

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH

ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Katedra agroekosystémů

Studijní program:N4101–Zemědělské inženýrství

Studijní obor:4106T019–Agroekologie

DIPLOMOVÁ PRÁCE

VLIV TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ NA KVALITU KOMPOSTU

Autor: Bc. Jana Chlumská

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

České Budějovice, 2017

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracovala samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedené v seznamu citované literatury.

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

V Českých Budějovicích dne:.....

\_\_\_\_\_

Bc. Jana Chlumská

**Zadání bude vloženo**

## **Poděkování**

Ráda bych poděkovala vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Stanislavu Kuželovi, CSc. za odborné vedení, důležité rady a za veškerý čas, který mi věnoval. Také bych chtěla poděkovat Ing. Petru Braunovi za jeho odbornou pomoc a užitečné rady během laboratorní analýzy. Dále děkuji všem podnikům, které mi vyšly vstříc a souhlasily se spoluprací a poskytnutím informací. V neposlední řadě patří velký dík mé rodině a spolužákům za podporu a trpělivost při mém studiu.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá kompostováním biologicky rozložitelných odpadů ve vybraných provozech. Cílem bylo provést stanovení iontovýměnné kapacity metodou podle Sandhoffa a vytvořit návrh optimální technologie kompostování biologicky rozložitelných materiálů a hmot v kompostárně Trhový Štěpánov. Vzorky byly odebrány z pěti vybraných provozů, a sice z kompostárny EKOSO Trhový Štěpánov, s.r.o., městské kompostárny Votice, AGORY s.r.o. Želivec, kompostárny Jarošovice s.r.o. a kompostárny HANTÁLY Velké Pavlovice. Práce obsahuje dvě propojené části, teoretické poznatky a vlastní práci, kde jsou shrnuty výsledky laboratorní analýzy.

Klíčová slova: biologicky rozložitelný odpad, kompostování, kationová výměnná kapacita

## **Abstract**

This diploma thesis deals with the composting of biodegradable waste in selected plants. The goal was to determine the CEC according to Sandhoff and to create a proposal for the optimal composting technology of biodegradable materials in Trhový Štěpánov composting plant. Samples were taken from five selected plants, from the EKOSO Trhový Štěpánov composting plant, the municipal composting plant Votice, AGORY s.r.o. Želivec, kompostárny Jarošovice s.r.o. and the HANTÁLY composting plant in Velké Pavlovice. The thesis contains two interconnected parts, theoretical knowledge and practical part, where the results of laboratory analyzes are summarized.

Keywords: biodegradable waste, composting, CEC (cation exchange capacity)

## Obsah

1	Úvod.....	9
2	Literární rešerše .....	10
2.1	Základní pojmy: BRO a BRKO .....	10
2.2	Důvody pro oddělený sběr BRO a BRKO .....	11
2.2.1	Environmentální důvody.....	11
2.2.2	Ekonomické důvody.....	11
2.2.3	Legislativní důvody.....	12
2.2.4	Agromické důvody.....	12
2.3	Nakládání s BRKO .....	13
2.4	Legislatura .....	13
2.5	Historie kompostování a současný stav.....	14
2.6	Nakládání s opadem v EU .....	15
2.7	Produkce BRKO v ČR .....	16
2.8	Kompostování .....	17
2.9	Technologie kompostování .....	19
2.10	Vermikompostování .....	20
2.11	Založení kompostovacího procesu .....	21
2.11.1	Požadavky na zpracovávané suroviny .....	21
2.11.2	Složení zakládky .....	22
2.12	Průběh kompostování .....	23
2.13	Fáze kompostování.....	23
2.13.1	Fáze rozkladu .....	24
2.13.2	Fáze přeměny .....	25
2.13.3	Fáze syntézy .....	25
2.14	Přísady .....	26
2.15	Kontrola průběhu kompostovacího procesu.....	26
2.16	Požadavky na správný průběh kompostování .....	27
2.16.1	Teplota.....	27
2.16.2	Vlhkost .....	28
2.16.3	Zásobování kyslíkem .....	29

