



## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a zhodnocení jejich vlastností pro následnou aplikaci v půdách (lokalita Praha 10)

Vedoucí diplomové práce: Mgr. Veronika Veselská, PhD.

Student: Bc. Pavel Kapek

Praha 2015

### **Prohlášení**

Prohlašuji, že tuto diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, pod vedením Mgr. Veroniky Veselské, Ph.D. Uvedl jsem veškeré literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

.....

Bc. Pavel Kapek

jméno autora a vlastnoruční podpis

### **Poděkování**

Touto cestou bych rád vyjádřil poděkování vedoucímu diplomové práce paní Mgr. Veronice Veselské, Ph.D. za poskytnuté materiály a konzultace ke zpracování této diplomové práce. Další potřebné data a podklady poskytli Ing. Roman Kaštovský (MČ P10), Ing. Anna Tvrdíková (MHMP) a Ing. Karel Matějka (Jena s.r.o.) kterým také děkuji.

**Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá problematikou produkce biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO), jejich sběrem, možnostmi nakládání s nimi a jejich využití na území městské části Praha 10. Hospodaření s odpady v České republice bylo sledováno z pohledu souvisejících norem, podle kterých jsou v současné době odpady odstraňovány. Práce je zaměřena na hospodaření s odpady v obci, která je součástí Hlavního města Prahy a je zapojena ve zdejším systému separace, sběru a využití odpadu. Hlavním cílem je vyhodnocení kvality kompostu, který byl vyroben z BRKO produkovaném na území MČ Praha 10 a posouzení vhodnosti jeho aplikace za účelem zlepšení vlastností půd. Výsledky práce jsou přínosem pro další aplikaci rozšíření sběru BRKO pomocí všech dostupných technologií na celém území Hlavního města Prahy a stanovení vhodných možností, jak zlepšit vlastnosti půd pomocí aplikace kompostu, který byl vyroben z produkce BRKO šetřené lokality.

**Klíčová slova**

Biologicky rozložitelný komunální odpad, kompostování, systém sběru

**Abstrakt**

My dissertation is about problems with production decomposable municipal waste, its picking, about options of its handling and utilization on part of Prague 10. The waste treatment in Czech Republic was monitored due to valid regulations of waste-removal. Dissertation is about waste treatment in urban area of capital city Prague, which get involved in waste picking and utilization system. Main objective of this dissertation is evaluation of compost quality what was produced on Prague 10 and its application for improvement of quality of soil-fertility. Results of this dissertation are benefits for waste treatment on whole capital city Prague, establish suitable option for improvement of soil-fertility using this compost produced from urban area of Prague 10.

**Key words**

biodegradable municipal waste, composting, picking system

**OBSAH**

1	Úvod .....	9
2	Cíle práce .....	11
3	Rešerše .....	12
3.1	Produkce komunálních odpadů Česká republika (2002-2013) .....	12
3.2	Biologicky rozložitelný odpad (BRKO) .....	14
3.2.1	Plán odpadového hospodářství ČR .....	15
3.2.2	Metody shromažďování a sběru BRKO .....	16
3.2.3	Přeprava a doprava BRKO .....	17
3.2.4	Technika pro svoz odpadu .....	17
3.3	Využití BRKO .....	19
3.4	Anaerobní digesce .....	20
3.5	Kompostování .....	20
3.5.1	Základní podmínky pro kompostování: .....	21
3.5.2	Technologie kompostování BRKO .....	23
3.5.3	Jakostní třídy kompostu .....	25
3.6	Humus a půdní fauna .....	33
4	Charakteristika studijního území .....	39
4.1	Situace v oblasti nakládání s bioodpadem na území městské části Praha 10 .....	39
4.1.1	Materiály určené ke zpracování v kompostárně Modletice: .....	44

5	Metodika .....	46
5.1	Sběr dat a jejich zpracování .....	46
5.2	Totální rozklady a louhovací zkoušky .....	47
6	Výsledky .....	49
6.1	Objem produkce odpadu účastníků procesu odpadového hospodářství městské části Praha 10 .....	49
6.2	Výsledky dotazníkového šetření .....	52
6.3	Hodnocení naplnění cílů stanovených Směrnicí 1999/31/ES pro BRKO, soulad s Plánem odpadového hospodářství kraje .....	56
6.4	SWOT analýza .....	57
6.5	Totální chemické rozklady zkoumaných vzorků kompostu .....	59
6.6	Louhovací zkoušky za účelem stanovení mobility kovů ve vzorcích kompostu .....	63
6.6.1	Rozpustnost kovů ve vodě .....	63
6.6.2	Biologicky dostupné kovy (extrakce s $\text{CaCl}_2$ ) .....	64
6.6.3	Extrakce s $\text{HNO}_3$ .....	64
7	Diskuse .....	67
8	Závěr .....	71
9	Přehled literatury a použitých zdrojů .....	74
10	Seznam obrázků a tabulek .....	83

## 1 Úvod

Diplomová práce se zabývá sběrem BRKO a možnostmi nakládání s ním. Dále řeší zhodnocení výsledné produkce zpracované pomocí kompostování a možnosti její další aplikace za účelem zlepšení vlastností půdy. Zvyšující se produkce odpadu v České republice představuje závažný problém (ČSU, 2014). Kompostování je jednou z nejvýhodnějších metod nakládání s pevnými komunálními odpady v praxi, hlavně díky vysokému procentu organického materiálu ve složení odpadu. Výhody kompostování oproti ostatním způsobům zpracování BRKO jsou nižší provozní náklady, menší znečištění životního prostředí a produkce kompostu, který zadržuje vlhkost a obsahu velké množství organických látek, které jsou součástí komunálního odpadu (Lopez-Mosquera a kol, 2000). Rostoucí množství odpadu vede ke zvýšenému čerpání zdrojů a s tím související rostoucí produkcí skleníkových plynů, která se projevuje na situaci globálního oteplování (Evropská komise, 2008). Jedním z možných řešení dle Politiky ochrany klimatu je postupnými kroky zlepšovat separaci odpadu na jednotlivé složky (MŽP, 2009). Česká republika v separaci odpadu na základní složky jako jsou papír, plasty, sklo a kovy plní evropská kritéria, v oblasti separace biologicky rozložitelných odpadů byly detekovány značné rezervy (Směrnice EÚ 1999/31/EC). Po vytřídění BRKO, složky komunálního odpadu se sníží celkové množství směsného odpadu a získá se zdroj kvalitních živin či energie. Kompostování zatím pouze poukazuje a nastiňuje své výhody a přínosy. Dalšímu rozvoji však příliš nenapomáhá legislativa, omezujícím faktorem je rovněž nízký stupeň rozvoje trhu s kompostem ve formě finálního produktu. Vyroběný kompost lze používat jako náhradu průmyslových hnojiv. Jeho aplikace na půdu s sebou nese tolik negativních vlivů, jak pro půdu samotnou, tak pro rostliny a v konečné fázi také na životní prostředí. Použití kompostu jako hnojiva aplikovaného na zemědělskou půdu s sebou totiž přináší řadu příznivých účinků, jak v podobě zdroje živin, tak i pojiva půdních částic, které činí půdu odolnější vůči erozi a zlepšuje schopnost půdy zadržovat vodu (Plíva, Jelínek, 1996).

Diplomová práce se zabývá právě hospodařením s biologicky rozložitelnými odpady na obecní úrovni, vysvětluje základní informace o hospodaření s těmito



odpady a přibližuje principy sběru a využití. Práce se věnuje plánu odpadového hospodářství a jeho problémům, novým právním předpisům a statistice BRO v České republice.

## **2 Cíle práce**

Hlavním cílem diplomové práce je charakterizovat možnosti sběru a následného využití BRKO odpadu vznikajícího na území obce Praha 10. Dílčí cíle zahrnují zpracování konkrétních získaných dat z dané lokality a vypracování analýzy složení kompostu šetřené oblasti s cílem stanovit vhodnost jeho aplikace v půdě.

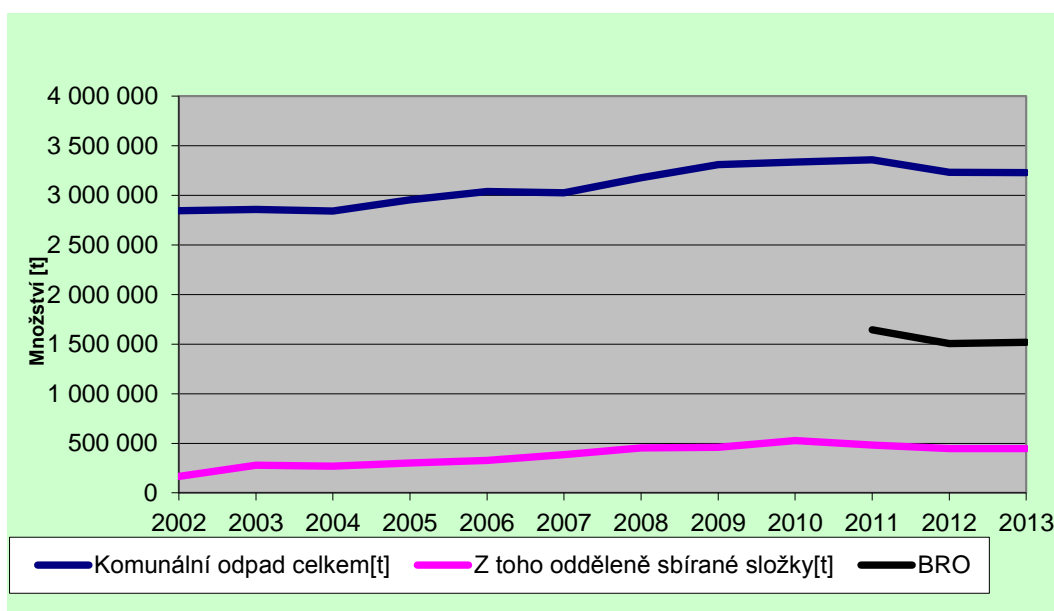
Zpracování těchto podkladů poskytuje předlohu pro ostatní obce a zahradnické subjekty, které v této oblasti mají nedostatek informací a zkušeností s použitím kompostu a následnou změnou vlastností půdy.

### 3 Rešerše

#### 3.1 Produkce komunálních odpadů Česká republika (2002-2013)

Za komunální odpad se považuje veškerý odpad vznikající na území obce při činnosti fyzických osob uvedený jako komunální odpad v Katalogu odpadů a rovněž odpad podobný komunálnímu odpadu uvedený jako komunální odpad v Katalogu odpadů pocházející z činnosti právnických osob nebo fyzických osob oprávněných k podnikání, pokud jsou tyto osoby zapojeny do systému obce k nakládání s komunálním odpadem dle tohoto zákona. Obec není považována za jejich původce. Dle vyhlášky č. 381/2001 Sb., Katalogu odpadů je skupina KO označována kódy 200 100-200 399, dle jednotlivých druhů. Česká republika produkuje každoročně 4,4 milionů tun komunálního odpadu (MŽP, 2010). Největší část, téměř polovinu tvoří tzv. biologicky rozložitelný odpad, především listí či tráva a odpady z kuchyní (Program Vědy VaV/720/2/00, UK, 2002). Postupně se rozvíjející separace odpadů ve městech a v obcích je znázorněna v grafu (obr. č. 1), který zaznamenává produkci komunálních odpadů a separovaných složek odpadu v České republice v letech 2002 – 2013.

Obrázek 1: Graf produkce komunálních odpadů 2002-2013 (ČSU, 2014)



Složení komunálního odpadu (ČSU, 2014) je odlišné podle druhu zástavby jednotlivých území. Uskutečněné výzkumné projekty stanovují ukazatele skladby a produkce domovního odpadu. Znalosti složení a skladby domovního odpadu jsou důležité pro rozhodování obcí o způsobech separace využitelných složek odpadů a o způsobech nakládání se zbytkovým odpadem. Tabulka č. 1 udává informace o složení a zastoupení jednotlivých složek v odpadech.

Tabulka 1: Podíl látkových skupin v komunálním odpadu (Program VaV/720/2/00, 2002)

Látková skupina	Průměrné hodnoty podílu látkových skupin v odpadu (%)			
	Sídlištní zás. menších měst	Sídlištní zás. velkých měst	Vesnická zástavba	Smišená zástavba měst
Papír, lepenka	22,2	22,7	7,6	25,6
Plasty	16,8	13,8	9,0	18,0
Sklo	6,7	8,7	8,9	7,6
Kovy	3,0	3,4	4,5	3,1
Bioodpad	19,6	18,2	6,3	17,3
Textil	6,6	5,6	2,2	5,1
Minerální odp.	0,8	1,9	4,0	2,3
Nebezpečný odpad	1,1	0,5	0,5	0,4
Spalitelný odp.	6,7	12,4	6,2	7,0
Zbytek 20-40mm	8,4	3,1	5,0	5,4
Frakce 8-20mm	5,1	6,6	8,9	3,8
Frakce < 8mm	3,0	3,1	36,9	4,4
CELKEM	100,0 %	100,0 %	100,0 %	100,0 %

Skladba odpadů se v jednotlivých typech zástavby liší. Je odvislá od životního stylu, věkového složení obyvatel, způsobu vytápění, množství udržovaných a obhospodařovaných zelených ploch, počtu živnostníků atd. V praxi tak nelze stanovit jednoznačné ukazatele skladby domovního odpadu. Pro kvalifikovaný odhad skladby odpadu v obci je proto nezbytné na základě dostupných znalostí určit podíl obyvatel v příslušných typech zástavby a následně povést výpočet skladby domovního odpadu. Z analýz komunálních odpadů provedených v letech 1993 – 1994 a 2001 – 2002 je zřejmé, že došlo k výraznému nárůstu objemu plastů a papíru. Dále došlo k poklesu množství skla, kovů a popelovin (Vrbová a kol., 2003). Z Programu VaV/720/2/00 vyplývá, že složení komunálních odpadů se v čase mění. Budoucnost bude především záviset na změnách a vývoji obalové techniky a technologickém vývoji v oblasti plastů. Dále pak ve státní politice vytápění domácností a vývoji systému sběru, třídění a využití odpadů.

### 3.2 Biologicky rozložitelný odpad (BRKO)

Složka komunálního odpadu, která je rozložitelná pomocí anaerobního či aerobního procesu se nazývá biologicky rozložitelný komunální odpad- BRKO. Po úspěšném proběhnutí biologického rozkladu se odpad mění ve stabilizovaný odpad. V případě separovaného sběru je však bioodpad surovinou, kterou je možno přeměnit na užitečný materiál využitelný v široké škále lidské činnosti (Vyhláška č. 341/2008 Sb.). Komunálním, biologicky rozložitelným odpadem, se rozumí odpad, který je zařazen do skupiny odpadů 200 000, tj. odpady komunální a jím podobné odpady ze živností, z úřadů a z průmyslu, včetně odděleně sbíraných složek těchto odpadů. Do této skupiny se řadí např. odpady z údržby zeleně, kuchyňský odpad včetně olejů na smažení, jak z domácností, tak i z jídelen a restaurací, ale též papír, přírodní textilie, zeleninový odpad z tržišť a ze živností. Větší část komunálního bioodpadu tvoří organický podíl ze směsného KO (Váňa, 2003). Měrné množství odpadu ze zeleně bez znalostí konkrétního druhu a zdroje výskytu je obtížné stanovit. Podle zahraničních zdrojů (Pro Europe, 2014) se množství odpadu ze zeleně pohybuje v rozmezí 30-300kg na obyvatele a rok (některé starší údaje v ČR uvádějí průměrný výskyt 24 kg na obyvatele a rok) (Kalina, 1999). Množství bioodpadu z domácností

se může odvodit z výsledků analýz domovního odpadu. Množství v podmínkách ČR se pohybuje v rozpětí 30 až 60 kg na obyvatele a rok (Benešová a kol., 2001). Přínosy a výhody odděleného sběru spočívají ve snížení množství biologicky snadno rozložitelného materiálu ukládaného na skládky, zvýšení energetické výhřevnosti tuhého komunálního odpadu a získání čistší složky komunálního bioodpadu, kterou lze využít pro výrobu bioplynu (European comision, 2008).

### 3.2.1 Plán odpadového hospodářství ČR

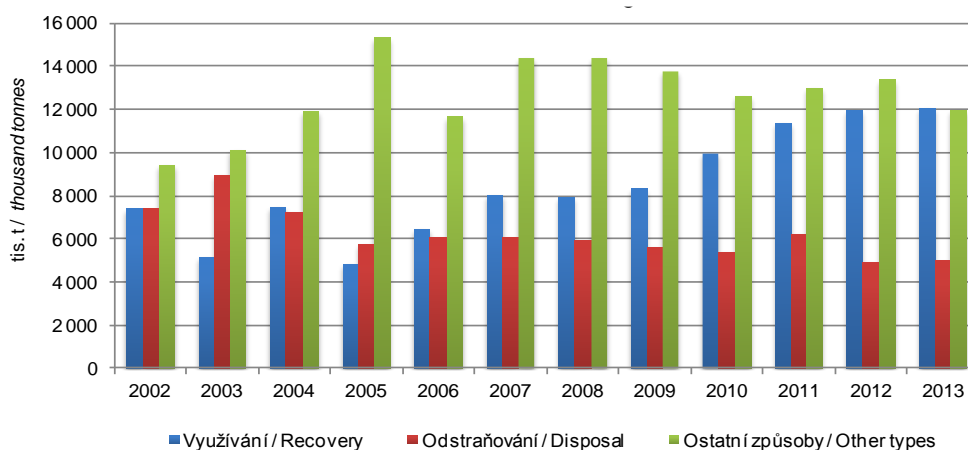
Nový plán odpadového hospodářství představuje klíčový dokument pro realizaci dlouhodobé strategie nakládání s odpady, obaly a výrobky s ukončenou životností. Poprvé je součástí tohoto dokumentu i Program předcházení vzniku odpadů. Novou odpadovou legislativou se Ministerstvo životního prostředí zaměřuje na upřednostnění způsobů nakládání s odpady podle celoevropské odpadové hierarchie (MŽP, 2014). Pojem celoevropská odpadová hierarchie představuje dříve přijaté závazky vyplývající z evropských směrnic. Zejména Směrnice Evropské unie 1999/31/EC o skládkování odpadů, která ukládá členským státům povinnost omezit množství BRKO ukládaného na skládky (aplikována do POH ČR) je zobrazena na obrázku č. 2. Mezi povinnosti vyplývající z této směrnice patří třídít kovy od roku 2015 a snížit ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky o 50% respektive 75 % v letech 2013, respektive 2020. Výchozí základnou pro porovnání je stav odpadového hospodářství v roce 1995.

Plán odpadového hospodářství České republiky je účinný od 1. ledna 2015 a jeho platnost je 10 let t.j.do roku 2024. V minulém období bylo převážně využíváno ukládání těchto odpadů na skládky, což vedlo ke vzniku metanu, který významně přispívá ke globálnímu oteplování. (MŽP, 2015) Graf na obrázku č. 3 zobrazuje stávající stav v oblasti využívaných způsobů nakládání s odpadem. Obce mají dle POH povinnost občanům umožnit sběr a třídění bioodpadu i kovů. pomocí sběrných nádob, pytlů, velkoobjemových kontejnerů a sběrných dvorů.

Obrázek 2: Hierarchie nakládání s BRKO (POH 2015)



Obrázek 3: Způsoby nakládání s odpadem v ČR (2002-2013) (ČSU 2014)



### 3.2.2 Metody shromažďování a sběru BRKO

V této kapitole jsou popsány jednotlivé metody, které se využívají při sběru a shromažďování BRKO. Dále jsou zde uvedeny jednotlivé specifické parametry, podle kterých se stanovuje vhodný způsob nakládání s odpadem.

Donáškový systém třídění je založen na aktivní roli obyvatelstva. Sběrné nádoby pro oddělený sběr jsou umístěny spolu s dalšími kontejnery (Vrbová a kol., 2003). Zpravidla bývají uzamčeny, aby byl zajištěn přístup pouze účastníkům přihlášeným do programu. Tento postup zamezuje znehodnocení separované složky cizí příměsí. Interval odvozu je u nádob na BRKO obvykle stanoven 1× za 2 týdny. Pro zachování efektivity systému by donášková vzdálenost neměla přesáhnout 100-200 m. Nejvhodnější je donáškový systém v sídlištní zástavbě (Vrbová a kol., 2003).

Odvozový způsob sběru se uplatňuje při sběru bioodpadu z domácností, kdy je v závislosti na druhu zástavby společně sbírán kuchyňský bioodpad a odpad ze zeleně. Odvozový způsob sběru do sběrných nádob menších objemů (120 l a 240 l) přistavených v blízkosti vchodů obytných domů představuje pohodlnou službu pro občany (Altmann a kol., 2010).

Pytlový systém je modifikací obou popsaných systémů a je pro občany nejvhodnější. Účinnost sběru je proto nejvyšší ze všech sběrových systémů. Sběrné pytle pro občany zajišťují svozové společnosti. Naplněné pytle jsou pak v předem určený den svozu umístěny na viditelná místa. Nejčastěji se používají pytle o objemu 70l, které se v praxi nejvíce osvědčily (Vrbová a kol., 2003).

