0603161 (EPA 8270, EPA 8131, EPA 8091, ČSN EN ISO 6468)) +
poměr C:N		10,1 : 1			výpočtem *
nerozložitelné příměsi	%	17,8			(ČSN 46 5735)

Protokol o zkoušce č. 12551/2016

Strana 1 / 2

6.2. Obrázková dokumentace kompostárna Želivec

Obrázek č. 4: *Skladování bioodpadu*



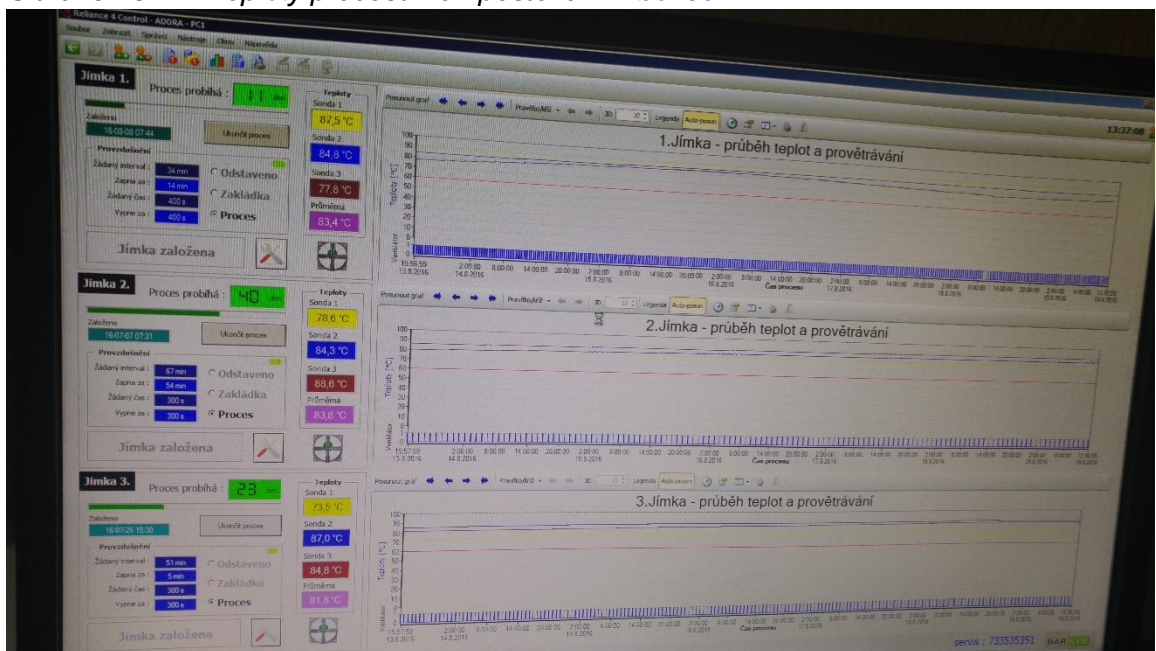
Obrázek č. 5: *Drcení a třídění bioodpadu*



Obrázek č. 6: Kompostování bioodpadu v boxech



Obrázek č. 7: Teploty procesu kompostování v boxech



Obrázek č. 8: Čištění odpadního vzduchu z boxové kompostárny



Obrázek č. 9: Výsledný kompost



Obrázek č. 10 Dokompostování v pásových hromadách na volné ploše



Obrázek č. 11: Zalévání kompostu při kompostování v pásových hromadách na volné ploše