2.16.4	Hodnota pH .....	30
2.16.5	Obsah živin a poměr C:N.....	31
2.17	Strojní vybavení pro kompostování .....	31
2.18	Legislativa hodnocení kvality kompostů.....	32
2.19	Registrace kompostu .....	33
2.20	Sorpční a iontovýměnná schopnost půdy .....	34
2.20.1	Sorpční schopnost půdy .....	34
2.20.2	Kationtová výměnná kapacita .....	35
3	Cíl práce.....	35
4	Materiál a metodika .....	35
4.1	Kompostárna Hantály a.s. ....	35
4.1.1	Charakteristika kompostárny .....	35
4.1.2	Poloha kompostárny a charakteristika území.....	36
4.1.3	Popis zařízení a vybavení.....	36
4.1.4	Technologie zpracování .....	37
4.2	Kompostárna Trhový Štěpánov.....	38
4.2.1	Charakteristika kompostárny .....	38
4.2.2	Poloha kompostárny a charakteristika území.....	38
4.2.3	Popis zařízení a vybavení.....	39
4.2.4	Technologie zpracování .....	40
4.3	Kompostárna Želivec .....	41
4.3.1	Charakteristika kompostárny .....	41
4.3.2	Popis kompostárny a vybavení .....	42
4.4	Kompostárna Votice.....	48
4.4.1	Popis a technologie kompostárny.....	48
4.5	Kompostárna Jarošovice.....	50
4.5.1	Popis a technologie kompostárny.....	50
4.5.2	Technické vybavení .....	51
4.6	Metodika.....	53
5	Výsledky a diskuze .....	56
5.1	Výsledky jednotlivých měření.....	58
6	Závěr .....	79
7	Seznam tabulek.....	80

8	Seznam grafů .....	81
9	Seznam obrázků.....	81
10	Seznam zkratk .....	82
11	Seznam použité literatury.....	83



## 1 Úvod

Problém ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky je v České republice již řadu let diskutovaným tématem a věnuje se mu řada prací. Fakt, že biologicky rozložitelné odpady jsou místo jejich dalšího využití ukládány na skládky, s sebou nese řadu problémů a negativ. Patří mezi ně zejména produkce plynů v tělese skládky, jako je metan a oxid uhličitý, které přispívají ke skleníkovému efektu. Dalším problémem je zápach a tvorba toxických výluhů. Podle různých odhadů se obsah biologicky rozložitelných odpadů v komunálních odpadech pohybuje kolem 40 %. Je důležité si uvědomit, že biologicky rozložitelný odpad není v podstatě odpadem, ale surovinou, kterou lze efektivní přeměnou využít v lidský prospěch. Využití odpadů může probíhat anaerobním zpracováním či aerobním zpracováním, kam patří právě kompostování. Změnou k přístupu k nakládání s těmito odpady by měl projít nejen jednotlivec, ale i celá společnost. Právě Česká republika se zavázala ke snížení ukládání těchto odpadů na skládky do roku 2020 o 75 %. V současné době se však tento cíl nedaří plnit. Důležitým faktem je i to, že novela zákona o odpadech mimo jiné stanovuje zákaz ukládání směsného komunálního odpadu na skládky od roku 2024 a povinností obcí je umožnit třídění biologicky rozložitelných odpadů. Pozitivem je, že se kompostování v posledních letech těší stále většímu zájmu. Ať už se jedná o komunitní kompostování, rozvoj velkokapacitních kompostáren či domácí vermikompostování. Díky kompostování lze získat kvalitní hnojivo a jeho využitím tak dochází k navrácení živin do půdy a tím k uzavření jejich koloběhu.

## 2 Literární rešerše

### 2.1 Základní pojmy: BRO a BRKO

Biologicky rozložitelné odpady (BRO) jsou ty odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Patří sem zejména odpady ze zemědělství, zahradnictví, lesnictví a potravinářství, dále odpady z průmyslu papírenského a textilního, odpady ze zpracování dřeva, kůží a dalších výrob. V neposlední řadě skupina rovněž zahrnuje čistírenské a vodárenské kaly a komunální bioodpady.

Biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO) patří rovněž do skupiny BRO, ale jsou i kvantitativně významnou skupinou tzv. směsných odpadů. Podle analýz tvoří BRKO v celé Evropě 30-40 % komunálního odpadu (ZEMÁNEK a kol., 2010). Druhy odpadů tvořící BRKO dle katalogu odpadů jsou uvedeny v tabulce č. 1.