### 3.2.3 Přeprava a doprava BRKO

Svoz BRKO je převážně prováděn systémem jednoetapové přepravy. Sběr odpadu a jeho přeprava na místo zpracování se zajišťuje jedním svozovým automobilem. S ohledem na hospodárnost dopravy odpadů jsou užívány různé velikostní typy nástaveb s objemy 5–23 m<sup>3</sup> a užitečnou hmotností 2–12 tun. Užití velikostních typů pak závisí na konkrétních podmínkách svozové oblasti (Slavík a kol, 2004). Zvyšováním vzdáleností zařízení pro odstraňování a využití odpadů se postupně rozvíjí také přeprava dvouetapová. U této přepravy dochází v první fázi k postupnému sběru odpadů svozovým automobilem, který po naplnění převáží odpady do překládací stanice. Ve druhé fázi se nejčastěji používají velkoobjemové návěsy, které přepravují odpad z překládací stanice dále do míst jeho zpracování (Slavík a kol, 2004).

### 3.2.4 Technika pro svoz odpadu

Pro svoz komunálních odpadů se používá řada různých automobilových podvozků doplněných o různé nástavby včetně zdvihacích, nakládacích a lisovacích zařízení. Stlačování odpadu je šroubové nebo lineární a dosahuje poměru až 1 : 3. V těchto autech je dopravován odpad na skládky do vzdálenosti max. 40 km. Při větších vzdálenostech jsou využívána překladiště, kde jsou odpady v kontejnerech



překládány do velkoobjemových transportních automobilů s přívěsy a odtud odváženy k dalšímu využití nebo zneškodnění (Projekt Phare CZ9811-02-02).

Existují dva základní typy svozových automobilů:

Lineární typ – moderní, dvojnásobná komprese odpadu proti rotačnímu typu

Rotační typ – starší, určený do míst se zástavbou s lokálním vytápěním

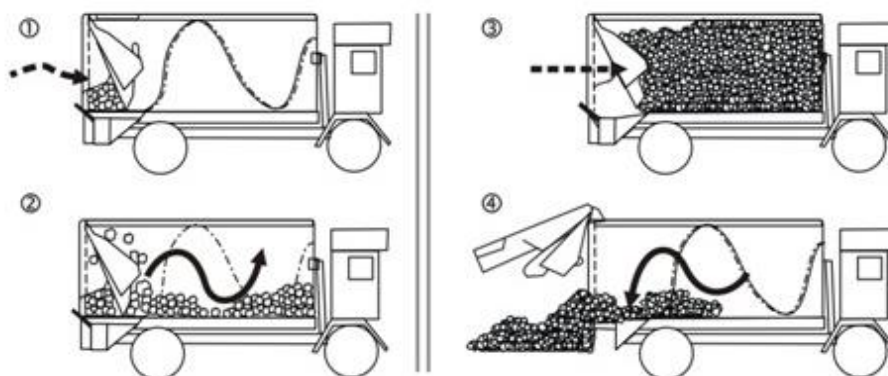
Vozy s lineárním stlačováním

Jedná se o standardní podvozky nákladních automobilů vybavené speciální nástavbou komunálního charakteru. Princip lineárního stlačování je založen na nádrži obdélníkového průřezu osazené v zadní části hydraulickým stlačovacím zařízením (Kafka, 1999). Svozové automobily se systémem lineárního stlačování by měly být vybaveny přídatným zařízením zachycujícím vodu, která vzniká díky vysokému poměru stlačování odpadu. Systém rotačního stlačování má oproti lineárnímu systému výhodu větší homogenizace odpadu, jež má pozitivní vliv na zrání při nakládce a vykládce (Voštová, 2009). Nástavbou z produkce firmy FAUN je VARIOPRESS se systémem lineárního stlačování s poměrem 1:6. Nástavba se vyrábí ve velikostech 6-10m<sup>3</sup> a 14-22 m<sup>3</sup> (Faun.com,2012).

Vozy rotačním stlačováním

Jedná se o standardní podvozky nákladních automobilů vybavené speciální nástavbou komunálního charakteru. Princip rotačního stlačování (obr. č. 4) je založen na válcové nádrži, která se otáčí kolem své osy, lopatkami nabírá odpad a stlačuje ho dovnitř. Vozidla s rotačními bubny způsobují nežádoucí „pseudohomogenizaci“, což zhoršuje podmínky pro vlastní dotřídění. Svoz vozidla typu tzv. „lineárních lisu“, které již naložený odpad nepromíchávají, je proto z tohoto hlediska výhodnější (Kafka, 1999). Typová řada FAUN Rotopress se vyrábí v následujících velikostech zásobníku: 14; 16; 18; 20 a 22 m<sup>3</sup> (Croy.cz, 2014).

Obrázek 4: Schéma vozu vybaveného rotačním stlačováním odpadu (Slavík a kol, 2004)



### Velkoobjemové kontejnery

Pro sběr BRKO se také využívá velkoobjemových kontejnerů nejčastěji o objemu 3 m<sup>3</sup> a 10 m<sup>3</sup>. Používají se v lokalitách, kde jsou větší zdroje BRKO (zahrádkářské kolonie) nebo v obcích, kde BRKO separují pouze nárazově. Při využití těchto nádob je největším problémem zajistit kvalitní surovinu bez nežádoucích příměsí, jelikož často bývala tyto stanoviště zneužívána k odkládání domovních objemných odpadů. Po těchto negativních zkušenostech bylo přistoupeno k následujícímu řešení: Kontejner na bioodpad bude přistaven vždy na 3 hodiny a po celou dobu u něj bude odborná obsluha, aby se předešlo znečištění bioodpadu (MÚ Nebušice, 2012).

### 3.3 Využití BRKO

V ČR je v současné době značný podíl biologicky rozložitelného komunálního odpadu ukládan na skládky. Toto je provázeno negativními vlivy na klimatické změny a vysokou objemovou náročností. Moderní systémy odpadového hospodářství upřednostňují zpracování biologicky rozložitelného odpadu aerobními postupy, tj. kompostováním. Tyto procesy jsou sice provázeny také produkcí skleníkových plynů (CO<sub>2</sub>), avšak jejich míra působení je 21krát nižší, než u skládkových plynů (Moňok, 2001). V anaerobně v uzavřených systémech se využívá vznikající bioplyn následným spalováním pro výrobu tepla (Kotoulová, Váňa, 2001).

Způsoby biologického zpracování bioodpadů, které jsou považovány za jejich využívání, jsou řízené a kontrolované procesy aerobní nebo anaerobní mikrobiální biochemické přeměny těchto bioodpadů probíhající v zařízeních k jejich zpracování. Případně zcela nové biologické postupy a technologie vyvinuté na základě postupujícího rozvoje vědy a techniky s výstupy, které odpovídají požadavkům vyhlášky (Vyhláška č. 341/2008 Sb.). Z možných způsobů využití BRKO se nejčastěji využívá aerobní digesce a kompostování.

### 3.4 Anaerobní digesce

Při anaerobní digesci bioodpadů, kterou se rozumí řízený a kontrolovatelný mikrobiální mezofilní nebo termofilní rozklad organických látek bez přístupu vzduchu v zařízení bioplynové stanice jako samostatné technologie za vzniku bioplynu, digestátu nebo rekultivačního digestátu, je nutné dosáhnout teploty zpracovávaného bioodpadu nejméně 55 °C a udržet ji nejméně po dobu 24 hodin bez přerušení, přičemž nezbytná celková doba procesu anaerobní digesce je více než 30 dnů. Celková doba zdržení může být kratší než 30 dnů, nejméně však 20 dnů, pokud provozovatel zajistí, že produkovaný digestát trvale splňuje hodnoty stability dle ČSN ISO 11734 (Vyhláška č. 341/2008 Sb.).

### 3.5 Kompostování

Kompostování představuje aerobní biologický rozkladný proces, jehož účelem je co nejrychleji a nejehospodárněji odbourat původní organické substance v odpadu a převést je na stabilní humusové látky podobné půdnímu humusu, které jsou prospěšné rostlinám. Během tohoto procesu se zhodnocuje organická substance v odpadu pomocí aerobních mikroorganismů za přístupu kyslíku, který slouží jako živina a zdroj energie. Dochází k hydrolyze bílkovin, sacharidů a tuků. Produkty hydrolyzy – aminokyseliny, monosacharidy a alifatické alkoholy se částečně přeměňují za vývinu tepla na organické kyseliny (octovou, máselnou, propionovou) a oxid uhličitý. Při odbourávání organických substancí pomocí mikroorganismů dochází ke zvyšování okolní teploty. Tento v přírodě velmi rozšířený proces se označuje jako

samoohřev. Při kompostování odpadů je žádoucí ze dvou důvodů, jednak dochází ke změně skladby mikroorganismů a tím k rychlejšímu odbourávání často značně složitých organických substancí a dále dochází vedle transformace antibiotik pomocí aktinomycet k termické dezinfekci materiálu. Biologickou oxidací se uvolňuje teplo a zvyšuje se teplota až na hodnoty, při kterých mohou přežít pouze termofilní organismy. Jestliže se teplota udržuje na požadované hladině dostatečně dlouhou dobu, rozkládají se patogenní mikroorganismy a plevelná semena. Následnou mikrobiální činností se přeměňují organické zbytky na humus, který je užitečný pro zlepšování kvality půd (Adriano, 2001).

### 3.5.1 Základní podmínky pro kompostování:

Vstupní suroviny musí být rozemlety a homogenizovány. Dále musí obsahovat organické látky ve struktuře, která je vhodná pro výživu mikroorganismů. Důležité je dodržení poměru C:N 30:1 (dobrá stabilita a agronomická účinnost) zastoupení biogenních prvků. Mezi organické látky vhodné ke kompostování patří: bioodpad ze separovaného sběru domovních odpadů, zemědělské odpady (zvířecí fekálie a rostlinné odpady), dřevní odpad (kůra, piliny, štěpky), odpady potravin pochutin a krmiv, textilní odpad, papírenské kaly, kal a odpad z provozování rybníků, uhelné odpady, odpad z městské zeleně

S ohledem na obsah stopových toxických prvků je nutné individuálně posuzovat vhodnost kompostování čistírenských kalů, odpadů ze septiků a žump, směsného domovního odpadu, koželužských odpadů a organických průmyslových kalů (Kafka, 1999). Optimální vlhkost se pohybuje mezi 50-60%, pokud je nižší musí být upravena přidáním vody. Stanovením vhodného složení a zpracování směsi zajistíme, aby došlo k jejímu dostatečnému ohřátí a následné hygienizaci. Požadovaná teplota je 60-70 °C. V průběhu zrání ubývá část uhlíku jako oxid uhličitý a poměr C:N se zužuje. Odpady se širokým poměrem C:N (dřevní hmota, papír) jsou více odolné mikrobiologickému rozkladu, než odpady s úzkým poměrem C:N (Kotoulová, Váňa, 2001). Tento nevhodný poměr v čerstvém kompostu způsobuje prodloužení doby zrání a po aplikaci kompostu do půdy pokračování rozkladu kompostu v půdním

prostředí při čemž dochází ke spotřebě v půdě vázaného dusíku, který pak schází při růstu následných rostlin. Při příliš úzkém poměru dochází k nadměrné tvorbě dusíku a následkem této situace k tvorbě čpavkových plynů. Naopak při příliš širokém poměru C:N se přidávají látky bohaté na dusík jako je síran amonný nebo močovina. Případný nedostatek  $P_2O_5$  je korigován přidavkem superfosfátu. Základní pravidlo: Čím je starší, tmavší a dřevnatější materiál, tím je v něm obsaženo více uhlíku. Čím je materiál čerstvější, šťavnatější a zelenější, tím obsahuje více dusíku. Jednotlivé hodnoty poměrů C:N jsou uvedeny v tab. č. 2.

Tabulka 2: Poměr C : N v některých surovinách ke kompostování (Kalina, 1999)

Suroviny	C:N	Suroviny	C:N
Drůbeží trus	10:1	Kůra	120:1
Močuvka	2:1	Piliny	500:1
Kejda skotu	10:1	Papír. Karton	350:1
Hnůj skotu	25:1	Odpad z kuchyně	15:1
Sláma (žito, oves)	60:1	Odpad ze zahrady	40:1
Sláma (pšenice, ječmen)	100:1	Listí	50:1
Odpad z domácí zabijačky	16:1	Posečená tráva	20:1

Při optimalizaci surovinové základny z hlediska C:N vlhkosti a zabezpečení minima fosforu se vychází ze skutečných chemických rozborů surovin či z tabulkových rozborů vlhkost (%), organická hmota a živiny (%sušiny) v surovinách vhodných pro kompostování (Kotoulová, Váňa, 2001).

### 3.5.2 Technologie kompostování BRKO

Kompostování odpadu ze zeleně a dalších bioodpadů se z hlediska organizace může provádět na následujících úrovních:

Domácí kompostování (v rodinných zahradách)

Komunitní kompostování (na sídlištích, v zahrádkářských koloniích)

Centrální kompostování (průmyslové a zemědělské kompostárny)

Domácí kompostování je nejjednodušší způsob kompostování, kterým omezíme podíl BRKO v komunálním odpadu. Je nutné tento způsob propagovat pomocí osvětových informačních akcí a občany motivovat pomocí slev na odvoz komunálního odpadu. Dále je nutné občany upozornit na materiály ke kompostování vhodné a na suroviny, které jsou díky hygienickému hledisku k domácímu kompostování nevhodné.

Komunitním kompostováním občanů se zde rozumí neformální komunita občanů (obyvatelé bytového domu, pracovníci firem v administrativním nebo výrobním komplexu, zahrádkáři, školy apod.), která využívá vlastní kompostovatelný materiál pro výrobu kompostu. Tento kompost slouží pouze pro potřeby komunity. Nakládání s biologicky rozložitelným materiálem se neřídí zákonem o odpadech, ale pouze občanským zákoníkem. Komunita s materiálem musí nakládat tak, aby neohrožovala a neobtěžovala jiné osoby a neomezovala jejich práva. Komunitní kompostování občanů je realizovatelné na sídlištích, v bytových i rodinných domech pomocí komunitních kompostérů (obr. č.5). Při domácím a komunitním kompostování není nutné kompostovaný materiál nikam přepravovat (s tím souvisí méně nákladních aut na silnicích, méně hluku i výfukových plynů, úspory pohonných hmot a peněz). (Kompostuj.cz, 2012)

Obrázek 5: Dřevěný kompostér pro komunitní kompostování (Kompostuj.cz, 2013)



Domácí a komunitní kompostování je možné podpořit pomocí finanční motivace (sleva v platbě za odpady), osvěty ve školách, pravidelné kampaně v lokálních médiích a poskytnutím finanční podpory na nákupu kompostérů.

Centrální kompostování, jako způsob kompostování probíhá v zařízeních, které dělíme na základě jejich roční produkce kompostu. Při produkci kompostu v rozmezí 50 – 500 t se jedná o kompostoviště, v případě zařízení s produkcí vyšší než 500 t se jedná o průmyslovou kompostárnu (obr. č. 6). Kompostování v obou typech zařízení se většinou provádí na kompostových zakládkách nebo v biofermentorech. Způsob výroby kompostu je usměrněn platnou ČSN 465735 "Průmyslové komposty". Při kompostování je třeba dodržovat vyhl. č. 6/1977 Sb. o ochraně jakosti povrchových a podzemních vod, podle které jsou aerobně stabilizované komposty některé kompostované odpady považovány za látky ohrožující jakost nebo zdravotní nezávadnost vod. Průběh kompostovacího procesu je, až na malé odchylky, podobný u všech technologií kompostování (Epstein, 1997). Kompostárnu lze jako zařízení k využívání odpadů provozovat pouze se souhlasem příslušného krajského úřadu, který současně obsahuje i souhlas s provozním řádem kompostárny (Křenek, 1999).

Obrázek 6: Kompostárna na statku H. Seiringera (biom.cz, 2012)



Průmyslové kompostárny představují velké investice a jsou řešením vhodným spíše na úrovni regionální. Kompostárna nesmí být zdrojem nadlimitního zápachu. Kapacita kompostáren může být velmi rozdílná 1–20 tis. tun/rok. V případě, že je kompost uváděn do oběhu prodejem, musí jeho jakost odpovídat vyhlášce č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva (Edice Planeta, 2005).

### 3.5.3 Jakostní třídy kompostu

Uvádění kompostů do oběhu prodejem a užívání kompostů na zemědělskou půdu spadá pod zákon č. 308/2000 Sb. "o hnojivech". Podle ČSN 465735 musí být průmyslový kompost hnědá, šedočerná až černá homogenní hmota, drobtovitá až hrudkovité struktury bez nerozpojitelných částic. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek. Závazný je požadavek ČSN na nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v kompostovatelných odpadech. Další ustanovení ČSN jsou závazné pouze při výrobě registrovaného průmyslového kompostu. Jde zejména o požadované jakostní znaky (tab.č.3) s výjimkou znaku homogenity (Křenek, 1999).



Tabulka 3: Požadavky na jakost kompostu (ČSN 465735)

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, avšak min. 40,0 a max. 65,0
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	min. 25,0
Celkový dusík jako N přepočtený na	min. 0,60
Poměr C : N	max. 30 : 1
Hodnota pH	od 6,0 do 8,5
Nerzozložitelné příměsi v %	max. 2,0
Homogenita celku v % relativních	± 30

Přípustné nejvyšší množství sledovaných látek ve vyrobené směsi je uvedeno v následující tabulce č.4, která čerpá z vyhlášky č. 474/2000 Sb. stanovení požadavků na hnojiva. Aby mohla být vyrobenému kompostu udělena registrace, musí splňovat požadavky podle třídy I. Objem výroby kompostů na území ČR se mění v závislosti na odbytu kompostů. Maximální výroba byla v roce 1986, kdy dosáhla 2,14 mil. tun, v roce 1994 dosáhla minimum 320 tis. tun. Zařízení určené pouze pro anaerobní rozklad komunálních bioodpadů není v ČR provozováno. Zemědělských bioplynových stanic je zatím pouze 12 (Třeboň, Kroměříž, Kladruby, Plevnice, Mimoň, Šebetov, Trhový Štěpánov, Jindřichov, Výšovice, Hustopeče, Velké Albrechtice, Slavkov). Zařízení na mechanicko-biologickou úpravu komunálních odpadů není doposud v ČR provozováno (MŽP, 2012).

Tabulka 4: Nejvyšší přípustná množství sledovaných látek v kompostu a v surovinách pro přípravu kompostu (ČSN 465735)

Sledované látky	Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného	
	I.	II.
As	10	20
Cd	2	4
Cr	100	300
Cu	100	400
Hg	1,0	1,5
Mo	5	20
Ni	50	70
Pb	100	300
Zn	300	600

Tržní cena kompostu je obvykle odvozována od ceny živin v minerálních hnojivech. To je ale pouze její část, která skutečnou hodnotu kompostu nedokáže vystihnout. V odborné literatuře se zdůrazňuje, že používání kompostu je důležité zejména z hlediska jeho pozitivního vlivu na fyzikálně chemické vlastnosti půdy a dává tomuto hledisku prioritu před hnojivými efekty kompostu. Ekonomika volného trhu tyto pozitivní vlivy, ale bohužel ekonomicky vyjádřit nedokáže. Důsledkem jsou nízké tržní ceny kompostu, které jeho skutečnou hodnotu zdaleka nevyjadřují. Ceny kompostu v EU vykazují poměrně široké rozpětí. Na specializovaném zahradnickém trhu se ceny pohybují nad 40 EUR/t (Biom.cz, 2013).

Registrace kompostů zajišťuje kvalitu tím, že na trh mohou být dodávány pouze komposty s registrací dle zákona č. 474/2000 Sb. Registraci uděluje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský na žádost výrobce. Součástí žádosti musí být vzorky, případně umožnění jejich odběru a doklad o úhradě správního poplatku (3000 Kč). V případě žádosti schvalovatele je žadatel povinen poskytnout další podklady a informace, nezbytné pro registrační řízení. Důraz je kladen na provozní řád kompostárny, schválený krajským úřadem a doložení právní subjektivity žadatele a oprávnění k podnikání (živnost výroba hnojiv). Žadatel zároveň musí doložit příbalový leták, ve kterém musí být uveden především rozsah a způsob použití kompostu.