6.3. Obrázková dokumentace kompostárna Písek

Obrázek č. 12: *Kompostovací hromady - kompostování v pásových hromadách*



Obrázek č. 13: *Drcení materiálu kompostovací zakládky*



Obrázek č. 14: *Manipulátor pro přepravu kompostu*



Obrázek č. 15: *Výsledný produkt z kompostárny*



6.4. Obrázková dokumentace kompostárna Milevsko

Obrázek č. 16: *Skládkovaný kompost z technologie kompostování ve vacích*



Obrázek č. 17: *Skládkovaný kompost z technologie kompostování ve vacích*



Obrázek č. 18: *Výsledný produkt z kompostárny*



6.5. Obrázková dokumentace kompostárna Březnice

Obrázek č. 19: *Celkový pohled na kompostárnu*



Obrázek č. 20: *Uspořádání pásových hromad*



Obrázek č. 21: *Pásové hromady v kompostárně*



6.6. Obrázková dokumentace Stanovování iontovýměnné kapacity

Obrázek č. 22: Titrace roztokem $\text{Ba}(\text{OH})_2$



Obrázek č. 23: Vymývání zbytkového Cl^- z jednotlivých vzorků kompostu



7.0. Seznam citované literatury

- ADAMS, R. C., F. M. BENNETT, J. K. DIXON, R. C. LOUGH, F.S. MACLEAN and G. I. MARTIN. The utilization of organic wastes in N. Z. New Zealand Engineering. 1951, vol. 6, no. 11. ISSN: 0028-808X.
- ALVARENGA, P., C. MOURINHA, M. FARTO, P. PALMA, J. SENGO, M-Ch MORAIS and C. CUNHA-QUEDA. Quality Assessment of a Battery of Organic Wastes and Composts Using Maturity, Stability and Enzymatic Parameters. *Waste and Biomass Valorization*. 2016, **7**(3), 455-465. DOI: 10.1007/s12649-015-9468-y. ISSN 1877-2641.
- ANASTOPOULOS, I, G. Z. KYZAS, T. TÄHTJÄRV a I. H. WILLIAMS. Composts as Biosorbents for Decontamination of Various Pollutants: a Review. *Water, Air,.* 2015, **226**(3), -. DOI: 10.1007/s11270-015-2345-2. ISSN 0049-6979.
- AVERY, L. M., P. BOOTH, C. CAMPBELL, D. TOMPKINS and R.L. HOUGH. Prevalence and survival of potential pathogens in source-segregated green waste compost. *Science of The Total Environment*. 2012, **431**, 128-138. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.05.020. ISSN 00489697.
- BAR-TAL, A., U. YERMIYAHU, J. BERAUD, M. KEINAN, R. ROSENBERG, D. ZOHAR, V. ROSEN and P. FINE. Nitrogen, Phosphorus, and Potassium Uptake by Wheat and Their Distribution in Soil following Successive, Annual Compost Applications. *Journal of Environment Quality*. 2004, **33**(5), 1855-. DOI: 10.2134/jeq2004.1855. ISSN 1537-2537.
- BEFFA, T., M. BLANC and P. F LYON. *Isolation of Thermus Strains from Hot Composts (60 to 80°C)*. Switzerland: Universite de Neuchatel, 1996. ISSN 0099-2240.
- BHATTACHARYA, S. S., K. H. KIM, S. DAS, M. UCHIMIYA, B. H. JEON, E. KWON and J. E. SZULEJKO. A review on the role of organic inputs in maintaining the soil carbon pool of the terrestrial ecosystem: Survival of Bacterial Pathogens in Manure and Compost Used as Organic Fertilizers. *Journal of Environmental Management*. 2016, **167**(4), 214-227. DOI: 10.1016/j.jenvman.2015.09.042. ISSN 03014797
- BIO CYCLE: MEASURING OXYGEN IN COMPOST*. 2013. ISSN 0276-5055.
- BORDER, D. *Process and plant for waste composting and other aerobic treatment*. Environment Agency, 2002. ISBN 184432124X.
- BURNETT, S., N. MATTSON and K. WILLIAMS. Substrates and fertilizers for organic container production of herbs, vegetables, and herbaceous ornamental plants grown in greenhouses in the United States. *Scientia Horticulturae*. 2016, **208**, 111-119. DOI: 10.1016/j.scienta.2016.01.001. ISSN 03044238.
- CESARO, A., V. BELGIORNO and M. GUIDA. Compost from organic solid waste: Quality assessment and European regulations for its sustainable use. *Resources, Conservation and Recycling*. 2015, **94**, 72-79. DOI: 10.1016/j.resconrec.2014.11.003. ISSN 09213449.