Tabulka č. 1 Druhy odpadů tvořící BRKO, dle Katalogu odpadů

Kód odpadu	Název druhu odpadu	Koeficient biologického rozkladu
20 01 01	Papír a lepenka	1
20 01 08	Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven	1
20 01 10	Oděvy	0,60
20 01 11	Textilní materiály	0,50
20 01 38	Dřevo neuvedené pod č. 20 01 37	1
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	1
20 03 01	Směsný komunální odpad	0,54
20 03 02	Odpad z tržišť	0,80
20 03 07	Objemný odpad (započteno koeficientem dle 1)	0,50

Zdroj: KOTOULOVÁ, VÁŇA (2001)

BRKO mají různorodé vlastnosti a proto je jejich sběr, zpracování a odstraňování problematické, (KOTOULOVÁ, VÁŇA 2001). Zejména kvůli jejich

fermentabilitě a vyššímu obsahu vody, znesnadňující energetické využití (ZEMÁNEK a kol., 2010).

## **2.2 Důvody pro oddělený sběr BRO a BRKO**

HŘEBÍČEK a kol. (2011) uvádí, že existují čtyři hlavní důvody pro oddělený sběr a využití BRKO a jejich odklon od skládkování. Jsou jimi důvody environmentální, ekonomické, legislativní a agronomické.

### **2.2.1 Environmentální důvody**

Hlavním důvodem je jejich negativní vliv na životní prostředí. Jde zejména o tvorbu skleníkových plynů a kyselých výluhů (KOTOULOVÁ, VÁŇA, 2001). Skládkový plyn, vznikající v anaerobních podmínkách, obsahuje vysoký podíl metanu, který přispívá ke skleníkovému efektu cca 21x více než hlavní skleníkový plyn oxid uhličitý. Cílem zákonodárců je snížit množství biologickým rozkladem uvolnitelného uhlíku ukládaného na skládky a tento materiál z části přeměnit na oxid uhličitý a z části vrátit zpět do půdy - nejlépe ve formě stabilního humusu, který je zárukou, že uhlík zůstane dlouhodobě uložen v půdě a nebude přispívat ke skleníkovému efektu (SLEJŠKA, VÁŇA, 2004). Hlavní snahou je tedy minimalizace skládkování těchto odpadů, protože k úniku metanu a dusíku dochází i v případě, že má skládka systém odplynění. Dalšími negativy jsou zápach, zábor půdy pro skládku, transport na delší vzdálenosti aj. (HŘEBÍČEK a kol., 2011). Podle Evropské komise (2008) tvořily před přijetím směrnice o skládkách emise metanu ze skládek asi 30 % globálních antropogenních emisí metanu do atmosféry.

### **2.2.2 Ekonomické důvody**

Při vhodně zvoleném využití dochází k ekonomickému přínosu, který plyne z provozu zařízení na využívání BRKO nebo BRO, ať už se jedná o kompostárny či bioplynové stanice (HŘEBÍČEK a kol., 2011). Motivací může být i možnost čerpání dotace z Operačního programu pro životní prostředí 2014-2020, který se věnuje problematice odpadů v Prioritě 3: Odpady a materiálové toky, ekologické zátěže a rizika (OPŽP, 2015).

Jak již bylo řečeno, technologie kompostování má nízké provozní náklady a odpad se vlastně stává cennou surovinou, kterou lze posléze zpeněžit (KURAŠ a

kol., 2014). Dalším benefitem je i snížení částky, kterou musí obce vynakládat za svoz odpadu. Ekonomický motiv je v popředí zejména i z důvodu uvažovaného navyšování poplatků za ukládání odpadů na skládky (HŘEBÍČEK a kol., 2011).

### 2.2.3 Legislativní důvody

Směrnice Rady 1999/31/ES, o skládkách odpadů, implementované vyhláškou č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, byla promítnuta do Plánu odpadového hospodářství ČR. Evropskou komisí v období vstupu ČR do EU odsouhlasena počáteční hodnota produkce BRKO v naší republice pro rok 1995 na 1 530 000 tun. Požadované snížení množství sládkovaného BRKO v následujícím období je vypočítáno právě na základě této hodnoty. Plán odpadového hospodářství ČR udává, že podíl BRKO v KO má klesnout do roku 2020 na pouhých 35% (HŘEBÍČEK a kol., 2011, ZEMÁNEK a kol., 2010).