Pozitiva, která přináší kompost jsou vytvoření optimálních podmínek pro mikroorganismy, ty se mohou neustále množit a provozovat všechny činnosti svého života, neboli dýchat, trávit a přeměňovat energii ve formě surovin na formu tepla vznikajícího v základce kompostu. Tímto procesem dochází ke vzniku humusu, který přináší kromě zvyšování obsahu organické hmoty v půdě mnoho dalších pozitiv. Humus jako takový ovlivňuje zejména fyzikální vlastnosti půdy. Organická půdní hmota, která obsahuje značnou část dusíku, fosforu a síry, je jejich krátkodobým i dlouhodobým zdrojem. Tyto živiny jsou transformovány právě za pomoci mikroorganismů nebo enzymů do takové formy, která je jednoduše přístupná rostlinám. Humus však nepřináší jen výživu rostlinám a netvoří článek potravního řetězce v půdě, ale především svou hlavní funkcí zajišťuje základ pro udržitelnou zemědělskou produkci. Aby byla udržena konstantní hladina půdního humusu, musí být do půdy pravidelně dodáváno alespoň takové množství organické hmoty, jaké je spotřebováno (Erhart, Hartl, 2008). Kompost zlepšuje zpracovatelnost půdy, zvyšuje sorpční schopnosti lehčích půd, nakypřuje utužené a těžké půdy, může redukovat choroby rostlin i působení škůdců, snižuje kyselost půd a stabilizuje hodnotu pH, zvyšuje vodní jímavost a vodní kapacitu, snižuje vodní erozi na svazích, snižuje spotřebu vody, zabraňuje vysychání půd, dlouhodobě zabezpečuje rostliny důležitými živinami, zvyšuje vzházivost osiv i sadby, regeneruje narušené půdy a podporuje život v půdě (Šrefl, 2012).

Proces kompostování je považován za vysoce ekologickou metodu zpracování odpadů. Mohou se však objevit i rizika, která představují například potencionálně toxické kovy. Nízké obsahy potencionálně toxických kovů obsahují piliny, dřevní štěpka nebo stromová kůra, v neposlední řadě také odpady z výroby papíru a celulosy. Za neproblematické v tomto ohledu můžeme považovat například fekálie zvířat a odpad z rostlinné výroby. Potencionálně toxické kovy ve vysokých koncentracích mohou naopak obsahovat některé barevné tiskopisy nebo sáčky do vysavačů, přestože jsou „papírové“. Komposty průměrně obsahují množství toxických látek uvedená v tabulce č.5.

Tabulka 5: Obvyklé množství stopových toxických prvků v mg/1000g sušiny (Váňa, 2002)

Prvek	Zemědělské	Stromová	Čistírenský kal	Bioodpad a kuchyňský odpad
As	0 – 4	1 - 4	0 - 13	0 – 3
Cd	0 – 1	1 - 3	1 - 40	0 – 1
Cr	1- 10	1- 3	30-1000	10-60
Cu	2- 50	2- 6	150 -1000	15-30
Hg	0 – 1	0 - 1	0 - 7	0 – 1
Ni	2 – 8	9 - 23	30 - 250	6 – 15
Pb	7-40	9 - 20	100 - 500	20-40
Zn	40-200	14-50	750-3000	80-190

Druh a množství kovů obsažených v kompostu je závislé na složení surovinové základky, jejich hodnoty však nesmí nikdy překročit stanovené limity. Potencionálně toxické kovy jsou závažným tématem už proto, že pokud se vyskytují v kompostu, přenosem se dostávají do půdy, kde se akumulují a mohou se dostat až do plodin,

tedy i do potravního řetězce. Hlavními faktory, které ovlivňují šíření a ukládání potencionálně toxických kovů v půdě, jsou hlavně pH, kationtová výměnná kapacita, vodní a teplotní režim půdy, dále chemické, fyzikálními a biologické vlastnosti půdy, klimatické podmínky a používané agronomické techniky. Aktivita iontů kovů v půdním roztoku je závislá na pH tak, že případné zvýšení kyselosti snižuje počet vazebných míst. Změna pH tak může změnit dostupnost potencionálně toxických kovů pro rostliny. Plodiny se pak liší, jak v citlivosti na potencionálně toxické kovy, tak ve schopnosti tyto látky vstřebávat. Kationtová výměnná kapacita upravuje mobilitu kovových iontů. Tento index udává schopnost půdy pohlcovat a zadržovat kationy kovů. Na oxidačně-redukční přeměny potencionálně toxických kovů má dále významný vliv rozklad organické hmoty v kompostu nebo vodní a teplotní půdní režim (Diaz a kol., 2007).

Mezi další negativní účinky využití kompostu patří uvolňování potencionálně toxických kovů do životního prostředí a převedení těchto prvků z půdy do potravního řetězce. Zhodnocení těchto účinků může být podepřeno znalostmi o chování potencionálně toxických kovů v půdním prostředí. Koncentrace kovů v kompostu je obecně vyšší, než je jejich normální koncentrace v půdě, existuje zde tedy možnost akumulace kovů v půdě s negativními dopady na kvalitu vod a potravní řetězec. Nebezpečí pro životní prostředí představuje především zmiňovaná mobilita kovů a jejich koncentrace v půdním roztoku. Distribuce potencionálně toxických kovů mezi pevnou fází půdy a půdním roztokem je důležitým faktorem pro hodnocení environmentálních dopadů aplikace kompostů, které mohou obsahovat potencionálně toxické kovy, na půdu (Diaz a kol., 2007). Z experimentů, které uvádí (Erhart a kol., 2008), vyplývá, že při hnojení kompostem není znatelně ovlivněna koncentrace potencionálně toxických kovů. Jen minimálně se liší od původní koncentrace u mědi a zinku. V mnoha pokusech došlo ke snížení koncentrace, v některých nebyla dokonce vůbec prokázána přítomnost olova. Koncentrace kadmia se v půdě ošetřené kompostem výrazně snížila oproti koncentraci půdě nehnojené. Zelenina pěstovaná na rozdílně hnojených zeminách nevykazovala žádné změny koncentrací. Z těchto výsledků vyplývá, že je-li používán kvalitní kompost, je tak vysokou měrou snižováno riziko akumulace potencionálně toxických kovů v půdě a

jejich následného přenosu na rostlinu. Aplikace kompostu ponechává hodnoty koncentrací na stejné úrovni, často dokonce dochází díky zvýšení obsahu organické složky k jejich poklesu.

### Arsen

Průměrný obsah arsenu v kůře zemské je 1,8 mg/kg a v půdách, se pohybuje od 2-20 mg/kg zeminy. Vysoké obsahy jsou v sedimentech zvláště jílových. Nejvíce arsenu mají horniny obsahující sulfidy a uhelnou příměs. Zdrojem zamoření zemědělských půd je především popílek a odsiřovací produkty z kotelen, které byly aplikovány do půdy, nebo se tam dostávají ve formě imisí. V půdách se arsen vyskytuje hlavně ve formě arsenitanů a arseničnanů železa a hliníku, které jsou málo rozpustné, zvláště na kyselých půdách. Jsou silně sorbovány hydratovanými oxidy Fe, Al, hydroxidy, půdním humusem, jílovými minerály i kationty potencionálně toxických kovů. V suchém klimatu jsou sloučeniny arsenu prakticky nepohyblivé. Pokud As není sorbován, dochází k biologické metylaci. Metylovaný As může volatilizací uvolňovat do atmosféry. Detoxikace půd obsahujících arsen je možná síranem železnatým, vápencem, vysokými (melioračními) dávkami fosforu (Richter, 2004).

### Chrom

Chrom se v půdě vyznačuje několika oxidačními stupni (od +2 do +6) a schopností tvořit komplexní anionty a kationty, např.  $\text{Cr}(\text{OH})_2^+$ ,  $\text{Cr}(\text{OH})_2^-$ ,  $\text{CrO}_3^-$ . V přirozených látkách se vyskytuje jako trojmocný (chromité sloučeniny) nebo šestimocný (chromany). Vysoké oxidační stupně chrómu jsou méně stabilní, než chróm trojmocný. V půdě se většina chrómu nachází v málo pohyblivé formě kationtů  $\text{Cr}_{3+}$  vázaných na oxidy železa a hliníku, které s ohledem na stejnou velikost iontového poloměru zastupuje. Mobilita chromu v půdě závisí na půdní reakci, stupni rozkladu organické hmoty, obsahu jílových minerálů a redox potenciálu půdy. Při postupné oxidaci chrom tvoří ionty  $\text{Cr}(\text{OH})_2^-$  (chromany), které jsou velmi mobilní a navíc jsou slabě sorbovány jíly a oxidy. Dobře rozpustný chrom je toxický pro rostliny i živočichy, proto je důležitá změna oxidačního stupně. Je známo, že vápnění, hnojení fosforem

a organické látky významně snižují toxicitu chromanů v kontaminovaných půdách (Richter, 2004).

### Měď

V půdě se měď nachází ve dvou oxidačních stupních  $\text{Cu}_{2+}$  a  $\text{Cu}_+$ , přičemž ionty  $\text{Cu}_+$  vznikají v půdě pouze redukcí  $\text{Cu}_{2+}$  v anaerobních podmínkách. Z půdních vlastností má na přístupnost Cu rostlinami největší vliv pH a organická hmota. Měď je v rostlinách zastoupená jen ve velmi malých koncentracích, 5-20 ppm v rostlinném pletivu (Adriano, 2001). Jakmile obsah klesne pod 4 ppm nastává nedostatek, ale když stoupne nad 20 ppm stává se toxickou. Obsah mědi je větší v kořenech, než v nadzemních částech. Měď příznivě ovlivňuje stabilitu chlorofylu. (Vaněk, 2007) Při nedostatku se na listech objevuje chloroza a v případě nadbytku blednutím listů (Jones, 1991). Mobilitu mědi a přístupnost k rostlinám mohou ovlivňovat různé faktory, mezi které patří vliv pH, půdní typ, oxidy manganu a železa, vliv půdní organické hmoty a ostatní faktory, mezi které můžeme zařadit vlhkost půdy, koncentrace prvků v roztoku, nebo rostlinný druh (Adriano, 2001). Nadbytek mědi je u rostlin ojedinělý (Vaněk, 2007). Vyšší nároky na Cu mají obiloviny, hlavně oves, ječmen, pšenice, dále ovocné stromy a špenát. Při nedostatku Cu v rostlinách (méně než 2 ppm v sušině) je nižší tvorba semen a u obilovin se zvyšuje poměr mezi zrnem a slámou (Beneš, 1994).

### Nikl

Nikl je zastoupený téměř ve všech půdách jako důsledek obsahu v horninách. Jeho obsah je udáván v množství 5,5 – 38,6 mg.kg (Hruška et al 2004). Dle Brandla (2005) je sorpce v půdách silně závislá na pH.

### Olovo

Za průměrný obsah olova v půdách je považováno 5-50 mg Pb/kg a za přirozený obsah 2-300 mg/kg. Běžně se vyskytuje v rozmezí 10-20 mg/kg. V půdě je olovo velmi málo pohyblivé. Je to dáno tím, že soli olova jsou většinou málo rozpustné a kromě toho také proto, že olovo je dobře poutáno jílovými minerály i humusovými

látkami, olovo se hromadí převážně v humusovém horizontu. Sorpce olova humusem je pevnější než jílovými minerály (Richter, 2004). Příjem olova rostlinami je menší v zásaditých půdách než v kyselých. Rovněž lze snížit přístupnost olova pro rostliny využitím sorpce olova huminovými kyselinami. K tomu je možno využít dobrý, vyzrálý kompost. Není vhodné použití jiných organických hnojiv, ze kterých humus teprve v půdě humifikací vzniká. V první fázi dochází ke koncentračnímu nárůstu hlavně fulvokyselin a prostředí se citelně okyselí. Oba tyto faktory zlepšují přístupnost olova pro rostliny (Beneš, 1994).

Dále je také nutné zohlednit riziko přenosu chorob a škůdců. BRKO často obsahuje škodlivé látky. Existují takové sloučeniny a prvky, které jsou přírodou asimilovatelné, ale jsou i takové, které jsou pomocí mikroorganismů odbouratelné jen zčásti nebo nejsou odbouratelné vůbec. V případech, kdy proces kompostování neprobíhá dle stanovených podmínek, může dojít ke vzniku a šíření chorob a kompost se tak stává doslova úrodnou půdou pro plevel, houby nebo škodlivé organismy. Choroby jsou do kompostu většinou přineseny právě v odpadech. Kompostovat se nesmí rostliny napadené chorobami a škůdci stejně jako shnilé ovoce.

### 3.6 Humus a půdní fauna

Mezi základní vlivy, které s sebou přináší hnojení kompostem, patří kromě zvýšení celkového množství humusu obsaženého v půdě také ovlivnění půdní organické hmoty. Je-li hnojení prováděno v pravidelných intervalech, dochází ke stimulaci aktivních enzymů, následně pak ke zvyšování mikrobiální biomasy a nárůstu organické hmoty. Rostliny na tuto skutečnost reagují zvýšenou odolností proti chorobám a škůdcům. Na množství humusu v půdě je téměř přímo úměrně závislá kationtová výměnná kapacita, jejíž pomocí dochází k zadržování živin v půdním prostoru prostřednictvím pevného vázání kationu na negativně nabitě částice. Za negativní částice jsou v tomto případě považovány například jílové materiály nebo humusové látky. Negativně nabitě částice tak na sebe váží kationy, které pak díky této vazbě nemohou být vyplavovány do okolního prostředí nebo se pouze účastní reakcí, při kterých dochází k jejich výměně za kationy jiné. Při



experimentech se výměnná kationtová kapacita lineárně zvyšovala v závislosti na množství organické hmoty v půdě, která byla dodávána prostřednictvím hnojení kompostem. Vázání živin a prvků v půdě má další výhody také v oblasti globálního oteplování. Je-li například uhlík vázán v půdě ve formě humusu, nevyskytuje se pak v tak vysoké míře v ovzduší v podobě skleníkového plynu CO<sub>2</sub>.

### Půdní reakce

Hodnota pH kompostu by se měla pohybovat kolem neutrální reakce kompostu, tedy kolem hodnoty 7. Optimální rozsah hodnot pH kompostu je pak od 6,0 do 8,5. V případě absence provzdušňování kompostu a nedostatku vzdušného kyslíku může dojít k posunu k nižším hodnotám (Zera, 2007). U kompostu vyrobeného z biologického odpadu se tyto hodnoty obvykle pohybují v hodnotách od 7,5 – 7,8, což je mírně zásadité prostředí. V takových a neutrálních půdách většinou nedochází po aplikaci kompostu ke změně hodnoty pH, kdežto u půd se slabě kyselou a kyselou reakcí se tato hodnota zvyšuje. Aplikace organické hmoty ve formě kompostu může u půd alkalických hodnotu pH snížit v tom případě, že jsou půdy podmáčené nebo jde o půdy s promyvným vodním režimem. Dochází k mineralizaci organické složky, mineralizaci a nitrifikaci organického dusíku, vyluhování tohoto dusíku a oddělení organických ligandů a CO<sub>2</sub> v průběhu rozkladu (Erhart, Hartl, 2008). Pro optimální pH reakci kompostu je důležité jeho provzdušnění, obsah vody a dále s tím související obsah strukturního materiálu. Musíme tedy do kompostu dodávat takový materiál, který umožní vytvoření dostatečného množství pórů k zadržení vlhkosti na straně jedné a vzduchu, jako žádoucí prostředí pro aerobní bakterie, na straně druhé (Halberg et.al., 2006). Oxid vápenatý, aplikovaný prostřednictvím kompostu do půdy, je dostatečný pro udržení hodnoty pH a hnojení kompostem tak může zcela nahradit vápnění. Pro napravení kyselé reakce v půdě se obvykle používá mletý nebo dolomitický vápenec, saturační kaly, hašené vápno, pro úpravu alkalické reakce pak mletý sádrovec, síra nebo kyselina sírová. Z výše zmiňovaného tedy plyne, že vliv na změnu pH tedy mají hlavně chemické vlastnosti půdy, a to především vlhkost. Ta určuje intenzitu zvětrávání minerálního podílu nebo složení mikrofauny a mikroflóry.

## Prvky

Hodnocení agronomických hodnot kompostu je obtížnější než u minerálních hnojiv. Důvodem je složitost definice specifických parametrů kvality a určení přínosů ve vztahu k půdě. Významný vliv spočívá v obsahu organické hmoty, jejíž chemické složení je velice variabilní. Nejjednodušším způsobem hodnocení agronomických prostředí, ale i z agronomického hlediska. Kompost obsahuje dvě formy dusíku, organický a anorganický. Více než 85 – 90 % celkového obsahu dusíku v kompostu je obsaženo v organické formě jako složka humusových látek, které vznikají syntézou za pomoci volně žijících mikroorganismů nebo uvolněním z organických hnojiv. Takto vázaný dusík je těžko přístupnou živinou pro rostliny, využitelný může být až po zmineralizování. Zbývajících 10 - 15 % je ve formě anorganické, která je pro rostliny okamžitě k dispozici. Hodnocení dostupnosti dusíku z organické frakce je složitější a závisí na mnoha faktorech. Nejdůležitějším z nich je množství stabilních i nestabilních organických sloučenin a biologická úrodnost půdy. Podle všech parametrů je možné odhadnout, že z kompostu aplikovaného v prvním roce je k dispozici cca 30 – 35 % z celkového obsahu dusíku. Zbýající část dusíku, který může být mineralizovaný, je považována za dostupnou pro rostliny až v následujících dvou letech (Diaz a kol., 2007). Kompost vyrobený z biologického odpadu obsahuje průměrně 11,5 – 16,4 g dusíku v 1000 g sušiny. Jeho nebezpečnost spočívá v možnosti vyplavení do podzemních vod. Pokusy však prokazují, že ani při aplikaci kompostu na půdu několik po sobě jdoucích let nebyla způsobena eutrofizace vod. Současně také probíhá mineralizace daleko pomaleji a dusík je silněji vázán rostlinami. Nedochozí tak k jeho vyplavování z půdy a vyskytuje ve stabilnější formě.

Při dostatku obsaženého dusíku v půdě jsou rostliny zdravé, vykazují dobrý růst a barva jejich listů je tmavě zelená. Naopak nedostatek dusíku se pak projevuje žloutnutím listů, které usychají, rostlina zpomaluje nebo dokonce zcela zastavuje svůj růst a dochází ke snížení výnosů.

## Fosfor

Fosfor je základní živinou pro rostliny. Průměrné hodnoty obsahu se v kompostu pohybují okolo hodnot 2,5 až 20 g P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> v 1000 g sušiny. Obecně je kompost tímto množstvím schopen pokrýt potřebu uspokojení požadavků rostlin. Po aplikaci kompostu do půdy je fosfor distribuován v horní vrstvě (0 – 0,30 m) jako celkový fosfor, zatímco při potřebě vyšších dávek se aplikační vrstva zvyšuje na 0,45 m (Diaz a kol.,2007). Některé komposty mohou obsahovat příliš malé množství fosforu. Jsou to především ty, v jejichž surovinovém složení se objevuje vysoký podíl materiálu, jako je kůra ze stromů, štěpka nebo piliny. Tento stav je možné napravit přidáním superfosfátu nebo jiného vhodného hnojiva. Fosfor je důležitou složkou pro výživu rostlin. Má pozitivní vliv na růst kořenů a stavbu rostliny. Je snadno rozložitelný a je uvolňován ve formě orthofosforečnanu, který je snadno přístupný pro plodiny. Organická hmota neposkytuje pouze zdroj fosforu z mineralizace, ale rovněž může snížit kapacitu kyselých zemin fixováním fosforu (Biom, 2012). Nadbytek fosforu v podstatě nedochází, pokud ano, nese s sebou tato skutečnost příliš negativních vlivů. Nedostatek fosforu značí téměř zelenomodré zabarvení, na okrajích s nádechem do červena. Listy bez lesku usychají, rostlina není odolná chorobám a škůdcům, celkový růst je omezen a rostlina vypadá nevhledně.

## Draslík

Celkové množství draslíku vyskytujícího se v kompostu je závislé na druhu surovin použitých pro založení kompostu. Vyšší hodnoty draslíku obsahuje například kompost, kde jsou výchozími surovinami zelené rostliny. Jeho průměrné množství se pohybuje mezi hodnotami 8,5 a 12,5 g v 1000 g sušiny v kompostu. Draslík je vysoce rozpustný, proto s sebou jeho aplikace nese rizika vyplavování do podzemních vod, vyluhování nebo vyplavení srážkami. Pro rostliny je tedy vysoce dostupný. Kompost je ve většině případů charakterizován nízkou koncentrací draslíku, jeho přínos pro výživu rostlin je zanedbatelný (Diaz a kol.,2007). Draslík obsažený v půdách je důležitý pro zlepšení odolnosti rostlin proti chorobám a škůdcům nebo také z kvalitnění vodního režimu. Jeho nedostatek se projevuje stáčením okrajů listů, usycháním a padáním. Zvyšuje se také náchylnost rostlin.

## Stopové prvky

Existují další prvky, které jsou důležité, jak pro růst rostlin a život organismů v půdě, tak pro výživu člověka, který tyto prvky získává právě z vypěstovaných plodin. Jsou jimi například železo, zinek, měď, bor nebo mangan. Byly provedeny pokusy, při kterých se při aplikaci kompostu postupně zvyšovalo množství mědi obsažené v půdě i v rostlinách. Zároveň byly prokázány vyšší hodnoty u hnojení kompostem oproti klasickému konvenčnímu hnojení. Koncentrace zinku se při provádění pokusů nějak výrazně neměnily. ČSN 465735 uvádí limitní koncentrace vybraných rizikových látek, a to konkrétně pro výstupy obou skupiny. Třída 2 jsou takové produkty výroby, které se nepoužívají k aplikaci přímo na zemědělskou a lesní půdu a dále se dělí do tří tříd dle svého složení, vlastností a způsobu použití. Výrobky zařazené do 1. třídy lze používat na zeleň sportovních nebo rekreačních zařízení, výjimkou jsou pak venkovní hrací plochy. Druhá třída je určena pro údržbu městské zeleně, parků, rekultivace a úpravy terénu. Pro komposty podléhající registraci platí požadavky pro Třídu I.