- CROVETTO C.: No till, the stubble and the soil nutrition. In: GARCIA-TORRES L., BENITES J., MARTINEZ-VILELA A. (eds.): Conservation agriculture, a worldwide challenge: Keynote contributions. Madrid, Spain, XUL, 2001, pp. 15-24.
- DEEPESH, V., V. K. VERMA, K. SUMA, S. AJAY, A. GNANAVELU and M. MADHUSUDANAN. Evaluation of an organic soil amendment generated from municipal solid waste seeded with activated sewage sludge. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2016, **18**(2), 273-286. DOI: 10.1007/s10163-014-0329-8. ISSN 1438-4957.
- DVOŘÁK, M. *Proč ztotožňování pojmu „humus“ a „půdní organická hmota“ v pedologii je zdrojem chybných závěrů?*. České Budějovice, 2013. Diplomová Práce. Jihočeská Univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.
- EDWARDS, C. A., N. Q. ARANCON and R. L. SHERMAN. *Vermiculture technology: earthworms, organic wastes, and environmental management*. BocaRaton: CRC Press, 2011. ISBN 978-143-9809-877.
- EDWARDS, S. and H. ARAYA. *How to make and use compost*. Etiopie, 2011.
- EMADIAN, S. M., T.T. ONAY and B. DEMIREL. Biodegradation of bioplastics in natural environments. *Waste Management*. 2017, **59**, 526-536. DOI: 10.1016/j.wasman.2016.10.006. ISSN 0956053x.
- FARRELL, M. and D. L. JONES. Critical evaluation of municipal solid waste composting and potential compost markets. *Bioresource Technology*. 2009, **100**(19), 4301-4310. DOI: 10.1016/j.biortech.2009.04.029. ISSN 09608524.
- GEA, T., R. BARRENA, A. ARTOLA and A. SÁNCHEZ. Monitoring the biological activity of the composting process: Oxygen uptake rate (OUR), respirometric index (RI), and respiratory quotient (RQ). *Biotechnology and Bioengineering*. 2004, **88**(4), 520-527. DOI: 10.1002/bit.20281. ISSN 00063592
- GHOSH, M., G. N. CHATTOPADHYAY a K. BARAL. Transformation of phosphorus during vermicomposting. *Bioresource Technology*. 1999, **69**(2), 149-154. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)80001-7. ISSN 09608524.
- GHOSH, M., G. N. CHATTOPADHYAY and K. BARAL. Transformation of Phosphorus during vermicomposting. *Bioresource Technology*. 1999, **69**(2), 149-154. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)80001-7. ISSN 09608524.
- GOLOMBOVÁ, P. *Kompostárny v České republice*. Brno, 2013. Bakalářská práce. Vysoké Učení Technické v Brně. Vedoucí práce Ing. PETR HLUŠTÍK, Ph.D.
- GUTIÉRREZ-MICELI, F. A., J. SANTIAGO-BORRAZ, J. A. MONTES MOLINA, C.C. NAFATE, M. ABUD-ARCHILA, M.A. OLIVA LLAVEN, R. RINCÓN-ROSALES and L. DENDOOVEN. Vermicompost as a soil supplement to improve growth, yield and fruit quality of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Bioresource Technology*. 2007, p. 2781-2786. DOI: 10.1016/j.biortech.2006.02.032. ISSN 09608524
- HABART, J., M. HRČKA, M. HUMPLÍK a K. MAREŠOVÁ. Státní Fond Životního Prostředí ČR. *Příprava a výstavba kompostáren*. Praha. 2009.

- HABART, J. *Příprava a výstavba kompostáren využívajících biologicky rozložitelné odpady z domácností a údržby městské zeleně*. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2009.
- HÁLOVÁ, B., J. DOLANSKÁ. *Vyhodnocení plánu odpadového hospodářství statutárního města Plzně*. Magistrát města Plzně Odbor řízení technických úřadů. Plzeň, 2007.
- HANČ A., T. ČÁSTKOVÁ, S. KUŽEL, M. DRESLOVÁ a T. CAJTHAML. Dynamika agrochemických a biologických vlastností při vertikálním vermikompostování ve velkém měřítku v dlouhých hromadách. *Waste Management & Research*. V tisku. 2017
- HANČ, A. a P. PLÍVA, *Vermikompostování bioodpadů*. 1. vyd. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2013. 38 s. ISBN 978-80-213-2422-0.
- HAUG, R. T. *Compost engineering: principles and practice*. Ann Arbor, Mich.: Ann Arbor Science Publishers, 1980. ISBN 02-504-0347-1
- HAYES, M.H.B. and C. E. CLAPP. Humic Substances: Considerations of compositions, aspects of structure, and environmental Influences. *Soil Science*. 2001, **166**(11), 723-737. DOI: 10.1097/00010694-200111000-00002. ISSN 0038-075x.
- HEJÁTKOVÁ, K. *Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka*. Vyd. 1. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007. ISBN 978-80-903548-6-9.
- HOLIŠOVÁ, D. *Studium termofilních mikroorganismů schopných rozkladu xanthanu a gellanu*. Zlín, 2008. Diplomová práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Vedoucí práce Doc. RNDr. Jan Růžička, Ph.D.
- HOORNWEG, D., L. THOMAS and L. OTTEN. *Urban waste management: Composting and Its Applicability in Developing Countries*. Washington DC: The World Bank, 1999.
- HORÁČEK, J., R. LEDVINA a J. KOUBALÍKOVÁ. *Geologie a půdoznalství: Cvičení pro 1. ročník studia*. České Budějovice: Jihočeská univerzita, 1994. ISBN 80-704-0106-0.
- HUANG, M., Y. ZHU, Z. LI, B. HUANG, N. LUO, C. LIU and G. ZENG. Compost as a Soil Amendment to Remediate Heavy Metal-Contaminated Agricultural Soil: Mechanisms, Efficiency, Problems, and Strategies. *Water, Air, .* 2016, **227**(10), -. DOI: 10.1007/s11270-016-3068-8. ISSN 0049-6979.
- HULEŠ, L.: Kompostování v ohradách. *Biom.cz* [online]. 2007-05-14 [cit. 2017-02-07]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-v-ohradach>>. ISSN: 1801-2655.
- CHRISTENSEN, B., T. *Advances in Soil Science*. New York, NY: Springer New York, 1992. ISBN 978-146-1229-308.
- INSAM, H., I. FRANKE-WHITTLE and M. GOBERNA. *Microbes at work: from wastes to resources*. London: Springer, 2010. ISBN 978-364-2040-436
- ISKANDIROVÁ, M., Řízení kvality procesů zpracování biologicky rozložitelných odpadů. Brno, 2012. 78 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky.