Národní cíle stanovené pro jednotlivá období jsou pro představu znázorněny v tabulce č. 2.

Tabulka č. 2 Cíle snížení BRKO podle POH ČR

<b>Období</b>	<b>2010-2012</b>	<b>2013-2019</b>	<b>Do roku 2020</b>
<b>Pokles v t/rok</b>	1 147 500	765 000	535 000
<b>Pokles v %</b>	75	50	35

Zdroj: (ZEMÁNEK a kol., 2010, HŘEBÍČEK a kol., 2011)

### 2.2.4 Agronomické důvody

Nedostatek půdní organické hmoty postihuje většinu zemědělských půd v ČR. Dochází ale i k poklesu základních živin, zejména fosforu a draslíku. Problém je v současné době řešen aplikací minerálních hnojiv, u kterých však hrozí jejich vyplavování a následná eutrofizace. Kompost vyrobený z BRKO a jeho aplikace na zemědělské půdy je proto vhodnou alternativou (HŘEBÍČEK a kol., 2011). Vlivy aplikace kompostu na půdu jsou blíže popsány v kapitole Výsledky a diskuze.

### 2.3 Nakládání s BRKO

S biologicky rozložitelnými komunálními odpady je možno nakládat v podstatě dvěma základními způsoby:

1. Odpad, který je stále považován za materiál nebo surovinu je možné zpracovávat na zahradách rodinných domů, v zahrádkářských osadách apod. Jedná se o domácí či komunitní kompostování. Takový odpad není nikde vykazován, jeho produkce nemůže být zvážena a podle zákona o odpadech vlastně jako „odpaď“ neexistuje, protože vlastník nemá úmysl se jej zbavit. Ve své podstatě se jedná o předcházení vzniku skutečného odpadu.
2. Odpad, který ale již není považován za materiál, je odkládán na vyhrazené místo. Těmi jsou nejčastěji kontejnery, sběrné nádoby, sběrné dvory apod. Jedná se o navýšení produkce komunálního odpadu obce nebo města o množství hmoty, která vznikla pouze tím, že se vytvořilo místo na její sběr. Jde tedy o separovaný sběr BRKO, který lze provozovat dvěma způsoby, které se liší v počtu a vzdálenosti sběrných nádob. V případě donáškového systému je v intravilánu obce umístěno menší množství větších nádob ve větších vzdálenostech než u systému odvozového. Větší množství a kvalita sebraného odpadu vykazuje odvozový systém (ALTMANN, 2010).

### 2.4 Legislativa

Obce mají za povinnost, aby vedle zavedeného třídění plastů, papíru, skla a nebezpečných odpadů zajistily podle novely č. 229/2014 Sb. zákona o odpadech č. 185/2001 Sb. také prostor pro ukládání kovů a biologicky rozložitelných odpadů. Povinnost zajistit místa pro oddělené shromažďování biologického odpadu upřesňuje vyhláška MŽP č. 321/2014 Sb., která dále upřesňuje, že tato povinnost musí být plněna minimálně ve vegetačním období, tj. od 1. dubna do 31. října. Tato povinnost je plněna také v případě, že obec má na svém území zavedený systém pro komunitní kompostování, do kterého je možné soustřeďovat všechny biologicky rozložitelné odpady vzniklé údržbou zeleně a zahrad na území obce.

Cílem novely je dosáhnout splnění směrnice EU a limitů, ke kterým se zavázala ČR při vstupu do EU v roce 2004 a navazuje na dříve přijaté normy týkající se ukládání bioodpadů na skládky (ANONYM1, 2016).

## 2.5 Historie kompostování a současný stav

Česká republika má z Evropy téměř nejstarší tradici v kompostování. V roce 1912 byla u nás uvedena do provozu první kompostárna s řízenou technologií a nepřetržitý vývoj probíhal až do roku 1989, kdy se u nás vyrobilo téměř 2,5 mil. tun kompostu. Po revoluci došlo k prudkému poklesu kompostování až na 200-400 tis. tun za rok, což zapříčinilo zejména zrušení státní dotační podpory.