## Struktura půdy po aplikaci kompostu

Struktura půdy ovlivňuje kromě mnoha jiných vlastností také výnos plodin. V ekologickém zemědělství, kdy nedostatky ve struktuře půdy nemohou být kompenzovány hnojením minerálními hnojivy, je tak dodržování dobré struktury půdy velmi významným faktorem. Struktura půdy bude ve zřetelně lepším stavu, dojde-li ke zvýšení obsahu organické hmoty. Zlepšením struktury je na mysli následující změna fyzikálních vlastností:

snižování objemové hmotnosti

zvýšení pórovitosti

zlepšení vodopropustnosti

zvýšení stability agregátů v půdě

Právě stabilita agregátů je téměř lineárně závislá právě na množství dodané organické hmoty v hnojivech a ochraňuje půdu před erozí nebo zhutňováním. Hnojením s využitím kompostu je dosaženo dlouhodobého efektu zvyšování stability půdních agregátů, přesto je vhodné je kombinovat s dalšími metodami, mezi které patří například zelené hnojení. Na struktuře půdy je závislá také pórovitost, vodopropustnost a ovzdušňování půdy. Výzkumy prokázaly, že při hnojení kompostem došlo ke značnému zvýšení pórovitosti. Důvodem je opět obsah organické hmoty v kompostu. Přesto se doporučuje jako metody kombinovat i s jinými alternativami úpravy pórovitosti půd. Vodopropustnost je chápána ve dvou rovinách. Jednak ji můžeme chápat jako schopnost půdy zadržet vodu, kterou mohou následně využívat rostliny a předcházet tím stresům ze sucha, ale také jako jímání celkového objemu půdní vody. Právě to je důležitým faktorem například při častých srážkách nebo umělém zavlažování. Podmínkou je, aby voda neodtékala z důvodu dodržení vodního režimu rostlin, ale ani by neměla být zcela zadržována.

## 4 Charakteristika studijního území

Oblast šetření této práce je vymezena katastrálním územím městské části Praha 10. Celkový rozsah řešeného území je 18,6 ha, kde největší podíl tvoří obytná zástavba. Městská část Praha 10 je součástí Hlavního města Prahy, kraj Praha. Ke dni 1. 1. 2015 zde žilo 108 993 obyvatel. Průměrný věk obyvatel je 41,2 let. Městská část se nachází v těsném sousedství centra hlavního města Prahy (6 km).

### 4.1 Situace v oblasti nakládání s bioodpadem na území městské části Praha 10

Nakládání s komunálním odpadem na území m. č. Praha 10 podléhá systému organizovanému Hlavním městem Praha (HMP). Biologicky rozložitelný odpad ze zahrad jsou fyzické osoby na území města dle vyhlášky o odpadech povinny vytríděný odkládat do označených speciálních sběrných nádob, pokud je sběr a svoz zajištěn, nebo na místa vyhláškou určená. Těmito místy se rozumí především sběrné dvory hlavního města a stabilní sběrné místo bioodpadu. Na území hlavního města je od roku 2004 realizován pilotní projekt, díky kterému je možné bioodpady třídít, a to i formou odkládání bioodpadu do přistavených velkokapacitních kontejnerů nebo svozem sběrných nádob určených pro bioodpad (v případě objednávky vlastníka domu). Výše uvedené možnosti mohou využívat i obyvatelé m. č. Praha 10. V dostupné vzdálenosti jsou k dispozici čtyři sběrné dvory HMP a přímo v Praze 10 je v provozu zmiňované stabilní sběrné místo bioodpadu. V jarním a podzimním období jsou ve vytipovaných lokalitách přistavovány velkokapacitní kontejnery. Z iniciativy radnice MČ Praha 10 byly v roce 2009 na území městské části nainstalovány dva komunitní kompostéry. Komunitní kompostování v Praze 10 bylo zahájeno z popudu odboru životního prostředí městského úřadu, jenž se připojil k žádosti o grant na jejich získání. Samotnou přípravu a realizaci grantové žádosti připravilo občanské sdružení Ekodomov, které se problematice kompostování dlouhodobě věnuje. Ekodomov, mimo jiné, zajistil i potřebné proškolení správců kompostérů a informační podporu celému projektu. Kompostéry byly nainstalovány ve vnitrobloku ulice Oblouková a na sídlišti Nučická. V roce 2010 byl v Obloukové ulici přidán ještě jeden kompostér a zcela nově pak kompostér přibyl ve vnitrobloku ulice

Kubánské náměstí. Na tomto místě a stejně tak v ulici Nučická byl přistaven v roce 2011 ještě jeden kompostér. V současné době je tedy k dispozici celkem šest kompostérů, na třech místech, které využívá přibližně 70 zapojených rodin.

V obci je také provozován sběr BRKO pomocí komposteinerů. Jedná se o službu sběru a svozu odpadu ze zahrad, údržby zeleně a z domácností. Na základě zvýšeného zájmu zajišťuje společnost Pražské služby od 8. 6. 2009 svoz bioodpadu z domácností již na celém území hlavního města Prahy. Podle Pražských služeb se v Praze ročně se vyprodukuje v průměru 27 kg BRKO na osobu. V roce 2007 tak při počtu 1 188 126 obyvatel Prahy teoreticky vzniklo přes 31 tisíc tun biologicky rozložitelného odpadu. Údaj 27 kg na osobu a rok zahrnuje obyvatele smíšené zástavby i sídlišť. Projekt v Dolních Chabrech ale ukázal, že v částech, kde mají obyvatelé vlastní zahrady, lze ročně vytvořit až 85 kg bioodpadu na osobu. Ve svozové oblasti, kterou bude zpravidla městská část, musí být alespoň 50 sběrných nádob, aby byla zajištěna efektivita,“ popisuje další podmínky svozu Tomáš Kolinger z Pražských služeb (Ekolist, 2009). Vývoj počtu nádob v šetřené oblasti je znázorněn v tabulce č. 6.

Tabulka 6: Vývoj počtu sběrných nádob na BRKO v šetřené oblasti a frekvence svozu (PS a.s., 2015)

		2009	2010	2011	2012	2013	2014
Nádoby BRKO objemu	na dle 120l	172	242	292	321	370	444
	240l	193	252	270	274	305	364
Celkem		365	494	562	595	675	808
Frekvence svozu		1*14 dní	1*14 dní	1*14 dní	1*14 dní	1*14 dní	1*14 dní

Při svozu BRKO v obci se užívá dvouetapové přepravy pomocí speciálního automobilu s nástavbou, který pracuje na systému rotačního lisování. BRKO se odváží na blízkou kompostárnu Malešice k deponaci a dále ke zpracování do kompostárny Modletice k dalšímu využití. Vozidlo majetkem dodavatele služeb, firmy Pražské služby.

#### Popis projektu komunitního kompostování Praha 10

Komunitní kompostování probíhá v komunitě, většinou několika rodin v sousedství, v činžovní či sídlištní zástavbě, tzn. v místech, kde nelze zvolit možnost domácího kompostování, je pak možné se zbavovat bioodpadů z domácností odpovědným způsobem. Kompostování probíhá na určeném místě v kompostéru. V případě tohoto projektu se jedná o speciální kompostér ve tvaru uzavíratelného boxu uzpůsobený k odkládání (a kompostování) bioodpadu i v zimních měsících. Komunita užívá kompostér pro vlastní potřebu k odkládání domácích bioodpadů, převážně zbytků ovoce či zeleniny, ale také např. čajových sáčků, kávové sedliny, skořápek, mastných ubrousků, květin apod. Jeden kompostér je pak dimenzován pro užívání přibližně dvaceti až třiceti domácností. Samotný kompostér (obr. č. 7) je možné charakterizovat jako skříň se dvěma sekcemi (boxy), do kterých se vkládají bioodpady. Jedna sekce se vždy zaplňuje a v druhé probíhá kompostování. Kompostéry jsou uzamykatelné a klíče mají k dispozici jednotliví uživatelé. Kompostér je opatřen tepelnou izolací kvůli minimalizaci vlivu venkovní teploty. Ve spodní části jsou boxy vybaveny perforovaným dnem z důvodu snadnějšího provětrávání, odtoku vody a kontaktu s podložím. Bioodpady se do kompostéru vkládají vrchem. Z čelní strany je kompostér opatřen dveřmi, které se otevírají při odebrání hotového kompostu. Správcem kompostéru je určena proškolená osoba, která zajišťuje informační podporu všem uživatelům, poskytuje jim klíče a kontroluje průběh kompostování. Kompostéry jsou umístovány na zastíněném místě a v docházkové vzdálenosti pro uživatele.



Obrázek 7: Komunitní kompostéry v ulicích Oblouková a Kubánské náměstí, v Praze 10 (MČ P10, 2011)



Vzniklý kompost slouží pro osobní potřebu kompostující komunity na údržbu společných zelených ploch nebo je využitelný při zahradnických úpravách příslušného pozemku veřejné zeleně. Kompostéry jsou vybaveny informačním podkladem (provozním řádem), ze kterého je zřejmé pro jaké druhy bioodpadu zařízení slouží a naopak, které bioodpady nelze do kompostéru vkládat. Na letáku je dále kontakt na správce kompostéru a základní údaje vztahující se k důvodům kompostování, realizaci projektu kompostování a vlastnictví zařízení a pozemku, na kterém je kompostér umístěn.

#### Využití BRKO

Separované BRKO z šetřené lokality je dále zpracováván pomocí kompostáren Malešice a Modletice. Postup přepravy a následného zpracování je popsán v následujícím textu.

#### Kompostárna Malešice

Tato provozovna umístěna v šetřené oblasti (lokalita Dřevčická) byla dříve využívána jako kompostárna, ale v současné době vzhledem k častým stížnostem obyvatel na zápach byl její provoz omezen na deponii BRKO, zemin a kompostů. Ke

svozu BRKO v oblasti je využito dvouetapové přepravy, při které samotné zpracování BRKO probíhá v kompostárně Modletice. Provozovatelem je firma Jena a.s., investorem stavby zařízení byl MHMP. Zařízení bylo vybudováno za účelem odkládání bioodpadu z údržby zeleně s projekční kapacitou 5 800 t ročně a 7 083 m<sup>2</sup> užité plochy.

#### Kompostárna Modletice

Nachází se v katastru obce Modletice a je provozována firmou Jena a.s. Vlastní provozovna je umístění 800m od obce. Ve zdejší kompostárně se bioodpad zpracovává, výstupním produktem je kvalitní kompost a substráty pro zahradnictví. Zpracování není průběžné, ale probíhá dávkově. Přivezený odpad se nadrtí v drtičce a pak se uloží na velkou hromadu, tzv. zakládku. Po dobu tří měsíců se neustále překopává speciálním strojem, který ze zakládky uvolňuje vzduch. Odvzdušňování je důležité pro to, aby se kompost nevznítil, neboť uvnitř zakládky je teplota kolem 70°C. Po třech měsících je kompost hotový a míchají se z něj substráty všeho druhu. Využívají se v sadovnictvích, zahradnictvích a okrasných školkách (Ekolist, 2012). Kompostárna Modletice zabírá celkovou plochu o výměře 2450 m<sup>2</sup>. Výrobní plocha je nekrytá a s kompostárnou bezprostředně sousedí. Při zpracování se zde využívá technologie kompostování v pásových hromadách. Zařízení je koncipováno na 1200 t hmoty za rok. Zkušební provoz byl zahájen v květnu 2004 a v červenci téhož roku byl změn již na trvalý. Výrobní plocha je vodohospodářsky zabezpečena a zatěsněna. Terén je zde navážkou upraven na kótu technické rekultivace bez svrchní rekultivační vrstvy. Stávající štěrkopískový násyp byl urovnán a přehutněn. Těsnění je provedeno ze svařované HDPE folie 1,0 mm, chráněné zespoda geotextilií Geoflitem 63/35 a svrchu geotextilií Geofiltex 63/25. Na svrchní textilií je položeno pískové lože o mocnosti 0,05 m a na ně silniční panely 3000/1200/215 mm. Ze dvou stran je plocha ohraničena betonovými svodidly s volným zámkem DELTA BLOCK 80. K bočním stěnám byl z vnější strany nahrnut štěrkopískový násyp. Celá plocha je spádována 2% k povrchovým příkopům a zásobní jímce, která je společná pro plochu kompostárny i pro plochu na výrobu Rekosolu. Výškové uspořádání neumožňuje zaplavení příjmové výrobní plochy z okolních ploch. Výroba Rekosolou a

kompostárna je provozována v režimu uzavřeného vodního hospodářství. Kapacita navržené jímky představuje 2,5 násobek objemu navrhovaného deště. Minimálně polovina zásobního prostoru je ponechána pro zachycení srážek (srážková voda bude operativně čerpána). Jímka je postavena v nepropustné podobě stejnou technologií jako příjmová výrobní plocha a kompostárna (kombinace folie HDPE 1,0 mm, geotextilie a silničních panelů) o kapacitě minimálně 94 m<sup>3</sup>. Zaústěny jsou do ní sběrné příkopy zatěsněných ploch. Zachycená voda se poté používá ke zkráplění vyráběných rekultivačních materiálů na hromadách a kompostů v době zrání. Čerpá se instalovanou čerpací stanicí (Jena a.s., 2012). Získaná surovina, která je převážně vyráběna z odpadů rostlinného původu se využívá při rekultivaci. Dále se používá při úpravách zeleně v přílehlých obcích. V březnu 2011 kompostárna získala registraci na produkci dle odstavce 1. přílohy 6. k vyhlášce. 241/2008 Sb. Takto produkováný certifikovaný kompost lze uvádět do oběhu formou prodeje. Využití jednotlivých skupin produkce kompostárny se liší podle vhodnosti následného využití uvedené v tabulce. č. 7.

#### 4.1.1 Materiály určené ke zpracování v kompostárně Modletice:

20 00 00 Komunální odpady (odpady z domácností, průmyslové, živnostenské včetně složek odděleného sběru).

20 02 00 Odpady ze zahrad a parků

20 02 01 BRKO

20 02 02 Zemina a kameny

S ostatními materiály, pokud se na provozovně vyskytnou, musí být naloženo v souladu se zákonem 185/2001 Sb. o odpadech.

Tabulka 7: Využitelné výstupy kompostovacích zařízení (vyhláška 341/2008 Sb.)

Výstup skupiny	Typ výrobku
Č.1	Kompost( organické hnojivo v souladu s požadavky zákony 156/1998
Č.2 třídy I,II,III	Rekultivační kompost
Č.3	Stabilizovaný bioodpad
Č 4	Biologicky nerozložitelné odpady

Technologie zpracování BRKO v kompostárně Modletice je má tyto kroky: BRKO je v případě potřeby na místě dotříděn a poté zakládán do pásových hromad pomocí traktorového nakladače CASE TH a poté provzdušňován překopávačem Wilibald. Pro zpracování odpadu ze zeleně je k dispozici štěpkovač SEKO SAM. 5 Dále jsou do zakládky přidávány urychlovače procesu. Při procesu tlení je kontrolována teplota a volnost, která je případně upravována dodáním vody z jámek. Výsledný kompost je dotřídění pomocí válcového síta Doppstadt (obr. č. 8). Technologické vybavení kompostárny odpovídá standardu, který uvádí (Plíva, Laurám, 2010). Podle této dvojice autorů se standardní vybavení kompostárny skládá z kolového traktoru s plazivou rychlostí, traktorového adaptéru pro manipulaci se zpracovávanými surovinami, válcového rotačního síta, traktorového překopávače kompostu a čelního nakladače.

Obrázek 8: Rotační síto (Sita, 2007)



## 5 Metodika

Diplomová práce byla zpracována formou studie. Informace a data o produkci nakládání s KO a BRKO v městské části Praha 10 byly získány od příslušného pracovníka městského úřadu Praha 10. Tento poskytl data o užívaných možnostech sběru BRKO na území MČ P 10. Konkrétní data o produkci odpadu šetřené oblasti poskytla pracovnice odboru Odpadové hospodářství Hlavního města Prahy. Část získaných údajů byla ještě kontrolně ověřena u společností zajišťující svoz směsného komunálního odpadu a biologicky rozložitelného komunálního odpadu., Data o množství BRKO odevzdaného občany přímo na zdejší kompostárně poskytl její provozovatel.

### 5.1 Sběr dat a jejich zpracování

Pro získání doplňujících dat bylo uskutečněno dotazníkové šetření za využití kvantitativního výzkumu. Při sběru dat byla použita forma ankety obsahující otázky uzavřeného typu a výčtové, které byly dle Majerové (2007) standardizovány a odpovědi respondentů mohou být snadno porovnávány a analyzovány. Šetření bylo zaměřeno především na možnosti komunitního kompostování, prováděného jak vlastními občany svépomocně, tak kompletně zajištěném svozovou společností. Šetření proběhlo v termínu od 30. ledna 2015 do 25. února 2015. Práce rovněž řeší plnění parametrů Směrnice 1999/31 ES, tato stanovuje cílová množství BRKO, která je možno ukládat na skládky v jednotlivých letech. Výpočet cílového množství BRKO dle směrnice 1999/31 ES ve sledované lokalitě byl proveden dle Metodického návodu Ministerstva životního prostředí vydaného MŽP v roce 2004. Na základě výše uvedeného metodického návodu bylo vyhodnoceno, zda šetřené území splňuje stanovené teoretické množství sládkovaného BRKO pro rok 2013. Cíle snižování množství BRKO ukládaných na skládky byly hodnoceny prostřednictvím indikátoru I-24, což je podíl BRKO ukládaného na skládky vzhledem ke srovnávací základně (rok 1995) v hmotnostních %.

Pro zhodnocení možného rozšíření a úprav provozovaného systému byla vypracována SWOT analýza a návrh možných řešení. SWOT analýza porovnává

silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby. Základem SWOT analýzy je klasifikace jednotlivých faktorů (Businessballs.com, 2012).

## 5.2 Totální rozklady a louhovací zkoušky

V další části práce byly provedeny analýzy celkového chemického složení kompostu vyrobeného z BRKO vyseparovaného pomocí komunitního kompostéru v šetřené oblasti a porovnány s kvalitou a vlastnostmi kompostu vyrobeného z BRKO dané oblasti, který byl zpracován v centrální kompostárně Modletice. Této analýze byl podroben vzorek kompostu z komunitního kompostéru umístěného v městské části Vršovice (ulice Oblouková) a vzorek produkce kompostárny Modletice ve fázi uvádění na trh prostřednictvím deponie Malešice (Dřevčická ulice). V případě odběru vzorku z komunitního kompostéru bylo vyčkáno do okamžiku vyprázdnění celého obsahu na přilehlý hospodářský pozemek. Vyprázdněním došlo k promísení veškeré hmoty kompostu a bylo tedy vyloučeno možné zkreslení výsledků rozboru odběrem pouze z jedné lokální části směsi. Druhý vzorek v pořadí byl odebrán za účelem ověření dat deklarovaných výrobcem a jako nutná součást vyhodnocení louhovací zkoušky. Oba vzorky byly zpracovány v laboratoři Enviromentální chemie ČZU. V případě produkce kompostárny byla použita data získaná z pravidelných rozborů provozovatele kompostárny Modletice, firmy Jena a.s. a tato ověřena v laboratorním zpracování vzorku na ČZU. Vlastní vzorky kompostu z kompostárny Modletice byly odebrány pracovníky Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského na žádost provozovatele kompostárny (Jena a.s.). Vzorky byly odebírány z kompostové zakládky v pravidelných vzdálenostech a v počtu 20 referenčních míst. Odebrané vzorky byly dále zpracovány v laboratořích Ústředního kontrolního a zkušebního ústavu zemědělského (ÚKZÚZ). Výsledky rozboru byly předány provozovateli kompostárny Modletice, který tyto poskytl ke zpracování v diplomové práci.

Vlastní metodika totálního rozkladu byla vypracována jako modifikace metody podle Tuncel et al. (2004). K odváženým 200 mg vzorku bylo přidáno 6ml HNO<sub>3</sub> a 2ml HF a po dobu 24h probíhalo vypařování při 150 °C. Tuhý zbytek po rozkladu byl

následně rozložen přidáním 2 ml  $\text{H}_2\text{O}_2$  a při 90 °C pomalu dále vypařován. Po dokončení procesu vypařování byly přidány 2 ml  $\text{HNO}_3$  a další 4 hodiny odpařováno při 90 °C skoro do sucha. Zbytek po odpaření se doplnil 10 ml  $\text{H}_2\text{O}$ , čímž byl získán celkový objem odpovídající původní hmotnosti pevné složky vzorku tj. 0,2g. Z koncového objemu se vzorky před naředěním měří na přístroji ICP OES (Agilent Technologies 700 series, USA), který stanoví obsahy jednotlivých prvků.