- JAKOBSEN, S. T. *Aerobic decomposition of organic wastes 2. Value of compost as a fertilizer*. 1994. ISBN 10.1016/0921-3449(94)00015-W.
- JELÍNEK, A. a kolektiv autorů, *Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním procesem*. Realizační pomůcka pro zpracování podnikové normy, Praha, 2002. ISBN: 80-238-8539-1
- JERIS, J. S. and REGAN, R. W., Controlling Environmental parameters for optimum composting I: Experimental procedures and temperature. *Compost Science* 14, 1973, p. 10-15.
- KANG, S. and B. XING. Phenanthrene Sorption to Sequentially Extracted Soil Humic Acids and Humins. *Environmental Science*. 2005, **39**(1), 134-140. DOI: 10.1021/es0490828. ISSN 0013-936x.
- KÁRA, J., PASTOREK, Z., JELÍNEK, A.: Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002, [cit. 2016-10-18]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- KAYHANIAN, M. and G. TCHOBANOGLOUS. Computation of C/N ratios for various organic fractions. *BioCycle*. 1992, p. 58-60. ISSN 0276-5055.
- KOLÁŘ, L., J. HORÁČEK a J. VÁCHAL. *Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty*. CZ. 304 265. Uděleno 27. 12. 2013.
- KOLÁŘ, L., R. VÁCHALOVÁ, J. VÁCHAL *Způsob měření množství a kvality půdní organické hmoty*. CZ. 304 125. Uděleno 25. 09. 2013.
- KOLÁŘ, Ladislav. *Humus a primární organická půdní hmota*. 2014, 19.
- KOLÁŘOVÁ, L. O zakázku na rozšíření kompostárny se ucházeli čtyři firmy. *Milevské noviny*. 2017.
- KUNZOVÁ, E. *Výživa rostlin a hnojení fosforem*. Praha: Výzkumný ústav rostlinné výroby, 2009. ISBN 978-80-7427-015-4.
- KUŽEL, S., Ledvina, R., Kolář, L. Rychlá metoda k stanovení kvality kompostu určením iontovýmenné kapacity kompostové hmoty konduktometrickou titrací. Sborník z vědeckého symposia „EUPRI“. Gmünd, 19. - 20. 4. 1996, 101-102.
- LARNEY, F., J. YANKE, J. MILLER and T. MCALLISTER. *Fate of Coliform Bacteria in Composted Beef Cattle Feedlot Manure*. 2003. DOI: doi:10.2134/jeq2003.1508.
- LORES, M., M. GOMEZBRANDON, D. PEREZDIAZ and J. DOMINGUEZ. Using fame profiles for the characterisation of animal wastes and vermicomposts: z. *Soil Biology and Biochemistry*. 2006, **38**(9), 2993-2996. DOI: 10.1016/j.soilbio.2006.05.001. ISBN 80-860-1357-X. ISSN 00380717.
- MAKHIJANI, K., R. KUMAR, S.K. SHARMA, M. UCHIMIYA, B.H. JEON, E. KWON a J.E. SZULEJKO. Biodegradability of Blended Polymers: A Comparison of Various Properties. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*. 2014, **45**(16), 1801-1825. DOI: 10.1080/10643389.2014.970682. ISSN 1064-3389.
- MANYI-LOH, Ch., S. MAMPHWELI, E. MEYER, G. MAKAKA, M. SIMON and Anthony OKOH. An Overview of the Control of Bacterial Pathogens in Cattle