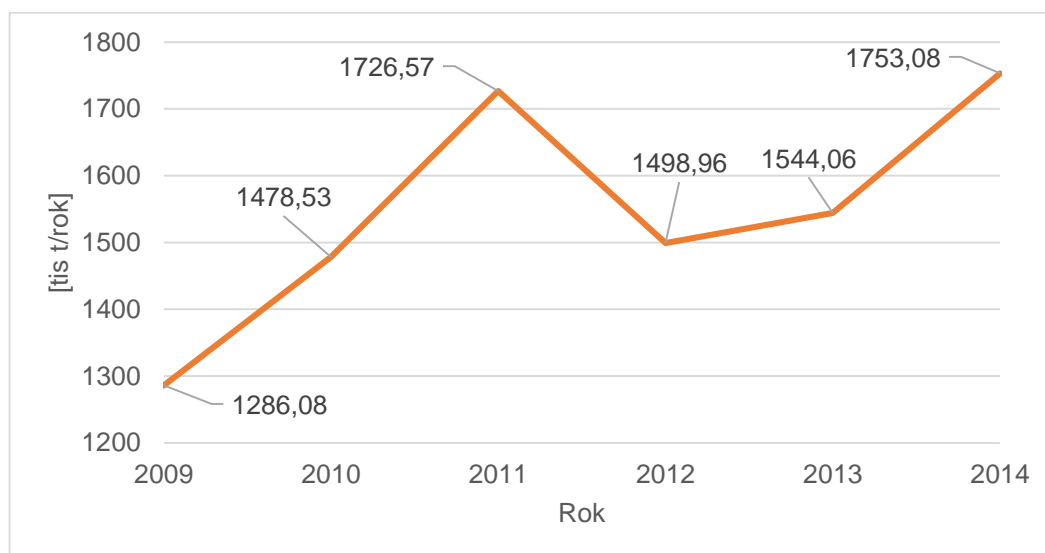
Louhovací zkoušky byly provedeny za účelem zjištění možné mobility vybraných kovů (kadmium, olovo, zinek, měď) po případné aplikaci vybraného typu kompostu v půdách. Louhovacími činidly byla zvolena  $\text{H}_2\text{O}$  za účelem získání vodorozpustných forem prvků a 0,01 M  $\text{CaCl}_2$  s cílem extrahovat biologicky dostupné formy kovů (Houba et al., 1996). Poslední zvolenou zkouškou byla extrakce pomocí 0,43 M  $\text{HNO}_3$ , která umožňuje uvolňování geochemicky aktivní formy kovů. Geochemicky aktivní procesy, usměřují migraci prvků v zemské kůře a plášti (Sklápěcí et al, 2003). Vzorky kompostu o hmotnosti 1g byly vloženy do zkumavek a doplněny 10ml louhovacího roztoku. Poměr pevné a kapalné fáze byl tedy 1:10. Takto vzniklé suspenze byly protřepány při 250 otáčkách za minutu pomocí míchadla po dobu 24 h. Kapalná fáze byla následně oddělena od pevné fáze centrifugací při 1046 RCF (g) po dobu 10 min a následnou filtrací přes 0,45  $\mu\text{m}$  nylon filtr (VWR). Koncentrace kovů v roztoku pak byly stanoveny pomocí ICP-OES. Louhovací experimenty z každého vzorku kompostu byly vykonány trojnásobně.

## 6 Výsledky

### 6.1 Objem produkce odpadu účastníků procesu odpadového hospodářství městské části Praha 10

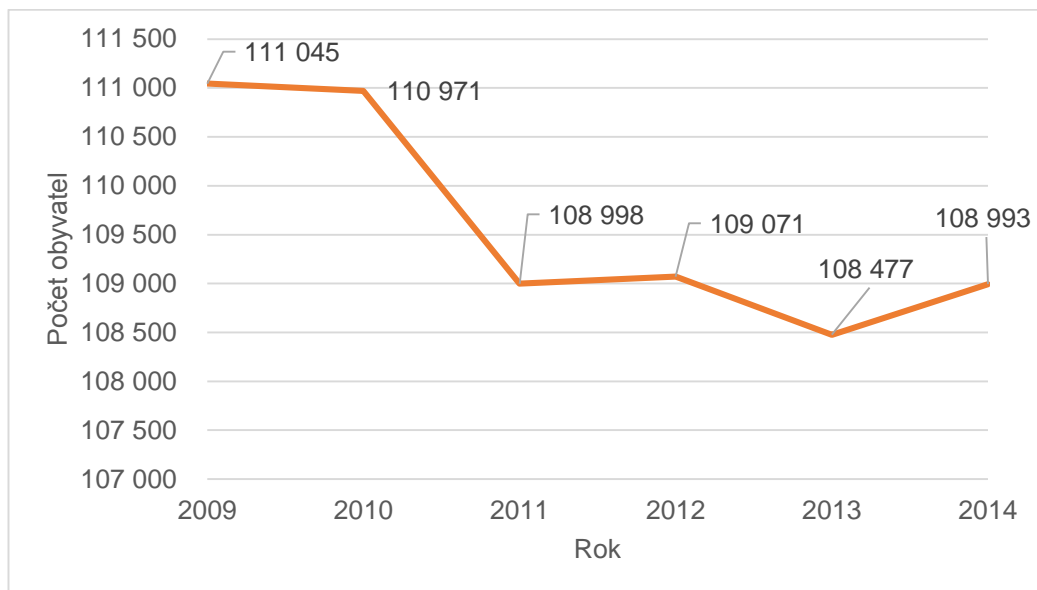
Za účelem zhodnocení stávajícího systému obce byly vypracovány grafy mapující základní ukazatele. Shromažďování odpadu vyprodukovaného na území obce, jeho odvoz a další zpracování je povinna zabezpečit obec. Tuto povinnost jí ukládá zákona č. 120/2000 a zákon o odpadech č. 185/2001 Sb.. Produkce separovaného BRKO (obr. č. 9) byla porovnávána s trendem měnícího se počtu obyvatel v období 2009-2014 (obr. č. 10). Počáteční období, kdy se grafy produkce a počtu obyvatel lokality rozcházejí je způsobeno postupným rozvojem sběru ve startovní fázi projektu (2009-2011). V letech 2012-2013 je patrný trend mírného růstu množství využitě složky, který je téměř identický s vývojem počtu obyvatel. Procentuální zastoupení obyvatel, kteří přispívají do systému odděleného sběru BRKO je tedy konstantní. Tento vývoj poukazuje na skutečnost, že i přes nesplnění procentuálního zastoupení BRKO v KO není v oblasti dostatečná kampaň pro rozšíření počtu účastníků projektu odděleného sběru BRKO.

Obrázek 9: Graf roční produkce BRKO Praha 10 (PS a.s., 2015)





Obrázek 10: Graf počtu obyvatel Prahy 10 (ČSU, 2015)



Dále byly porovnány jednotlivých možností sběru BRKO provozované v šetřené oblasti z hlediska produkce odpadu v kilogramech na osobu a rok. Získaná data byla zpracována v tabulce č. 8.

Tabulka 8: Produkce BRKO Praha 10 v letech 2009-2014 (MHMP, 2015)

Produkce a sběr bioodpadů na území Prahy 10 (2003-2014) [t]						
Katalogové číslo odpadu: 200 201						
Rok	BIO VOK* v ulicích	SD* na území MČ	Stabilní místo Malešice	MSD*	celkem	Meziroční změna produkce
2003	0,00	199,55	0,00	0,00	199,55	
2004	0,00	284,76	0,00	0,00	284,76	42,70 %
2005	0,00	424,24	166,00	0,00	590,24	107,28 %
2006	0,00	406,51	300,00	0,00	706,51	19,70 %
2007	0,00	498,19	254,00	0,00	752,19	6,47 %
2008	0,00	540,13	306,00	0,00	846,13	12,49 %
2009	0,00	557,26	501,00	227,82	1286,08	52,00 %
2010	29,22	647,47	527,00	274,84	1478,53	14,96 %
2011	57,94	709,73	669,00	289,89	1726,57	16,78 %
2012	72,61	505,82	626,00	294,53	1498,96	-13,18 %
2013	82,45	392,69	779,00	289,92	1544,06	3,01 %
2014	95,69	475,24	887,00	295,15	1753,08	13,54 %

\*Užité zkratky:

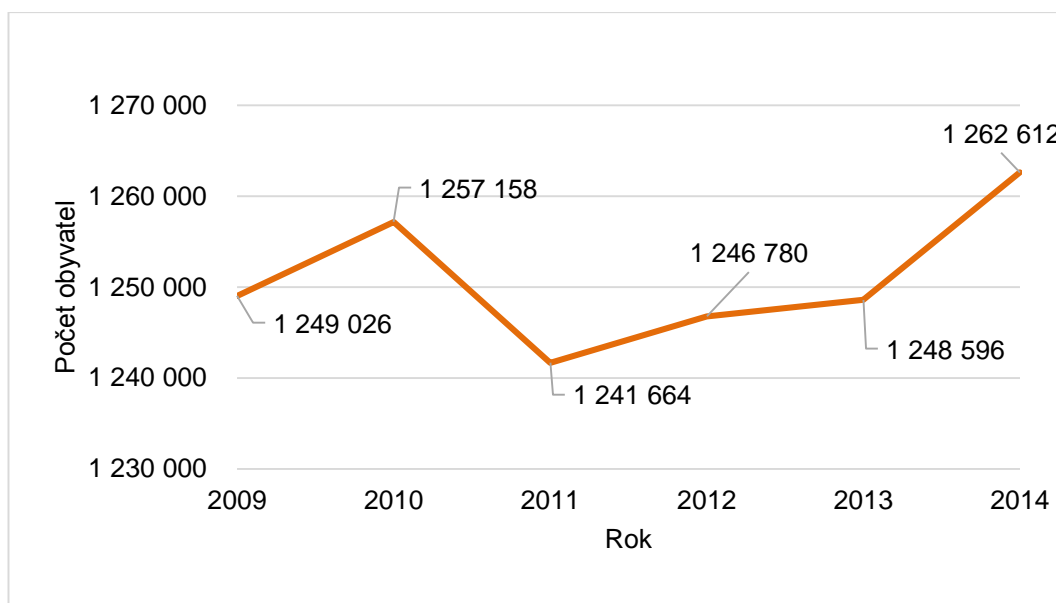
BIO VOK - velkoobjemové kontejnery na bioodpady

SD - sběrný dvůr

MSD - mimo sběrný dvůr

Nejvýnosnější se ukázal sběr pomocí stabilního sběrného místa Malešice (zpracování Modletice), který byl určen na základě výpočtu měrné produkce BRKO při počtu obyvatel v roce 2014. Za účelem porovnání vývoje obyvatel šetřené oblasti s trendem v celém kraji byl vypracován graf vývoje obyvatel Hlavního města Prahy (obr. č 11). Tento však nekoresponduje s vývojem počtu obyvatel v šetřené lokalitě a zjištěná data o produkci odpadu na obyvatele nelze aplikovat na ostatní městské části, jelikož hledisko počtu producentů patří mezi základní parametry.

Obrázek 11: Graf počtu obyvatel Hlavního města Prahy (ČSU, 2015)

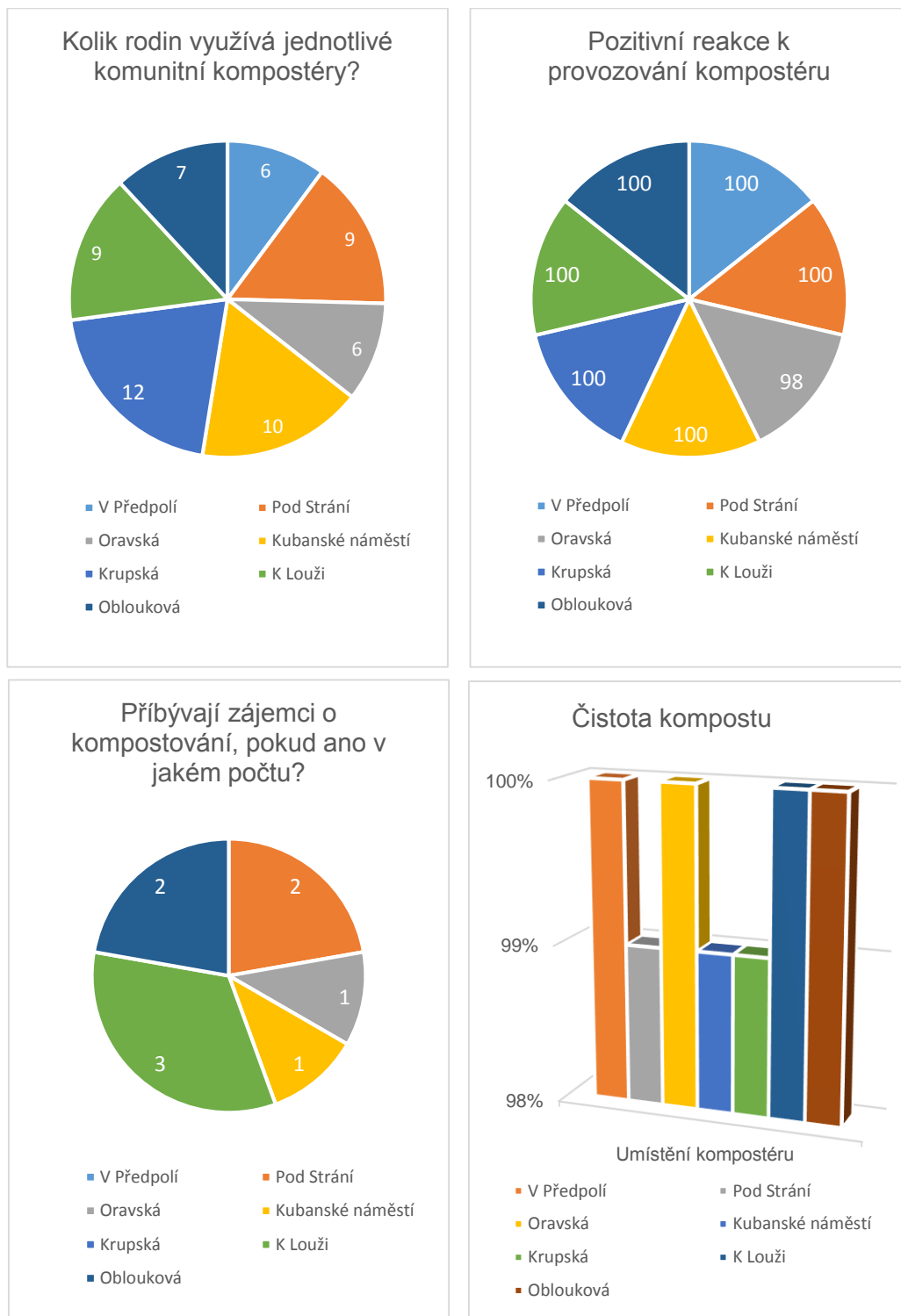


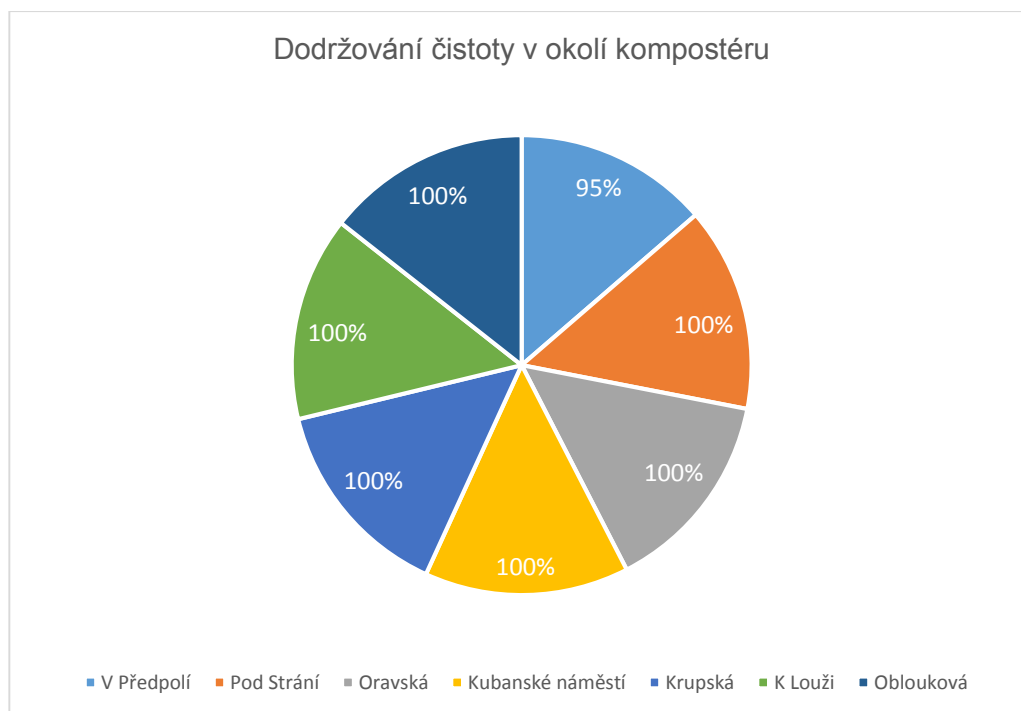
## 6.2 Výsledky dotazníkového šetření

Dotazníkové šetření bylo zaměřeno na část provozovaného systému separace BRKO, konkrétně sběr pomocí komunitních kompostérů. Hlavním cílem bylo popsání stávající provozních vlastností a zjištění podkladů pro možné zefektivnění systému. Vlastní se uskutečnilo od 30. ledna do 25. února 2015 mezi správci jednotlivých komunitních kompostérů v šetřené oblasti. Hlavním hlediskem toto výběru respondentů byla pravidelná komunikace s účastníky komunitního kompostování a přehledu o provozních situacích nádob. Šetření bylo zaměřeno především na

stávající stav problematiky komunitního kompostování prováděného občany. Jednotlivé otázky a odpovědi jsou znázorněny v grafech na obr. č. 12. Zásadní otázka směřovala na efektivitu systému, která byla sledována z pohledu počtu rodin využívajících jeden komunitní kompostér. Po zpracování dotazníků bylo zjištěno, že kompostér průměrně využívá devět rodin. Průzkum nezaznamenal žádné negativní reakce na provoz instalovaných kompostérů. Jedna z otázek směřovala i do oblasti získávání dalších účastníků systému a možného rozšíření počtu. Výsledky odhalily patrný malý přírůstek počtu účastníků, který se počet se podle informací správců nemění a má setrvalý stav. Uskutečněné propagační kampaň v lokálních tiskovinách a pomocí letáků do schránek nezajistila nárůst počtu uživatelů. V oblasti kvality produkce a přítomnosti cizích příměsí je situace velmi dobrá., jelikož čistota produkovaného kompostu dosahuje 100%. Dotazník se týkal také problematiky vzniku černých skládek a zjišťoval, zda instalace komunitních kompostérů nezpůsobila nárůst jejich počtu a zda byly zaznamenány útoky vandalů a tedy záměrná poškození nádob. Průzkumem bylo zjištěno, že útoky vandalů nebyly zaznamenány a černé skládky v okolí se také nevyskytly až na jediný případ odložení velkoobjemového odpadu

Obrázek 12: Výsledky dotazníkového průzkumu (vlastní šetření)





Z výše uvedených zjištění lze stanovit následující tvrzení: Komunitní kompostování má vzhledem ke kapacitám instalovaných zařízení velký prostor k růstu produkce, ale k naplnění tohoto cíle je nutné občany více motivovat. Letáková kampaň dle závěrů dotazníku nebyla efektivní, pokud by měla být opakována, je nutné změnit její podobu. Vlastní produkce kompostu a jeho konkrétní přínosy nejsou nosným prvkem mediálního obrazu a zde je velký prostor, jak lze posílit roli sběru BRKO v systému odpadového hospodářství. Dle zjištěných závěrů průzkumu je separace BRKO ukládaného ke zpracování do komunitních kompostérů velmi kvalitní a cizí příměsi se zde téměř nevyskytují. Takto získaný kompost nemá zásadní potenciál k získání negativních vlastností z cizích příměsí v podobě potenciálně toxických kovů a je tedy vhodný pro další aplikaci v půdách. Zároveň průzkum dokonale zmapoval současný stav, produkci a využití instalovaných komunitních kompostérů, jako jedné z možností sběru a následného využití BRKO odpadu vznikajícího na území obce Praha 10.

### 6.3 Hodnocení naplnění cílů stanovených Směrnicí 1999/31/ES pro BRKO, soulad s Plánem odpadového hospodářství kraje

Pro zhodnocení naplnění cílů Plánu odpadového hospodářství je použit indikátor I.24 z 2. skupiny doplňkových indikátorů stanovených k základním indikátorům OH ČR. Podle metodiky MŽP je srovnávací základna pro vyhodnocování plnění cíle stanovena výpočtem, kde počet obyvatel je tzv. středním stavem obyvatel MČ Praha 10 v roce 2013. Podle metodiky MŽP se hodnocení provádí pro odpady 200101, 200108, 20010, 200111, 200138, 200201, 200301, 200304, 200307. Přepočtem hmotnosti jednotlivých druhů odpadů pomocí koeficientů dle metodiky MŽP (tab. č.9) získáme srovnatelné množství BRKO uloženého na skládky.

Tabulka 9: Výpočet indikátoru I 24 (MŽP, 2012)

Kód odpadu	Název	Produkce	Množství	Koeficient	Množství
200101	Papír a	2 554,69	0	1	0
200201	BRKO	1 544,06	0	1	0
200301	Směsný	28 853	28 853	0,56	16 157,68
Celkový součet		32 951,75	28 853	2,56	16 157,68

Hodnoty uvedené v tabulce jsou vypočteny podle následujících výpočtových vzorců:

1) Množství BRKO v SKO uložené na skládky

$$28\,853 \cdot 0,56 = 16\,157,68 \text{ t/rok}$$

Limit – max. množství BRKO uloženého na skládky pro rok 2013 - je stanoven následovně:  $148 \cdot 0,5 = 74 \text{ kg/osobu/rok} \times 109\,477 \text{ obyv.} = 8\,101 \text{ t/rok}$

2) Přípustná množství BRKO k ukládání na skládky k roku 2013:

$$75 \times 109\,477 \times 0,001 = 8\,210 \text{ t/rok.}$$

$$16\,157,68$$

3) Indikátor I-24 = ----- = 1,964048

$$8\,210$$

4) Hodnocení: množství BRKO ukládaného na skládky, stanovené pro rok 2013 je překročeno o 96,4%.

Vyhodnocení plnění: Cílová hodnota stanovena POH pro rok 2013 byla 50 % a méně hmotnosti BRKO uloženého na skládky v roce 1995, respektive 74 kg/obyvatel/rok a méně. Této hodnoty dle výpočtu nebylo dosaženo a k plnění POH v šetřené oblasti nedochází. Plnění cíle POH bylo vyhodnoceno se závěrem – cíl nebyl splněn. Situace, kdy není plněn PHO je velmi zásadní. Tento byl schválen Evropskou komisí jako podklad OPŽP. Pokud tedy dochází k nesplnění požadavků v oblasti odpadového hospodářství hrozí ČR sankce od UE a pozastavení čerpání OPŽP. Kvůli infringementu platí Polsko, Slovensko i další členské země sankce. Pokuty jsou v takových případech vysoké, dosahují 9-16 tisíc eur denně a není o nich diskuse. Částku pokuty EK odřízne od rozpočtových peněz pro ČR. EK si je vědoma, že problém je v odpadech, takže sankce dopadne na finance pro odpady. (Manhart, 2015)

#### 6.4 SWOT analýza

V provedené SWOT analýze jsou klasifikovány jednotlivé faktory, jakými jsou: silné stránky, slabé stránky, příležitosti a hrozby. Jak vidíme z tabulky. č. 10, je zde hodně příležitostí, které by měla Městská část Praha 10 využít, a mohla tak zlepšit stávající situaci. Důležité ale je zaměřit se i na hrozby a jejich odstranění. Z provedené



SWOT analýzy vyplynulo, že silnou stránkou je technologická vybavenost a otevřenost radnice pro rozšiřování systému. Slabou stránkou je malý růst počtu účastníků systém separace BRKO.

Tabulka 10: SWOT analýza (vlastní šetření)

<p><b>SILNÉ STRÁNKY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- blízkost deponie Malešice</li> <li>- osvěta ve školách na Den Země</li> <li>- články o třídění odpadů ve Zpravodaji městské části</li> <li>- vedoucí odboru Veřejného prostranství a zeleně zapálený ekolog</li> <li>- rostoucí podíl tříděného odpadu</li> <li>- podpora domácího kompostování</li> </ul>	<p><b>SLABÉ STRÁNKY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- svoz prováděn od každého domu</li> <li>- propagační kampaně mají malou efektivitu v oblasti růstu počtu účastníků</li> <li>- malý počet komunitních zahrad, které by vyprodukovaný kompost využívaly přímo v místě vzniku.</li> <li>- malý růst počtu účastníků systému separace BRKO</li> </ul>
<p><b>PŘÍLEŽITOSTI</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- snaha občanů se více zapojovat</li> <li>- větší osvěta (častější programy ve školách, letáčky)</li> <li>- využívání dotací z fondů EU (Operační program Životního prostředí) za účelem rozšíření počtu komunitních kompostérů</li> </ul>	<p><b>HROZBY</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- stagnující objem třídění BRKO</li> <li>- systém komunitního kompostování postrádá finance na rozšíření počtu nádob a případnou výměnu po skončení životnosti stávajících</li> </ul>

## 6.5 Totální chemické rozklady zkoumaných vzorků kompostu

Cílem totálních rozkladů kompostu bylo získání celkového chemického složení vzorků a celkové obsahy potencionálně toxických kovů. Celkový obsah potencionálně toxických kovů má určitý vliv na rozpustnost a množství přístupných obsahů sledovaných kovů rostlinami, ale i jako ukazatel toxicity půd. Celkové obsahy jsou významné pro stanovení jejich zásoby v půdě s možností posouzení jejich potencionálního uvolnění. Toto stanovení má význam při zjišťování biochemické akumulace sledovaných kovů v půdě. Vlastní vzorky kompostů byly zpracovány v laboratoři enviromentální chemie ČZU. Totální rozklady vzorků byly nutným podkladem pro stanovení vylouhovatelności v závislosti a na celkovém množství látky ve vzorku. Fotodokumentace obou vzorků je na obr. č.13 a obr. č.14. Výsledky totálního rozkladu byly zpracovány grafické podoby. Kromě výsledků rozboru odebraných vzorků byly v grafu zobrazeny i výsledky rozboru vzorků kompostu ze zakládky Modletice. Tyto vzorky dvaceti referenčních míst pravidelně odebírá provozovatel zařízení a totální rozklady zpracoval ÚKZÚZ. Dále byla v grafu zobrazena i přípustná hladina obsahu kovů dle ČSN 465735. Hladina obsahů jednotlivých prvků byla podlimitní a korespondovala s výsledky rozborů od provozovatele kompostárny Modletice. Hodnoty obsahů byly velmi nízké a následně obtížně zobrazitelné. Za účelem přehledného zobrazení byl vypracován graf, který zobrazuje hodnotu obsahu v procentuálním vyjádření vůči maximální stanovené hladině. Výsledky rozboru v porovnání s limitními hodnotami jednotlivých prvků je uvedeno v grafu (obr. č. 15). V případě Cu, Cr, Hg a Pb se jejich obsah pohyboval na průměrné úrovni 20% stanovené normy, Zn a As byl obsažen v množství odpovídajícím 50% stanovené normy. Výrazná odchylka obsahu As byla zaznamenána u vzorku Vršovice. Hodnota obsahu As 11,25 mg/kg přesahuje stanovený limit obsahu o 11,25%. Vzorek kompostu z komunitního kompostéru Vršovice tedy nesplňuje kvalitativní požadavky ČSN 465735 na třídu I produkce. Třída II má stanovený maximální obsah Zn 20 mg/kg a svým využitím spadá do kategorie rekultivačních kompostů. Zvýšený obsah As by mohl být způsoben příměsí zeminy z kompostovaných květin a jejich kořenových balů. Zvýšený obsah As vykazují hlavně jílové sedimenty (Richter, 2004). Obsah Cd byl u obou vzorků srovnatelný a

dosahoval průměrné hodnoty 0,28 mg/kg.. Po aplikaci kompostu do půdy nehrozí zvýšení koncentrace Cd nad běžnou hodnotu v okolní půdě.

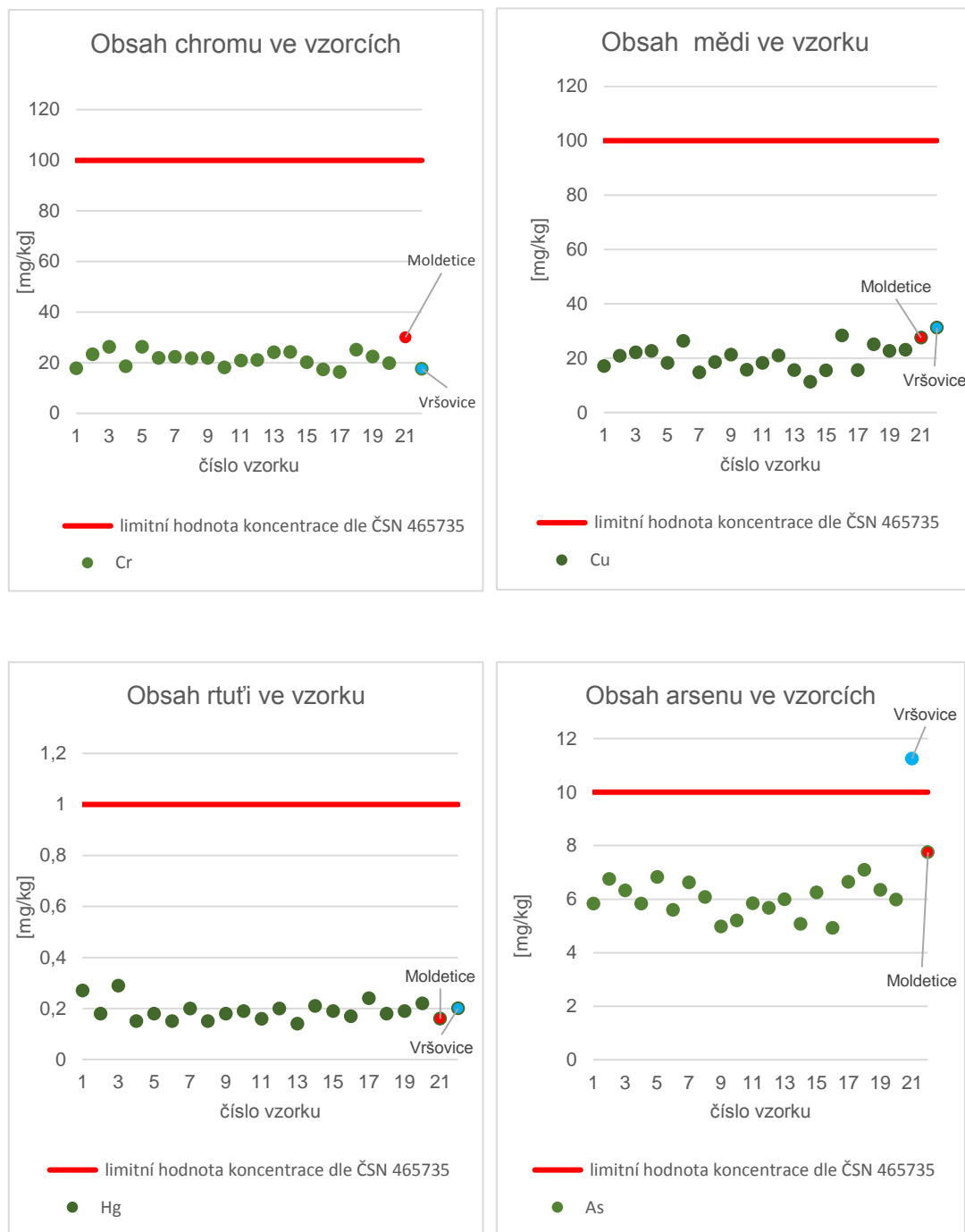
Obrázek 13: Vzorek kompostu z komunitního kompostéru Vršovice, ulice Oblouková (vlastní šetření)

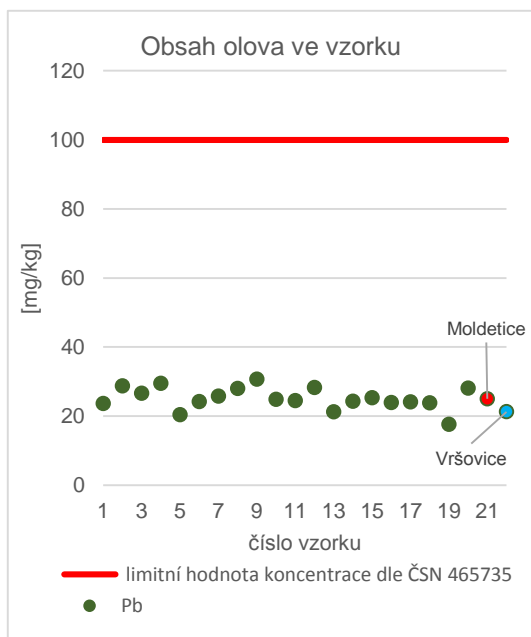
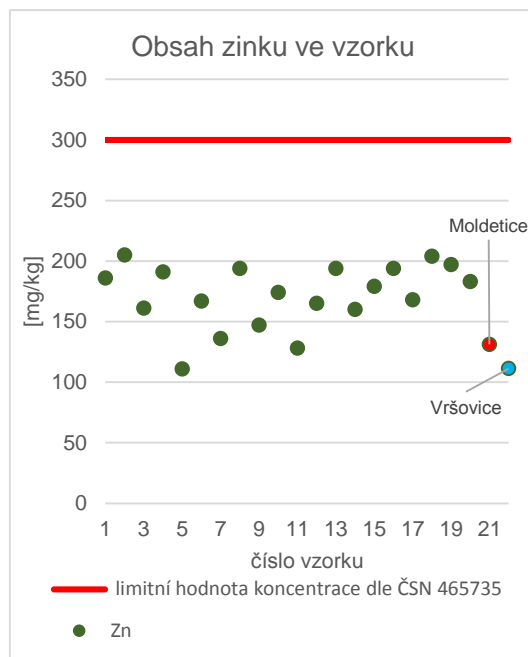
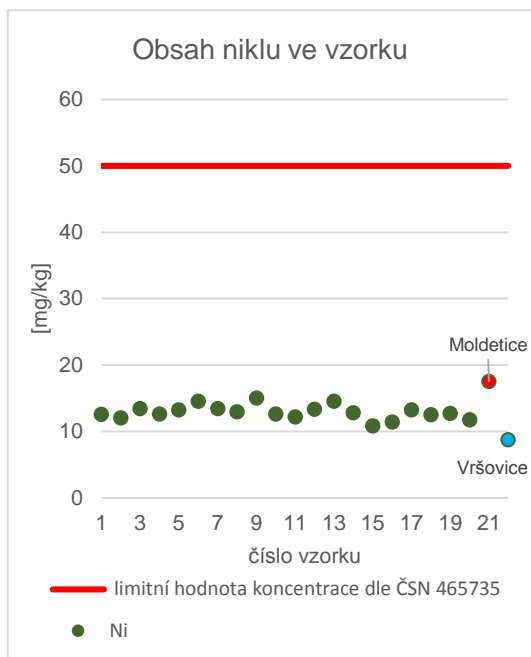


Obrázek 14: Vzorek kompostu z produkce kompostárny Modletice (vlastní šetření)



Obrázek 15: Rozbory vzorků kompostu zařízení Modletice a kompostér Vršovice (vlastní šetření)





Pořadí celkového obsahu kovu ve zkoumaných vzorcích bylo Zn > Cu > Pb > Cd. Tato klesající tendence v obsahu kovů koresponduje s výsledky rozboru kompostu z čistírenských kalů (Liu et al., 2007).

#### 6.6 Louhovací zkoušky za účelem stanovení mobility kovů ve vzorcích kompostu

Možnosti kompostu, který má být použit jako půdní přídatek vychází výhradně z celkového obsahu různých znečišťujících látek (Saveyn, Eder, 2014) a takto je i posuzován z hlediska legislativy. Pro stanovení toxických účinků v půdách je nutné tento sledovaný parametr posoudit i z hlediska možného uvolnění a mobility prvků. Je velmi důležité porozumět chování znečišťujících látek v odpadech, a to zejména množství znečišťujících látek, která je extrahovatelná za určitých podmínek prostředí. V rámci aplikace jednotlivých extrakčních činidel bylo sledováno uvolňování jednotlivých forem prvků s cílem kvantifikovat zastoupení ve vzorku. Získané výsledky mají pomoci při hodnocení možných rizik uplatňování kompostu za účelem zlepšování vlastnosti půdy. Zjištěné koncentrace byly zpracovány do tabulky a porovnány s mezními hodnotami z ČSN 465735 a to pouze v případě kovů (tab. č.11 ).

##### 6.6.1 Rozpustnost kovů ve vodě

Ve vodě rozpustná frakce z kovu, může být snadno biologicky dostupná v termofilní fázi vzhledem k rozkladu organických látek, které se redukuje ve finálním kompostu. V důsledku se změny další oxidační a aniontové podmínky v kompostech (Ahmed et al., 2007). Voda jako extrakční činidlo byla zvolena jako základní kapalina, běžně používaná ve standardních louhovacích testech. Z výsledků vyplývá, že nejvíce mobilními prvky v průběhu extrakce s H<sub>2</sub>O jsou As, Cu a Ni v uvedeném pořadí. As zaznamenal pohyblivost ve výši 12,5 %, hodnoty totálního obsahu, Cu dosáhla 6,65 %, Ni se uvolnil ve výši 5,78 % svého celkového obsahu. Všech nejvyšších hodnot bylo dosaženo u vzorku z kompostárny Modletice, jehož mobilita u některých vzorků byla až 10 násobná oproti vzorku Vršovice. Odlišná mobilita kovů ve vzorcích je způsobena složením kompostovaných zakládek a navazujícím druhem chemické vazby. Zbývající sledované prvky dosáhly vylouhování od 4,63% do 1,76 % svého obsahu v následujícím pořadí: Zn, Co, Cr, Pb. Opět vzorek Modletice byl výrazně

mobilnější, než-li vzorek z komunitního kompostéru Vršovice. Mezi sledovanými prvky bylo rovněž i Cd, které zůstalo zcela pevně vázané a nedošlo k jeho uvolnění.

#### 6.6.2 Biologicky dostupné kovy (extrakce s $\text{CaCl}_2$ )

Frakce kovu, uvolněná pomocí roztoku  $\text{CaCl}_2$  může být snadno biologicky dostupná pro rostliny z důvodu oxidačních a aniontových podmínek v kompostech (Ahmed et al., 2007).  $\text{CaCl}_2$  byla zvolena jako extrakční běžně používané ve standardních louhovacích testech. I v případě činidla  $\text{CaCl}_2$  vzorky z kompostárny Modletice uvolnily výrazně vyšší procento obsahu kovů, než-li vzorky z kompostéru Vršovice. Ze zkoumaných vzorků a prvků bylo dosaženo nejvyšší mobility u prvku As, který dosáhl 17,2%. Druhý nejvyšší hodnot uvolnění dosáhl Co 13,2%. Zbývající sledované prvky se vylouhování uvolnily v rozsahu od 8,3% do 0,34 % svého obsahu v následujícím pořadí: As, Pb, Co, Zn, Ni, Cu. Uvolnění Cd bylo zanedbatelné v intenzitě chyby měření.

#### 6.6.3 Extrakce s $\text{HNO}_3$

Za účelem simulace možného vzniku kyselých podmínek v životním prostředí, které jsou příčinou zvýšené mobility toxických kovů byla vykonána extrakční zkouška pomocí  $\text{HNO}_3$ . U obou vzorků se ze sledovaných kovů ve větším množství uvolnil As Pb a Cu. Mobilita As při užití činidla  $\text{H}_2\text{O}$  vzorku Modletice dosahovala průměrné hodnoty 1%, zatímco při užití roztoku  $\text{HNO}_3$  bylo dosaženo průměrné hodnoty uvolnění 99,6% celkového obsahu. V případě našich vzorků vykázal nejvyšší obsah Pb vzorek z komunitního kompostéru Vršovice při užití činidla  $\text{HNO}_3$ . Výsledná hodnota uvolněného obsahu Pb činila 98 % ( tab č. 10). Celkový obsah Pb ve vzorku Vršovice byl 25 mg/kg a tedy i při jeho plném uvolnění nedojde ke kontaminaci půdy. Zjištěná hodnota odpovídá průměrnému obsahu Pb v půdách (5-50 mg/kg; Richter, 2004). a aplikací tohoto kompostu nehrozí zvýšení celkového obsahu Pb v půdě. V případě Cu a činidla  $\text{HNO}_3$  došlo k uvolnění 53% celkového obsahu Cu ve vzorku. Oproti louhování vzorku pomocí  $\text{H}_2\text{O}$  se jedná o čtyřnásobný nárůst mobility, který uvolní nadpoloviční celkový obsah Cu, ovšem průměrný obsah Cu v městských

půdách činní 59,65mg/kg (Beneš, 1994), není tedy možné uvolněním Cu v uvedené koncentraci půdu kontaminovat.