- Manure. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2016, **13**(9), 843-. DOI: 10.3390/ijerph13090843. ISSN 1660-4601.
- MEJZLÍK, P. *Technologie kompostování ve vacích a vermikompostování*. České Budějovice, 2013. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Ing. Marie Šístková, CSc.
- MONDINI, C., R. CHIUMENTI, F. DA BORSO, L. LEITA a M. DE NOBILI. Changes during processing in the organic matter of composted and air-dried poultry manure. *Bioresource Technology*. 1996, **55**(3), 243-249. DOI: 10.1016/0960-8524(96)00007-7. ISSN 09608524.
- MONDINI, C., T. SINICCO, B. VANDECASTEELE a T. D'HOSE. Potential of biochar in composting: effect on process performance and greenhouse gas emissions. *Acta Horticulturae*. 2016, (1146), 251-256. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1146.33. ISSN 0567-7572.
- MUDRUŇKA, J., B. LYČKOVÁ, A. KIRÁLY: Biologicky rozložitelný komunální odpad a související legislativa. 2015. ISSN: 1801-2655.
- NAKASAKI, K. and H. SHODA, *Applied and Environmental Microbiology: Effect of temperature on composting of sewage sludge*. 1985, **6**(50). ISSN 0099-2240.
- NAKASAKI, K., N. AOKI and H. KUBOTA. Accelerated composting of grass clippings by controlling moisture level. *Waste Management*. 1994, **12**(1), 13-20. DOI: 10.1016/S0734-242X(94)90017-5. ISSN 0734242x.
- OBRIOT, F., M. STAUFFER, Y. GOUBARD, A. REVALIER, L. VIEUBLÉ-GONOD a S. HOUOT. Effects of repeated organic amendment applications on soil and crop qualities. *Acta Horticulturae*. 2016, (1146), 87-96. DOI: 10.17660/ActaHortic.2016.1146.11. ISSN 0567-7572.
- OLLE, M., A. TSAHKNA, T. TÄHTJÄRV and I. H. WILLIAMS. Plant protection for organically grown potatoes – a review. *Biological Agriculture*. 2015, **31**(3), 147-157. DOI: 10.1080/01448765.2014.983546. ISSN 0144-8765.
- PAZ-FERREIRO, J., H. LU, S. FU, A. MÉNDEZ and G. GASCÓ. Use of phytoremediation and biochar to remediate heavy metal polluted soils: a review. *Solid Earth*. 2014, **5**(1), 65-75. DOI: 10.5194/se-5-65-2014. ISSN 1869-9529.
- PICCOLO, A. Humus and Soil Conservation. *Humic Substances in Terrestrial Ecosystems*. Elsevier, 1996, 225. ISBN 9780444815163.
- PLEISSNER, D., Q. QI, C. GAO, C. P. RIVERO, C. WEBB, C.S.K. LIN and J. VENUS. Valorization of organic residues for the production of added value chemicals: A contribution to the bio-based economy. *Biochemical Engineering Journal*. 2016, **116**, 3-16. DOI: 10.1016/j.bej. 2015.12.016. ISSN 1369703x.
- PLÍVA P.: *Zemědělec*. ProfiPress s. r. o, 2010. ISSN 1211-3816.
- PLÍVA, P., *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše: v Náměšti nad Oslavou*, 1. vyd. Praha: ProfiPress, 2005. 136 s. ISBN 978-80-86726-32-8

- PLÍVA, P., J. HABART a K. MAREŠOVÁ. *Sborník přednášek k seminářům "Dejte šanci bioodpadu - získejte finanční prostředky z OPŽP"*. Praha: Ekodomov, 2009. ISBN 978-80-903559-6-5.
- PLÍVA, P., V. ALTMANN, A. HANČ, K. HEJÁTKOVÁ, A. ROY a L. VALENTOVÁ. *Kompostování a kompostárny*. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 978-80-86726-74-8.
- PLÍVA, P., *Strojní vybavení kompostovací linky*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. 16 s. ISBN 978-80-86884-33-2
- POLPRASERT, C. *Organic waste recycling: technology and management*. 3rd ed. London: IWA Pub, 2007. ISBN 18-433-9121-X.
- POLPRASERT, C., S. WANGSUPHACHART, and MUTTAMARA, S. (1980) "Composting night soil and water hyacinth in the tropics", *Compost Science/Land Utilization*, 21, 25-27.
- PRASAD, M. *A Literature Review on the Availability of Phosphorus from Compost in Relation to the Nitrate Regulations SI 378 of 2006*. 2009, 38.
- RASAPOOR, M., M. ADL and B. POURAZIZI. Comparative evaluation of aeration methods for municipal solid waste composting from the perspective of resource management: A practical case study in Tehran, Iran. *Journal of Environmental Management*. 2016, **184**, 528-534. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.10.029. ISSN 03014797.
- RAVINDRAN, B. and P. N. S. MNKENI. Bio-optimization of the carbon-to-nitrogen ratio for efficient vermicomposting of chicken manure and waste paper using *Eisenia fetida*. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016, **23**(17), 16965-16976. DOI: 10.1007/s11356-016-6873-0. ISSN 0944-1344.
- RAVIV, M. *Can the Use of Composts and Other Organic Amendments in Horticulture Help to Mitigate Climate Change?*. Santiago, 2015, (1076), 19-28. DOI: 10.17660/ActaHortic.2015.1076.1. ISSN 0567-7572.
- REICOSKY D. C.: Conservation agriculture: Global environmental benefits of soil carbon management. In: GARCIA-TORRES L., BENITES J., MARTINEZVILELA A. (eds.): *Conservation agriculture, a worldwide challenge: Keynote contributions*. Madrid, Spain, XUL, 2001, pp. 3-12.
- ROY, A.: Měření teploty kompostu – primárního indikátoru průběhu kompostovacího procesu. *Biom.cz*. 2013. ISSN: 1801-2655.
- SANDHOFF, H. 1954: Conductometric determination of T value of soil and soil components [Konduktometrische Bestimmung des T-Wertes von Boden und Bodenbestandteilen]. *Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde* 67: 24-38
- SARTAJ M., L. FERNANDES and N. K. PATNI. Performance of forced, pasive, and natural aeration methods for composting manure slurries. *Transactions of the ASAE*. 1997, **40**(2), 457-463. DOI: 10.13031/2013.21273. ISSN 2151-0059.
- SESAY, A. A., K. E. LASARIDI a E. I. STENTIFORD. Aerated static pile composting of municipal solid waste (MSW): a comparison of positive pressure aeration with hybrid