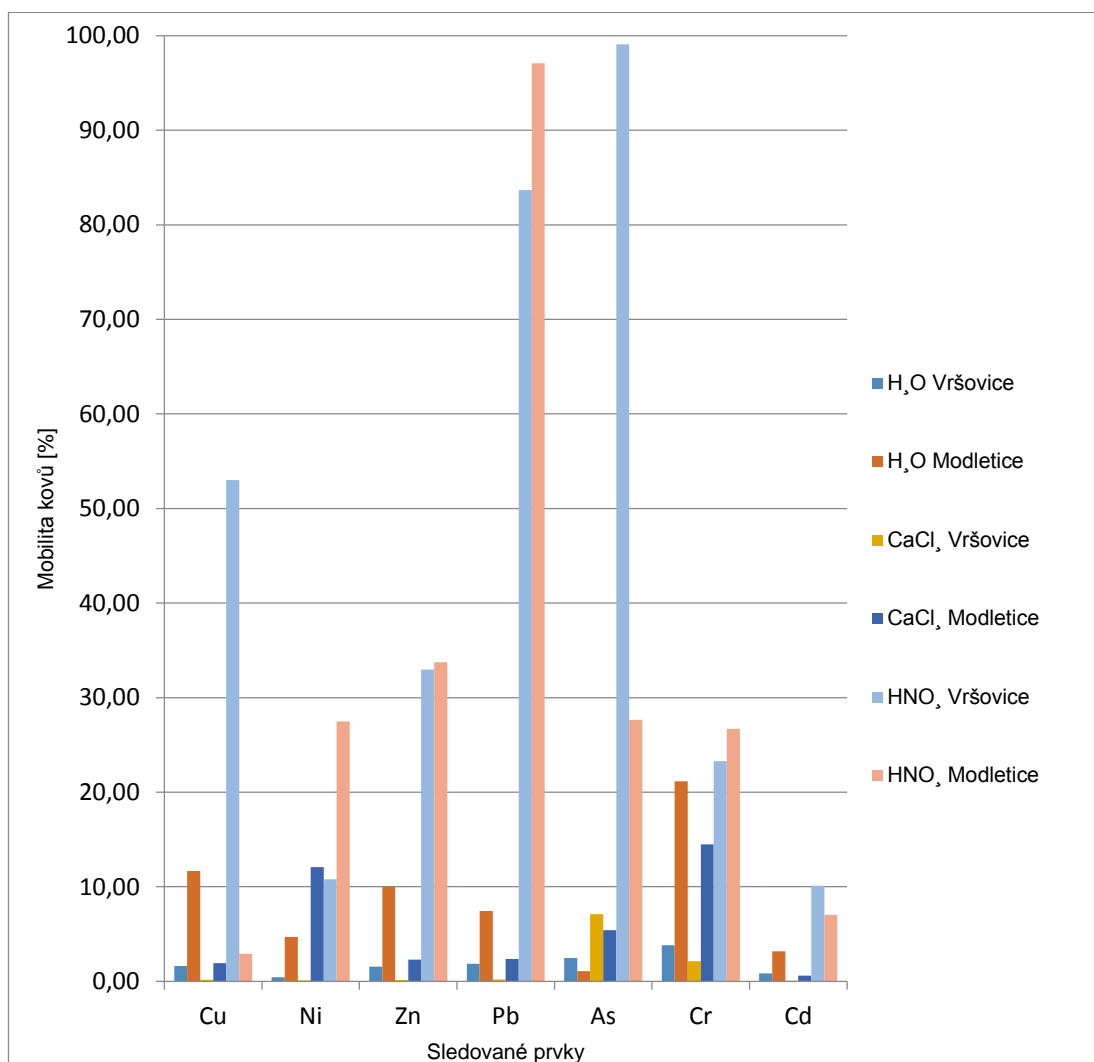
Tabulka 11: Vylouhované koncentrace kovů (vlastní měření)

		extrahované koncentrace v. jednotlivých činidlech [mg/kg]							
		Cu	Co	Ni	Zn	Pb	As	Cr	Cd
H <sub>2</sub> O	Modletice	3,65	0,12	0,88	8,26	0,23	1,85	0,06	0,00
	Vršovice	0,44	0,01	0,27	2,42	0,69	0,43	0,25	0,03
CaCl <sub>2</sub>	Modletice	0,60	0,30	0,20	2,61	1,15	1,27	0,11	0,01
	Vršovice	0,05	0,00	0,02	0,24	2,02	0,25	0,01	0,06
HNO <sub>3</sub>	Modletice	0,91	0,69	2,95	115,01	5,87	2,34	1,23	0,32
	Vršovice	14,5	0,54	5,77	109,82	24,77	2,62	3,04	0,25

Za účelem grafického znázornění výsledných koncentrací byl vyhotoven graf (obr. č.16), který zobrazuje dosažená procenta uvolnění celkové koncentrace sledovaných prvků a je schopen lépe zobrazit výsledné nízké hodnoty.



Obrázek 16: Zobrazení výsledků louhování dle použitých činidel a zobrazených prvků (vlastní šetření)



Obecně platí, že při zohlednění výsledků louhování pomocí H<sub>2</sub>O a CaCl<sub>2</sub>, jsou biologicky účinně dostupné koncentrace kovů ve skutečnosti velmi malé ve srovnání k celkovému množství kovu. Z výsledných hodnot měření je možné stanovit závěr, že veškeré použité vzorky z hlediska totálních obsahů splňují požadavky ČSN 465735 a uvolnění přítomných kovů ve významném procentu je možné pouze za použití kyseliny. Louhovací zkouška ověřila možné stavy prostředí po aplikaci kompostu do půdy a vzájemné reakce s okolním prostředím. V případě mědi se největší množství projevilo při použití kyseliny u vzorku z komunitního kompostu z Vršovic.

## 7 Diskuse

Ze zajištěných podkladů o množství vyprodukovaného BRKO vyplývá, že v šetřené lokalitě stávající systém odděleného sběru BRKO v letech 2012 a 2013 spíše stagnuje. V roce 2012 došlo ke snížení počtu obyvatel oblasti a tento i kopíroval pokles produkce BRKO. Z tohoto vývoje je zřejmé, že zdejší systém separace BRKO nezískává nové účastníky a je tedy potřeba hledat cesty k jeho zefektivnění cestou navýšení počtu účastníků. Kromě zintenzivnění letákové kampaně je zde možnost zvýšení motivace rozšířením počtu komunitních kompostérů přímo v donáškové vzdálenosti místa vzniku BRKO. Zákon 314/2006 tuto možnost připouští, ovšem jedná se o systém nákladný na vybudování, jelikož investiční náklady na pořízení a instalaci jednoho komunitního kompostéru činní 35 tis. Kč. Oproti tomu konvenční svoz generuje provozní náklady ve výši 1 500 Kč/rok. Do úvahy o výhodnosti systému je také nutné zahrnout snížení emisí a prašnosti v lokalitě z důvodu omezení přepravy BRKO. Motivaci účastníků systému lze podpořit zřizováním komunitních zahrad, na kterých budou mít obyvatelé možnost pěstovat plodiny a vytvářet tak tlak na vyšší produkci kompostu a tedy lepší separaci BRKO. Tato hypotéza byla vyslovena na základě propočtu plnění cílů Plánu odpadového hospodářství ČR. Výpočtem bylo zjištěno, že povolené množství BRKO v šetřené lokalitě je překračováno o 96% a tedy prostor k zlepšení separace BRKO je značný. Nabízí se otázka, zda by případnou podporou zřizování komunitních zahrad nebyl zajištěn přímý praktický příklad využití získaného kompostu, který by měl dostatečně motivační charakter pro obyvatele navazujícího bloku domů. Z mnoha studií je patrné, že pokud dojde k revitalizaci bezprostředního okolí s přispěním zde bydlících je tato podrobená častému dohledu a dobrovolné údržbě ze strany účastníků projektu. Některé otázky v rámci šetření, nebylo vhodné v dotazníku pokládat, protože pokud nemá dojít k odmítnutí nových věcí bez jejich seriózního zvážení je třeba místním lidem a představitelům obce dát dostatečný prostor ke zvážení a k diskusi. Na základě provedeného dotazníkového průzkumu lze vyslovit hypotézu, že pokud se producenti do systému separace BRKO zapojí, následné vytřídění BRKO provádí velmi kvalitně, což dokládá nízká přítomnost cizích příměsí v nádobách. Toto potvrzení bylo ověřeno při rozboru vzorku kompostu z hlediska přítomnosti kovů,

kteře by se mohly být z případných cizích příměsí v průběhu kompostování vylouhovány. Státní rostlinolékařský ústav zaznamenal výrazný pokles obsahu olova ve vzorcích trav, tento je přičítán, poklesu spotřeby olovnatých paliv. Není tedy racionálního důvodu k obavám o zvýšený obsah Pb v BRO z kosení vnitrobloků, který je kompostován pomocí komunitního kompostéru. Složení obsahu komunitního kompostéru tvoří ve větší míře zbytky kuchyňského BRKO, prostor ke kontaminaci olovem ze zpracování BRO z kosení vnitrobloků je tedy velmi malý. Aplikace průmyslových kompostů obecně zlepšuje půdní úrodnost, ale vyžaduje velkou opatrnost, protože mohou obsahovat významná množství kontaminantů, z nichž za nejzávažnější jsou považovány potencionálně toxické kovy. Kovy obsažené v průmyslových kompostech jsou do půdy vnášeny hlavně v organické formě a jejich pohyb v půdě je tedy mnohem různorodější, než ve formách anorganických. Riziko kontaminace kovy v uvedeném složení obsahu komunitních kompostérů by představovaly případné cizí příměsi, které by mohly být v rámci procesu kompostování vylouhovány do následného produktu. Toto riziko je však v případě komunitního kompostování s velkou disciplínou účastníků zjištěnou dotazníkem minimální. Obecně se předpokládá, že dostupnost kovů může být snížena zvýšením hodnoty pH. Dosud však nebyly objasněny vztahy mezi pH a transformací kovů v procesu kompostování. Různorodé výsledky mohou záviset na druhu surovin nebo různé délce zrání kompostu (Hanč et al., 2009).

Větší část separovaného BRKO z lokality byla průmyslově zpracována na kompost v kompostárně Modletice. Ze vzorků produkce této kompostárny lze konstatovat, že vyhověly stanoveným požadavkům ČSN 465735. Dle tvrzení Brookeese a Chandera (1995) je dosud k dispozici jen málo informací o vlivu mikrobiální biomasy, která je aktivní součástí organické hmoty v půdě, na mobilizační a imobilizační mechanismy pohybu prvků. Množství mikrobiální biomasy a její aktivita může být použita jako užitečný indikátor raných změn biologických vlastností půdy. Tvrzení Brookeese a Chandera že na kompost není možné pohlížet jako na zcela bezpečný materiál pro aplikaci v půdách. ovšem vyvrací současný stupeň poznání mechanismů mikrobiální biomasy (Guigue et.al., 2015). Z námi provedených celkových rozkladů vzorků bylo zjištěno, že vzorky obsahují potencionálně toxické

kovy v minimálních koncentracích, které nedosahují ani 40% hladiny stanovené ČSN 465735. Rovněž jejich možná mobilita v případě kontaktu s  $H_2O$ , či  $CaCl_2$  dosáhla maximálně 21 % u Cr. Obecně platí, že kovové frakce reagující na činidlo  $CaCl_2$  mohou být považovány za potenciálně dostupné pro příjem rostlin (Garcia et al., 1995). Nicméně, protože jejich celkové koncentrace byly nízké, tyto výsledky nemohou být vykládány jako účinná rizika. Pokud jde o mobilizovatelný nebo potenciálně biologicky dostupný kov je jeho procentní podíl, vztaženo na celkový obsah kovu, zanedbatelný. Zvýšených hodnot je dosahováno pouze v některých případech (kompostování KO), což naznačuje potenciální nebezpečí, které jsou spojeny s odpady aplikovanými do půdy, ve střednědobém / dlouhodobém horizontu, jako kontaminace (Haroun et al., 2007). Po aplikaci kompostu v kyselém prostředí, které nahradila  $HNO_3$ , došlo k vylouhování téměř 100 % As a Pb. Rozpustnost kovů se zvyšuje s rostoucí hodnotou kyselosti půdy. Obsah kovů se zvyšuje v průběhu kompostování a je způsoben ztrátou organických látek a v případě uzavřených systémů působením výluhu. Podobně Cai et al., (2007) pozorovali po 56 dnech kompostování kalů s rýžové slámy, zvyšující se obsah prvků, o 12-60% Cd, 8-17% pro Cu, 15-43% Pb a 14-44% pro Zn ve srovnání s obsahy v syrové hmotě. Snížení výsledného obsahu Cr, Cd, Pb, v menší míře Zn a Cu v průběhu kompostování při oddělení výluhu a pevné frakce konečného produktu, v důsledku vylouhování popsal (Haroun et al., 2007). Získané výsledky potvrzují hypotézu (Hoffmann et al, 1991) , který stanovil, že zahradní odpad je nejvýznamnějším zdrojem Pb v kompostovatelném odpadu, vzhledem k potenciální kontaminace atmosférické depozice. V případě Pb vykazuje vyšší hodnotu obsahu vzorek z kompostárny Modletice, kde převažuje BRO z údržby silniční zeleně, parků a sadů. V případě komunitního kompostéru ve směsi převažuje BRKO z domácností, tedy bez dlouhodobé expozice v kontaminovaném prostředí. Ostatní sledované kovy vykazují velmi nízké hodnoty, které poukazují na skutečnost, že v přírodě běžně dostupná  $H_2O$  není dostatečně silná, aby mohla uvolnit jejich vazby. Pokud by naše dílčí zjištění bylo dále zpracováno, je možné ověřit hypotézu Hanč et.al. ( 2011), který stanovil, že kompostování je vhodnou metodou pro snižování dispozic Cr, Ni a celkového As obsažených v biologickém odpadu pocházejícím z domácností. Pořadí

frakcí v jím sledovaném konečném kompostu bylo následující: zbytkové> oxidovatelný> výměnný> redukovatelné. Část Cr a Ni ve výměnných frakcích poklesla po kompostování více než 3- a 4-krát, resp. Snížení vodou extrahovatelná frakce Zn v průběhu kompostování také uvádí Castaldi et al. (2006) při kompostování pevného komunálního odpadu. Pro nízký obsah potencionálně toxických kovů v kompostu, který vznikl z domovního biologického odpadu, za uvážení výsledků možné mobility kovů lze finální produkt označit jako vhodný pro aplikaci do půdy za účelem dodání živin a zlepšení jejich vlastností.

Přes všechny tyto předpoklady, je důležité zdůraznit, že naše testy byly zaměřeny pouze na ekotoxikologické posouzení kompostu z BRKO odpadů, ale ve skutečnosti se mohou jeho vlastnosti díky přímému i nepřímému vlivu zpracovaných materiálů lišit. Dále je nutné zvážit druh půdy, na kterou byl aplikován, jelikož vliv vlastností půdy je významný. Domene et al. (2011) zdůraznil skutečnost, že typ půdy může významně ovlivnit mobilitu a biologickou dostupnost nečistot a nepřímo i jejich toxicitu. Nelze také opomenout fakt, že prostřednictvím působení fakturu času po aplikaci organického odpadu do půdy, mohou kontaminanty odpovědné za toxicitu podstoupit procesy, které mohou vést ke snížení jejich negativní účinků na organismy (např degradace, loužení, sekvestrace), nebo naopak, jejich biologická dostupnost může být zvýšena prostřednictvím mineralizace organické hmoty, která může zesílit jejich toxický účinek (Malara, Oleszczuk, 2013). Z tohoto důvodu by mělo být rovněž provedeno ekotoxikologické vyhodnocení organických odpadů jako celku, s použitím půdních organismů.

## 8 Závěr

Diplomová práce se zabývá problematikou produkce biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO), jejich sběrem, možnostmi nakládání s nimi a jejich využití na území městské části Praha 10. Dále vyhodnotila plnění Plánu odpadového hospodářství ČR. Hlavním cílem práce bylo vyhodnocení kvality kompostu, který byl vyroben z BRKO produkovaném na území MČ Praha 10 a posouzení vhodnosti jeho aplikace za účelem zlepšení vlastností půd. V šetřené oblasti jsou ke shromažďování a sběr BRKO využívány všechny dostupné způsoby tedy donáškový, pytlový, tak i odvozový. Dle provedeného výpočtu je způsobem shromažďování s největším produkcí BRKO na obyvatele odvozový, realizovaný prostřednictvím stabilního odběrného místa Malešice. Naopak způsobem sběru BRKO s nejmenší produkcí na obyvatele je využití velkoobjemových kontejnerů umístěných v ulicích. Tento výsledek je ovlivněn i druhem zástavby lokality, kde převládají bytové domy, vilové čtvrti rodinných domků jsou zde zastoupeny v minimální míře. Z vypracovaného grafu celkové produkce odpadů vyplývá, že množství BRKO odpadu v rozmezí let 2009 – 2013 kolísá a v letech 2011-2013 se projevuje setrvalý počet účastníků procesu. Je tedy nutné za účelem využití volných kapacit a splnění cílů POH zvýšit počet účastníků systému pomocí motivačních programů. Jako jedna z mála lokalit umístěných v HMP jsou zde ke sběru BRKO využívány i komunitní kompostéry. Praktickým průzkumem v terénu, zaměřeným na lokality, kde se jsou instalované tyto komunitní kompostéry, byla zaznamenána velká invence a přehled správců jednotlivých kompostérů. To vyplývá i z ochoty obyvatel vyplnit předložený dotazník. V rámci šetření bylo zjištěno, že účastníci komunitního kompostování jsou dobře obeznámeni s tím, co do bioodpadu patří. Důsledkem toho jednání je kvalitní kompost bez cizích příměsí. Dalším z cílů práce byla kontrola plnění plánu odpadového hospodářství, který stanovuje podíl BRKO v KO ve vazbě na skládkování. Směsný KO je z území HMP převážně likvidován využitím v provozu spalovny Zevo Malešice, která odpad energeticky využívá k výrobě elektrické energie a tepla. Takto získané teplo je dále využíváno v síti CZT HMP. Z celkové produkce KO HMP je skládkováno pouze 20%, tudíž za předpokladu přepočtu na hladinu 20% dojde ke splnění POH. Ovšem v případě, kdy je KO obsahující složky BRKO transportován k dalšímu využití

na spalovnu Malešice dochází k negativním jevům, jako je znehodnocení živin obsažených v její organické složce. Rovněž i samotné spalování je velmi neefektivní, jelikož přítomnost BRKO zvyšuje vlhkost KO a tento má následně menší výhřevnost, protože část jeho energie byla ve formě odparného tepla spotřebována na přeměnu vody v páru. Rezervy systému separace BRKO jsou však v množství uživatelů systému, jelikož jejich počet se nerozšiřuje i přes výpočtem zjištěnou nadlimitní přítomnost BRKO v KO převyšující stanovený limit o 96%. Zde je důležitá osvěta, která by spočívala v propagaci v místním tisku, a zároveň sledovala i praktickou stránku využití produkce kompostu přímo v místě vzniku. Ať již v podobě komunitních zahrad, tak i v podobě soutěží o nejlepší kompost (Miss kompost), či o truhlíkovou výzdobu oken. Soutěž o nejkrásnější truhlíkovou výzdobu oken, je dlouhodobě provozována v městské části Praha 6. Vlastní zpracování BRKO z lokality probíhá na kompostárně Modletice, kde byl i proveden odběr části vzorků. Základním předpokladem je, že na konci kompostování, se zvyšuje obsah kovů. Tento jev je způsoben poklesem množství organické hmoty v průběhu kompostovacího procesu. V důsledku uvolňování oxidu uhličitého a jiných těkavých molekul, tak, že se kovy stanou koncentrovanější (Hanc et al., 2009). Pokud jde o kovy, výsledky ukazují, že všechny analyzované organické látky obsahují velmi nízké koncentrace Cd, Cr, Cu, Ni, Pb a Zn. Stejného výsledku se dobral Alvarenga,(2015). Dále byla řešena kvalita produkce kompostu, který byl vyroben z produkce kompostainerů a kompostárny Modletice. Z rozboru vzorků bylo zjištěno, že průmyslově vyprodukovaný kompost plní limitní hodnoty pro aplikaci v půdách a dle dosažených parametrů se jedná o kompost první třídy, který je vhodný i pro aplikaci v zemědělsky využívaných půdách, tak i na úpravy ploch sportovních a rekreačních zařízení. Kompost vyprodukovaný v komunitním kompostéru Vršovice neplnil stanovené parametry třídy I. pouze ve zvýšeném obsahu As, který však byl pouze zvýšený a zařadil tento kompost do jakostní třídy II, která se využívá k rekultivačním pracím. Za účelem zjištění detailních informací o chemických reakcích vyprodukovaného kompostu, bylo nutné ještě doplnit do diplomové práce výsledky louhovacích zkoušek mobility obsažených kovů pro stanovení vlastností kompostu při aplikaci v různých prostředích. Tyto stanovily, že možná dostupnost obsažených potencionálně toxických kovů pro rostliny a vodní

zdroje je velmi omezená, pouze v případě aplikace kompostu do kyselých půd dochází u obou vzorků k uvolnění vazeb a následné mobilitě Pb, As, Zn. Ovšem celkový obsah uvedených prvků je podlimitní, tedy i po částečném uvolnění nemůže dojít ke kontaminaci půdy. Diplomová práce tedy zhodnotila jednotlivé způsoby separace a zpracování BRKO. Dále ověřila kvalitu produkce separovaného BRKO jako vyhovující a zpracovala výsledky chemické analýzy následného produktu separace, tj. kompostu z komunitního kompostéru a provozovny Modletice. Tyto získané a zpracované informace o kvalitě a možné aplikaci kompostu jako výsledku separace BRKO v oblasti jsou přínosné nejen pro obyvatele, ale i pro úřad městské části Praha 10.



## 9 Přehled literatury a použitých zdrojů

ADRIANO D., 2001: Trace elements in Terrestrial Environments biochemistry, Bioavailability and Risks of Metals, Springer, 867 str., DC 2001

AHMED et al., 2007, Ahmed, A. Idris, SRS Omar, Fyzikálně-chemické charakterizace kompostu průmyslové koželužny kalů, J. Eng. Sci. Technol., 2 (1) (2007), str. 81 až 94

ALTMANN V., 2003: Metodický postup a celková produkce smíšeného komunálního odpadu v regionu. In: Zemědělská a zahradnická technika z hlediska environmentální politiky státu, MZLU Brno, str 184-187, Brno, 2003

ALTMANN A KOL., 2010: ALTMANN V., VACULÍK P., MIMRA M., 2010: Technika pro zpracování odpadu, ČZU Praha 2010 ISBN 978-80-213-2022-2

ALTMANN V., 2006: Modelové řešení technologií sběru a svozu komunálního odpadu z obcí. Doktorská disertační práce. Praha, ČZU

ALVARENGA, 2015.: Ecotoxicological assessment of the potential impact on soil porewater, surface and groundwater from the use of organic wastes as soil amendments, 23 September 2015, Agronomia, Universidade de Lisboa, Tapada da Ajuda, 1349-017 Lisboa, Portugal

BENEŠ L., 1994: Obsahy a bilance prvků ve sférách životního prostředí. Část 2, Vstupy prvků do půd zvětráváním hornin, atmosférickými spady, aplikací hnojiv a ostatních surovin ve srovnání s výstupy erozní činností, podzemními vodami a sklizní zemědělských plodin. Praha: Agrospoj, 1994. 159 s. ISBN 80-7084-090-0

BENEŠOVÁ L., 2001: Intenzifikace sběru, třídění a dopravy komunálních odpadů. Předběžné výsledky množství a skladby, výzkumný projekt MŽP

BERROW ML., BURRDGE JC, 1977: Trace element levels in soils: effects of sewage sludge. In: Inorganic pollution and agriculture: proceedings of a conference organised by the Agricultural Development and Advisory Service, April 1977. London: HMSO. 159–183

BIOM, 2012: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompost-je-energie-vcrcena-do-pudy>

BIOM, 2012: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/integrovaný-system-nakladani-s-odpady-mechanicko-biologicka-uprava-a-dynamicky-respiracni-index-j>

BIOM, 2012: Komunální odpad na skládce (biom Komunální odpad na skládce je především zdrojem energie *Autor: Radovan Šejvl*)

BRANDL, 2005: Brandl H.D. Heavy metals in the environmental. Volume 6, London, Ecservier LTD, ISBN 0 – 12 – 088381 – 3.

CASTALDI et.al. 2006: Castaldi, S., Ermice, A., Strumia, S.: Fluxes of N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> from soils of savannas and seasonally-dry ecosystems, J. Biogeogr., 2006.

CROY 2012: <http://www.croy.cz/mb-nakladni-vozidla/svoz-komunalniho-odpadu/>

ČSN 465735: Průmyslové komposty

ČSU 2011: Produkce, využití a odstranění odpadů v roce 2010 (30.09.2011)

ČSU 2012: Nakládání s odpady a produkce druhotných surovin (tisková zpráva a prezentace, 11.10.2012)

[http://www.czso.cz/csu/tz.nsf/i/nakladani\\_s\\_odpady\\_a\\_produkce\\_druhotnych\\_surovin20121011](http://www.czso.cz/csu/tz.nsf/i/nakladani_s_odpady_a_produkce_druhotnych_surovin20121011)

ČSU, 2014 Produkce, využití a odstranění odpadů v roce 2013  
<http://www.czso.cz/csu/2014edicniplan.nsf/p/280020-14>

DIAZ et. al. 2007 Diaz B., Luis F., De Bertoldi M., Bidlingmaier W, 2007: Compost science and technology. Elsevier, 2007. ISBN: 0080439608, 9780080439600.

DOMENE et al., 2011: X. Domene, S. Chelinho, P. Campana, T. Natal-da-Luz, J.M. Alcañiz, P. Andrés, J. Römbke, J.P. Sousa, Influence of soil properties on the performance of *Folsomia candida*: implications for its use in soil ecotoxicological testing, Environ. Toxicol. Chem., 30 (2011), pp. 1497–1505

EKOLIST, 2009: <http://ekolist.cz/cz/zelena-domacnost/rady-a-navody/prazane-mohou-tridit-biodpad-drive-nez-bude-legislativa>

EKO-KOM, 2007: tisková zpráva, 26. 3. 2007

ENVIGROUP 2008: Příprava nového zákona o odpadech, Jarmila Šťastná 2008  
<http://www.envigroup.cz/www/aktuality/aktualita-357.html>

ENVIS 2015: <http://envis.praha-mesto.cz/%28sypgmc55k4z1kj55mtfyn145%29/-zdroj.aspx?typ=2&Id=80082&sh=-1215405701>

ENVIWEB, 2012 : Co je a co není biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven  
<http://www.enviweb.cz/clanek/biodpad/91086/co-je-a-co-neni-biologicky-rozlozitelny-odpad-z-kuchyni-a-stravoven> 2.5-2012

EPSTEIN, E., 1997.: The Science of Composting. Technomic Publishing Co INC, Pennsylvania, ISBN No. 1-56676-478-5.

ERHART, E., HARTL, W., 2008: Využití kompostu v ekologickém zemědělství (Přeloženo z Rakouského originálu) Náměšť nad Oslavou: ZERA Zemědělská a ekologická regionální agentura, a.s., 2008. ISBN:08-903548-8-2.

EUROCHEM, 2009: Povinnosti původců odpadů, <http://www.eurochem.cz/index.php?LA=CS&MN=Povinnosti+p%F9vodc%F9+odpad%F9&ProdID=000216066EA1DE860002E8C5&DT=4097&TXTID=2063> cit 14.5.2009

EVROPSKÁ KOMISE 2002: Strategie implementace a investic pro směrnice Evropské komise o odpadech: Pololetní zpráva - Svazek 2 Projekt Phare číslo CZ9811-02-02

EVROPSKÁ KOMISE 2008.: Green Paper on the management of bio-waste in the European Union. Brusel. On line: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=CELEX:52008dc0811:EN:NOT>, cit 20.11.2011

EVROPSKÁ UNIE: Směrnice EÚ 1999/31/EC

FAUN 2012: <http://www.faun.com/en/home/waste-collection-vehicles/rear-loaders/variopress-ii.html>

FAUN 2012: <http://www.faun.com/en/home/waste-collection-vehicles/rear-loaders/powerpress-i.html>

GARCIA et al., 1995: Garcia, JL Moreno, T. Hernfindez, F. Costa, Vliv kompostování na znečištění čistírenských kalů těžkými kovy, *Bioresour. Technol.*, 53 (1995), str. 13 – 19

GUIGUE et.al., 2015: J. Guigue, J. Lévêque, O. Mathieu, P. Schmitt-Kopplin, M. Lucio, D. Arrouays, C. Jolivet, S. Dequiedt, N. Chemidlin Prévost-Bouré, L. Ranjard, Water-extractable organic matter linked to soil physico-chemistry and microbiology at the regional scale, *Soil Biology and Biochemistry*, Volume 84, May 2015, Pages 158-167

HALBERG et.al., 2006: Halberg N., Alroe H.F., Knudsen M.R., Kristensen E.S., 2006, *Global Development of Organic Agriculture: Challenges and Prospects*. CABI, 2006. ISBN: 1845930789, 9781845930783

HANČ et.al., 2008: Hanč A., Tlustoš P., Száková J., Habart J., Gondek K.: *Plant Soil Environ.* 54 , 7 ČZU Praha (2008)

HANČ et al., 2009, oA. Hanč, P. Tlustoš, J. Szakova, J. Habart, Changes in cadmium mobility during composting and after soil application, *Waste Manage.*, 29 (2009), pp. 2282–2288

HANČ et.al, 2011: Aleš Hanc, Jiřina Száková, Pavel Švehla, Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, Česká zemědělská univerzita v Praze, Kamýcká 129, 165 21 Praha 6, Česká republika, Obdržel 04.08.2011

HRUŠKA B., BAJER. Geochemie Cr, Ni a Zn v Českých a slovenských hadcových horninách a jejich zvětralinách a půdách. Mendlova zemědělská a lesnická univerzita v Brně.p. 1–68.

HYKYŠOVÁ S, 2008: Kralupy čisté město: [ekolist.cz](http://ekolist.cz), online, <http://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/kralupy-ciste-mesto?sel-ids=1>, cit 2.4.2012

KAFKA Z., 1999: Základy ochrany životního prostředí- Část odpady Ústav chemie ochrany prostředí Vysoká škola chemicko-technologická v Praze

KALINA M., 1999: Kompostování a péče o půdu. Grada Publishing spol. s r. o., Praha: 112 s.

KATALOG ODPADŮ, 2002: Zařazení odpadů podle vyhlášky č. 381/2001 Sb.,

KOMPOSTUJ, 2012: [www.kompostuj.cz](http://www.kompostuj.cz)

KOTOULOVÁ Z., 2002: BRKO - Metodika pro zpracování POH krajů

KOTOULOVÁ Z., VÁŇA J, 2001: Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem. Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem. Praha, 69s., ISBN 80-7212-201-0.

KŘENEK V, 1999: Energetické využití a zneškodňování odpadů

LOPEZ-MOSQUERA ME, MOIRON C., CARRAL E., 2000: Využití mléčných průmyslových kalů jako hnojivo pro louky a pastviny v severozápadního Španělska. Conserv Recycl Madrid, 2000; 30: 95-109

MALARA, OLESZCZUK, 2013: A. Malara, P. Oleszczuk, Použití baterii biotestů pro stanovení výluhů toxicity vůči bakteriím a bezobratlých z kalů, ve znění pozdějších předpisů půdě, *Environ. Sci. Pollut. Res.* 20 (2013), str. 3435 - 3446

MHMP, 2015: Souhrnné informace o nakládání s odpady v hl.m. Praze, [http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/odpady/souhrnne\\_informace/index.html](http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/odpady/souhrnne_informace/index.html)

MHMP, 2014: Indikátory udržitelného rozvoje hl. m. Prahy – Odpady, [http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/ekologicka\\_vychova\\_ma21/informacni\\_system\\_o\\_zp/indikatory\\_uzrzelneho\\_rozvoje/indikatory\\_UR\\_HMP\\_odpady.html](http://portalzp.praha.eu/jnp/cz/ekologicka_vychova_ma21/informacni_system_o_zp/indikatory_uzrzelneho_rozvoje/indikatory_UR_HMP_odpady.html)

MOŇOK B., 2001: Kompostovanie – príručka o zbere a zhodnocovaní biologických odpadov. Priatel'ia Země SPZ, Košice, ISBN 80-86884-07-0.

MŽP 2002: Metodický pokyn pro zařazování odpadů na zelený seznam  
<http://www.mzp.cz/osv/edice.nsf/1443A481ED374D85C1256FC800392223/%24file/02.pdf>

MŽP 2006: Zpráva o životním prostředí České republiky, v roce 2005, Ministerstvo životního prostředí, Praha

MŽP 2008: Stihneme BRKO?. Odpady 2008/10: 11.

MŽP2010: [http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/rozvoj\\_odpadoveho\\_hospodarstvi/\\$FILE/MZP\\_OODP-Rozsirene\\_teze\\_FINAL-101026.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/rozvoj_odpadoveho_hospodarstvi/$FILE/MZP_OODP-Rozsirene_teze_FINAL-101026.pdf)

MŽP 2012: Metodický návod odboru odpadů Ministerstva životního prostředí pro zpracování Plánu odpadového hospodářství původce – obce

MŽP, 2015 Plán odpadového hospodářství 2015-2024,  
[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh\\_cr\\_prislusne\\_dokumenty/\\$FILE/OODP-POH\\_CR\\_2015\\_2024\\_schvalena\\_verze\\_20150113.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/poh_cr_prislusne_dokumenty/$FILE/OODP-POH_CR_2015_2024_schvalena_verze_20150113.pdf)

NĚMEC J. 2006: Ekonomika sběru bioodpadů za pomoci Compostainerů, BIOM.CZ [on line. 2005-02-07[cit 2006-02-22] dostupné na [www>http://biom.cz/index.html?x=221795>ISSN>1801-2655](http://www.biom.cz):

PLANETA 2005: Odborný časopis pro životní prostředí Ročník XII, číslo 11/2005

PLÍVA, P., 2009: Kompostování v pásových hromadách na volné ploše. 1. Praha:

PLÍVA, P., JELÍNEK, A., 1996: Technické prostředky používané při finalizaci v kompostovacích linkách. Sborník referátů Ústavu zemědělské techniky Zahradnické fakulty MZLU v Brně, s. 39-51.

PROFI PRESS s.r.o., 132 s., ISBN 978-80-86726.32-8.

PLÍVA, P., LAURÁM S., 2010: Kompostování biomasy v místě jejího vzniku  
Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha 6, říjen 2010

PRO EUROPE, 2014 Environmental education as a means of promoting  
European integration Brussels, Belgium

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UK 2002: Program Vědy a výzkumu VaV/720/2/00  
Intenzifikace sběru, dopravy a třídění komunálního odpadu, Přírodovědecká  
fakulta UK, Praha, listopad 2002

PŘÍRODOVĚDECKÁ FAKULTA UK 2002: Ukazatele skladby domovního odpadu,  
Projekt VaV/720/2/00 Intenzifikace sběru, dopravy a třídění komunálního odpadu,  
Praha, listopad 2002

RICHTER R., 2004: Živný režim půd, Ústav agrochemie a výživy rostlin, MZLU v  
Brně, 28.1.2004

SAVEYN, EDER, 2014: Bert Saveyn, Fabian Eder, Heavy metals in source-separated  
compost and digestates Waste Management, Volume 34, Issue 5, May 2014, Pages  
867-874

SITA 2012: <http://www.sita.cz/page/1826.kompostarna-biologicky-odpad/>

SLAVÍK J., 2004: Ekonomické modely hodnocení komplexních nákladů v  
odpadovém hospodářství Autor: Jan Slavík a kolektiv, Praha, 2004 ISBN 80-  
86684-23-7

SMITH R, 2009: Kritické zhodnocení biologické dostupnosti a dopady těžkých  
kovů v kompostovaných komunálních odpadech ve srovnání s čistírenské kaly.  
Environ Int 2009; 35: 142 -56

SWOT ANALYSIS, 2012: Businessballs.com [online]. [cit. 2012-04-23]. Dostupné  
na WWW: <http://www.businessballs.com/swotanalysisfreetemplate.htm>.

VÁŇA J., 2003: Posuzování vlivu kompostáren na životní prostředí. Biom.cz online: [http://biom.cz/cz/odborné\\_články/posuzování-vlivu-kompostáren na životní prostředí](http://biom.cz/cz/odborné_články/posuzování-vlivu-kompostáren-na-životní-prostředí), cit. 12.11.2011, ISSN: 1801-2655

VÁŇA, J.,2002: Koncepce nakládání s komunálními bioodpady v České republice. Biom.cz [online]. 2002-01-09 [cit. 2012-04-11]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/koncepce-nakladani-s-komunalnimi-bioodpady-v-ceske-republice>>, ISSN: 1801-2655 Zdroj: [http://is.muni.cz/th/39461/fi\\_b](http://is.muni.cz/th/39461/fi_b)

VÁŇA, J.2010: Kompostování odpadů. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2010-04-12]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioodpady-a-kompostovani/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.

VANĚK V, BALÍK J., PAVLÍKOVÁ D., TLUSTOŠ P. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha 2007, s.176. ISBN: 976-80-86726-25-0.

VOŠTOVÁ V., 2009: Logistika odpadového hospodářství. 1. vydání. Praha, České vysoké učení technické v Praze, 349 s. ISBN 978-80-01-04426-1.

VRBOVÁ M. & kol 2003: Hospodaření s odpady v obcích, Praha: EKO-KOM, a.s.,

VYHLÁŠKA Č.13/1994 Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 13/1994 Sb., kterou se upravují některé podrobnosti ochrany zemědělského půdního fondu.

VYHLÁŠKA Č. 341/2008 Sb.: O podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady.,

VYHLÁŠKA Č. 381/2001 Sb.:

<http://www.mzp.cz/www/platnalezislative.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/744B4ECF4745BE95C12570060044610A/%24file/381-01%2520-%2520Katalog%2520odpad%25C5%25AF.docx>

VYHLÁŠKA Č.474/2000 Sb., O stanovení požadavku na hnojiva, MŽP, 2000



WONG a FANG, 2000: JWC Wong, M. Fang, Účinky kromě vápenného procesu při kompostování čistírenských kalů, Voda Res., 34 (15) (2000), str. 3691 až 3698

ZÁKON Č. 185 / 2001 Sb.: O odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů

ZÁKON Č. 314/ 2006 Sb.: <http://www.uplnezneni.cz/zakon/314-2006-sb-kterym-se-meni-zakon-c-1852001-sb-o-odpadech-a-o-zmene-nekterych-dalsich-zakonu-ve-zneni-pozdejsich-predpisu-a-zakon-c-1401961-sb-trestni-zakon-ve-zneni-pozdejsich-predpisu>

ZÁKON Č. 156 / 1998 Sb.: O hnojivech, ve znění pozdějších předpisů.

ZERA, 2007: Zemědělská a ekologická regionální agentura, a.s. Kompostování: přebytečné travní biomasy (Metodická pomůcka). Náměšť nad Oslavou, 2007. ISBN: 80-903548-6-6.

**10 Seznam obrázků a tabulek**

## Seznam tabulek:

Tabulka 1:	Podíl látkových skupin v komunálním odpadu (Program VaV/720/2/00, 2002) .....	13
Tabulka 2:	Poměr C : N v některých surovinách ke kompostování (Kalina, 1999) .....	22
Tabulka 3:	Požadavky na jakost kompostu (ČSN 465735) .....	26
Tabulka 4:	Nejvyšší přípustná množství sledovaných látek v kompostu a v surovinách pro přípravu kompostu (ČSN 465735) .....	27
Tabulka 5:	Obvyklé množství stopových toxických prvků v mg/1000g sušiny (Váňa, 2002) .....	29
Tabulka 6:	Vývoj počtu sběrných nádob na BRKO v šetřené oblasti a frekvence svozu (PS a.s., 2015) .....	40
Tabulka 7:	Využitelné výstupy kompostovacích zařízení (vyhláška 341/2008 Sb.) .....	45
Tabulka 8:	Produkce BRKO Praha 10 v letech 2009-2014 (MHMP, 2015) .....	51
Tabulka 9:	Výpočet indikátoru I 24 (MŽP, 2012) .....	56
Tabulka 10:	SWOT analýza (vlastní šetření) .....	58
Tabulka 11:	Vylouhované koncentrace kovů (vlastní měření) .....	65

## Seznam obrázků

Obrázek 1:	Graf produkce komunálních odpadů 2002-2013 (ČSU, 2014) .....	12
Obrázek 2:	Hierarchie nakládání s BRKO (POH 2015) .....	16
Obrázek 3:	Způsoby nakládání s odpadem v ČR (2002-2013) (ČSU 2014) .....	16
Obrázek 4:	Schéma vozu vybaveného rotačním stlačováním odpadu (Slavík a kol, 2004) .....	19

Obrázek 5:	Dřevěný kompostér pro komunitní kompostování (Kompostuj.cz, 2013) .....	24
Obrázek 6:	Kompostárna na statku H. Seiringera (biom.cz, 2012) .....	25
Obrázek 7:	Komunitní kompostéry v ulicích Oblouková a Kubánské náměstí, v Praze 10 (MČ P10, 2011).....	42
Obrázek 8:	Rotační síto (Sita, 2007) .....	45
Obrázek 9:	Graf roční produkce BRKO Praha 10 (PS a.s., 2015) .....	49
Obrázek 10:	Graf počtu obyvatel Prahy 10 (ČSU, 2015).....	50
Obrázek 11:	Graf počtu obyvatel Hlavního města Prahy (ČSU, 2015) .....	52
Obrázek 12:	Výsledky dotazníkového průzkumu (vlastní šetření) .....	54
Obrázek 13:	Vzorek kompostu z komunitního kompostéru Vršovice, ulice Oblouková (vlastní šetření) .....	60
Obrázek 14:	Vzorek kompostu z produkce kompostárny Modletice (vlastní šetření) .....	60
Obrázek 15:	Rozbory vzorků kompostu zařízení Modletice a kompostér Vršovice (vlastní šetření) .....	61
Obrázek 16:	Zobrazení výsledků louhování dle použitých činidel a zobrazených prvků (vlastní šetření).....	66