- positive and negative aeration. *Waste Management*. 1998, **16**(3), 264-272. DOI: 10.1177/0734242X9801600308. ISSN 0734-242x.
- SHAILAJA, K. *Effect of Different Sources on quality of vermicompost and their influence on performance of maize (Zea mays L.)*. Hyderabad, 2005. Diplomová práce. Acharya N. G, Ranga Agricultural University Hyderabad. Vedoucí práce CHANDRASEKHAR RAO.
- SHARIFI, Z., S. M. T. HOSSAINI and G. RENELLA. Risk assessment for sediment and stream water polluted by heavy metals released by a municipal solid waste composting plant. *Journal of Geochemical Exploration*. 2016, **169**, 202-210. DOI: 10.1016/j.gexplo.2016.08.001. ISSN 03756742.
- SHARMA, M. and R. REYNNELLS. Importance of Soil Amendments: Survival of Bacterial Pathogens in Manure and Compost Used as Organic Fertilizers. *Microbiology Spectrum*. 2016, **4**(4), -. DOI: 10.1128/microbiolspec.PFS-0010-2015. ISSN 2165-0497.
- SHERMAN, R. *Large – scale Organic Materials Composting*. 1999. New York: NORTH CAROLINA COOPERATIVE EXTENSION SERVICE. ISBN AG-593\E99-39107.
- SCHINDLER, U., L. MÜLLER and F. EULENSTEIN. Measurement and evaluation of the hydraulic properties of horticultural substrates. *Archives of Agronomy and Soil Science*. 2015, **62**(6), 806-818. DOI: 10.1080/03650340.2015.1083982. ISSN 0365-0340.
- SINGER, V., *Moderní metody ekologického kompostování*. Brno, 2008. Diplomová. Mendelova zemědělská a lesnická v Brně. Vedoucí práce prof. Ing. Bořivoj Groda, Dr.Sc.
- SPACCINI, R. and PICCOLO, A. (2008), Spectroscopic Characterization of Compost at Different Maturity Stages. *Clean Soil Air Water*, 36: 152–157. doi:10.1002/clean.200720012
- STOFFELLA, P. J., Z. L. HE, S. B. WILSON, M. OZORES-HAMPTON a N. E. ROE. COMPOST UTILIZATION IN SUBTROPICAL HORTICULTURAL CROPPING SYSTEMS. *Acta Horticulturae*. 2014, (1018), 95-108. DOI: 10.17660/ActaHortic.2014.1018.7. ISSN 0567-7572.
- SULZBERGER, R. Kompost, půda, hnojení: kompostování v klášterních zahradách. 1. vyd. Překlad Karel Stejskal. Ilustrace Johannes-Christian Rost. Bratislava: Příroda, 1996. 99 s. Praktický rádce (Příroda). ISBN 80-070-0837-3.
- SUNDBERG, C., D. YU, I. FRANKE-WHITTLE, S. KAUPPI, S. SMÅRS, H. INSAM, M. ROMANTSCHUK and H. JÖNSSON. Effects of pH and microbial composition on odour in food waste composting. *Waste Management*. 2013, **33**(1), 204-211. DOI: 10.1016/j.wasman.2012.09.017. ISSN 0956053x.
- SUNDBERG, C., *Improving compost process efficiency by controlling aeration, temperature and pH*. Uppsala: Swedish University of Agricultura Sciences, 2005. ISBN 91-576-6902-3.
- SUTHAR, S. and S. SINGH. Vermicomposting of domestic waste by using two epigeic earthworms (*Perionyx excavatus* and *Perionyx sansibaricus*). *International Journal of*

- Environmental Science*. 2008, **5**(1), 99-106. DOI: 10.1007/BF03326002. ISSN 1735-1472.
- SVOBODOVÁ, O. *Posouzení obsahu a kvality humusu u rozdílných technologií zpracování půdy*. České Budějovice, 2011. Disertační práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Vedoucí práce Doc. Ing. Jan Horáček, CSc.
- ŠREFL, F., *Analýza moderních technologií kompostování*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Prof. Ing. Bořivoj Groda, DrSc.
- ŠREFL, J. *Kompost je energie vrácená do půdy*. 2012. ISSN 1801-2655.
- TESAŘOVÁ, M. *Biologické zpracování odpadů*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2010. ISBN 978-80-7375-420-4.
- TISDALL, J.M. and J.M. OADES. Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science*. 1982, **33**(2), 141-163. DOI: 10.1111/j.1365-2389.1982.tb01755.x. ISSN 00224588.
- TOGNETTI, C., F. LAOS, M.J. MAZZARINO a M.T. HERNÁNDEZ. Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. *Compost Science*. 2005, p 6-13. DOI: 10.1080/1065657X.2005.10702212. ISSN 1065-657x.
- TŮMA, I., *Mikrobiologie (pro zahradnické obory)*. Vydání první. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-228-1.
- TUOMELA, M. Biodegradation of lignin in a compost environment: a review. *Bioresource Technology*. 2000, **72**(2), 169-183. DOI: 10.1016/S0960-8524(99)00104-2. ISSN 09608524
- VÁCHALOVÁ, R., J. BOROVIČKA, L. KOLÁŘ a J. VÁCHAL. *Selectivity of Ion Exchange as a Sign of Soil Quality*. 2014. DOI: 10.1080/00103624.2014.941856. ISBN 10.1080/00103624.2014.941856.
- VÁCHALOVÁ, R., L. KOLÁŘ a Z. MUCHOVÁ. *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty*. 1. Nitra, 2016. ISBN 978-80-552-1467-2.
- VAN FAN, Y., Ch.T. LEE, J.J. KLEMEŠ, C. P. C. BONG a W. S. HO. Economic assessment system towards sustainable composting quality in the developing countries. *Clean Technologies and Environmental Policy*. 2016, **18**(8), 2479-2491. DOI: 10.1007/s10098-016-1209-9. ISSN 1618-954x.
- VÁŇA, J., *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. 1. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1994. Rostlinná výroba. ISBN 80-710-5075-X.
- VÁŇA, J., *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. Vyd. 2. V Praze: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997. 38 s. Rostlinná výroba. ISBN 80-710-5144-6.
- VÁŇA, J.: Kompostování bioodpadu. *Biom*. 2001. ISSN: 1801-2655.
- VÁŇA, J.: Možnosti intenzifikace zrání kompostu. 2002. ISSN: 1801-2655.
- VÁŇA, J.: *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. 2. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání MZe ČR 1997. 40s. ISBN 80-7105-144-6

- VEČEŘOVÁ, V.: Zásady a pravidla registrace hnojiv podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů – zaměřeno na digestát. 2008 ISSN: 1801-2655.
- VERDONCK, O. Composts from organic waste materials as substitutes for the usual horticultural substrates. *Biological Wastes*. 1988, **26**(4), 325-330. DOI: 10.1016/0269-7483(88)90138-3. ISSN 02697483.
- VESELÁ, L., M. KUBAL, J. KOZLER a P. INNEMANOVÁ. Struktura a vlastnosti přírodních huminových látek typu oxihumolitu. *Chemické listy*. 2005.
- VESELSKÝ, J., Analýza moderních technologií ekologického kompostování. Brno, 2010. Bakalářská práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Bořivoj Groda.
- VINNERÅS, B., F. AGOSTINI a H. JÖNSSON. Sanitation by Composting. *Microbes at Work*. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, 171. DOI: 10.1007/978-3-642-04043-6_9. ISBN 978-3-642-04042-9.
- VITHANAGE, M., I. HERATH, S. JOSEPH, J. BUNDSCHUH, N. BOLAN, Y. S. OK, M. B. KIRKHAM and J. RINKLEBE. Interaction of arsenic with biochar in soil and water: A critical review. *Carbon*. 2017, **113**, 219-230. DOI: 10.1016/j.carbon.2016.11.032. ISSN 00086223.
- VOKURKA, M. a J. HUGO. *Velký lékařský slovník*. 9., aktualiz. vyd. Praha: Maxdorf, 2009. Jessenius. ISBN 978-80-7345-202-5
- VRBA, V. a HULEŠ, L.: Humus-půda-rostlina Humus a rostlina: Rozpuštěné humusové látky v ekosystému. 2006. ISSN: 1801-2655.
- WANG, F., H. Y. LI and X. LI. Research and Application of Greening Waste Composting. *Advanced Materials Research*. 2013, **864-867**, 1882-1885. ISSN 1662-8985.
- ZEMÁNEK, P., *Speciální mechanizace: mechanizační prostředky pro kompostování*. Vyd. 1. V Brně: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita, 2001. 113 s. ISBN 80-715-7561-5.
- ZEMÁNEK, P., *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. 1. vyd. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. ISBN 978-80-86884-52-3.

Přednášky

- ANGIMA, S., *Master Composting Program* [online]. Oregon: Oregon state university [cit. 2017-02-16]. Dostupné z: <http://extension.oregonstate.edu/lincoln/sites/def>.
- HOUČEK, J., *Registrace a ohlašování kompostu a digestátu využitelných na zemědělské půdě*. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský, 2012.
- MACH, P., *Kompostování: Proces kompostování, Materiály vhodné pro kompostování, Mikroorganismy v procesu kompostování*. 2008.
- WEBER, J., Formulation of humic substances. Přednáška

Rozhovory - Informace poskytli:

BARTUNĚK, P. Vedoucí oddělení Technických služeb města Březnice 07. 09. 2016

FALADA, F. Vedoucí technického úseku Služeb Města Milevska 17. 2. 2017

GAREIS, T. Vedoucí veřejné zeleně a kompostárny Písek 25. 11. 2016

ŽILÍK, O. Vedoucí kompostárny AGORA, s.r.o. 19. 08. 2016

Internetové zdroje:

ANONYM, *Premiéra kolového nakladače Cat 930K na předváděcí akci Phoenix-Zeppelin* [online]. 2013 [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/premiera-koloveho-nakladace-cat-930k-na-predvadeci-akci-phoenix-zeppelin/>

Biom: DATABÁZE STROJŮ, ZAŘÍZENÍ, NÁSTROJŮ A POMŮCEK PRO FYTOENERGETIKU A KOMPOSTÁRENSTVÍ [online]. Praha: Státní fond životního prostředí ČR, 2006 [cit. 2016-11-15]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/stroje-a-zarizeni/rotacni-tridice-doppstadt-sm>

Cernin [online]. 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://www.cernin.cz/mobilni-kompostarny>

JELÍNEK, A. a M. KOLLÁROVÁ. *Monitorování průběhu kompostovacího procesu* [online]. In: Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha [cit. 2016-09-11]. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/clanky/zivotniprostredi/0412kompomonitor.pdf?menuid=159>

KOMATSU [online]. [cit.2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.komatsuamerica.com/equipment/wheelloaders/0-175hp/wa270-7>

LASKI [online]. [cit. 2016-11-02]. Dostupné z: <http://www.laski.cz/produkt/l5-150-38-cb>

Massay Ferguson: [online]. 2017 [cit. 2017-03-06]. Dostupné z: <http://int.masseyferguson.com/mf5600.aspx>

MOUDER [online]. Kostelec nad Černými Lesy [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: <http://www.mouder.cz/?q=node/56>

NEUSONECOTEC [online]. Actualstraße [cit. 2016-11-10]. Dostupné z: http://ne002ec2.edis.at/fileadmin/pdf/Leaflet_SF_420_English.pdf

Profistroje [online]. [cit. 2017-01-26]. Dostupné z: http://www.profistroje.cz/rychlomezny-drtic-doppstadt-ak-235_3808.html

SLEJŠKA, A., VÁŇA, J. a R. HONZÍK.: *Expertní systém pro organické hnojení na zemědělské půdě : Jak určím optimální surovinovou skladbu kompostu?*. *Biom.cz* [online]. 2006-11-09 [cit. 2017-01-25]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/oh-zem.stm>>. ISSN: 1801-2655.

URBÁNEK P., *Energreen*, [online]. [cit. 2016-11-01]. Dostupné z: http://www.energgreen.eu/technika/33_prekopavace.html

Tabulky a grafy

ROY, A., S. LAURIK a P. PLÍVA, Výroba kompostu s různou objemovou hmotností: Metodika pro praxi. vyd. Praha - Ruzyně: Výzkumný ústav zemědělské techniky. 2011

ROY, A.: Měření teploty kompostu – primárního indikátoru průběhu kompostovacího procesu. *Biom.cz*. 2013. ISSN: 1801-2655.

Obrázky:

BARTUNĚK, D. Obrázková dokumentace kompostáren 2017. Vlastní tvorba.

BARTUNĚK, D. Obrázková dokumentace stanovování iontovýměnné kapacity. 2017. Vlastní tvorba

PLÍVA, P., *Kompostování na volné ploše v pásových hromadách* [online]. 2008, 38 [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: http://www.ekomonitor.cz/sites/default/files/10_Pliva.pdf

STEVENSON F. J.: *Humus chemistry genesis, composition, reactions*. Willey Inter science, New York 1982.

Studie uskutečnitelnosti možného kompostování na území ESÚS Společný region [online]. [cit. 2016-09-22]. Dostupné z: <http://www.rras.sk/public/pictures/Studie+kompostov%C3%A1n%C3%AD+na+%C3%BAzem%C3%AD+ES%C3%9AS+Spole%C4%8Dn%C3%BD+region.pdf>