V současnosti je kompostování významným nástrojem odpadového hospodářství a očekává se, že jeho význam a podpora z resortu životního prostředí bude stoupat. Zejména proto, že jak již bylo zmíněno výše, v souvislosti s právními úpravami Evropské unie musí dojít k výraznému snížení ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky a tento odpad musí být odstraněn jiným způsobem. Lze tedy očekávat nárůst počtu kompostáren (KURAŠ a kol., 2014).

Databáze kompostáren Zemědělské ekologické regionální agentury eviduje k březnu 2017 v České republice celkem 279 kompostáren. Zahrnuty jsou fungující provozovny, ale i kompostárny, jejichž provoz bude teprve zahájen či byl přerušen a provoz ve stádiu projektu.

Tabulka č. 3 Počet kompostáren v ČR

Kraj	Počet kompostáren
Jihočeský	17
Jihomoravský	37
Karlovarský	9
Královehradecký	17
Liberecký	9
Moravskoslezský	26
Olomoucký	19
Pardubický	20
Plzeňský	13
Praha	3
Středočeský	38

Ústecký	18
Vysočina	32
Zlínský	21
Celkem	279

Zdroj: ZERA (2017)

## 2.6 Nakládání s odpadem v EU

Mezi členskými státy EU jsou v oblasti nakládání s komunálním a biologickým odpadem velké rozdíly. Rozlišují se tři hlavní přístupy k tomuto problému.

### 1. Spalování

Země, jako Dánsko, Švédsko, Belgie, Nizozemsko, Lucembursko a Francie, využívají spalování, aby snížily množství odpadu na skládkách. Současně disponují vysokou úrovní využití materiálu a mají dobře vyvinuté strategie na podporu biologického zpracování odpadů.

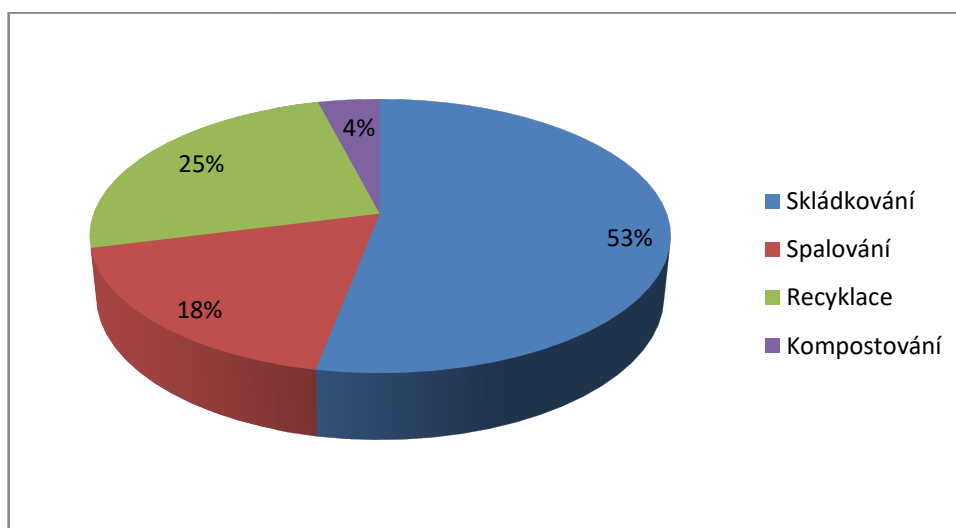
### 2. Recyklace

Země, které mají nízkou míru spalování, ale vysokou míru recyklace materiálu a jeho opětovného využití. Řadí se mezi ně Německo, Rakousko, Španělsko, Itálie, Rakousko. Přičemž nejvíce a zároveň nejrychleji rozvíjejí své kapacity pro kompostování a mechanicko-biologické zpracování Rakousko spolu s Německem.

### 3. Skládkování

Země, které využívají skládkování, přičemž snížení množství odpadů na skládkách je z důvodu nedostatečné kapacity velkým problémem. Jedná se především o nové členské státy a kandidátské země (ZELENÁ KNIHA, 2008).

Graf č. 1 Způsoby nakládání s komunálními odpady v roce 2015 v ČR

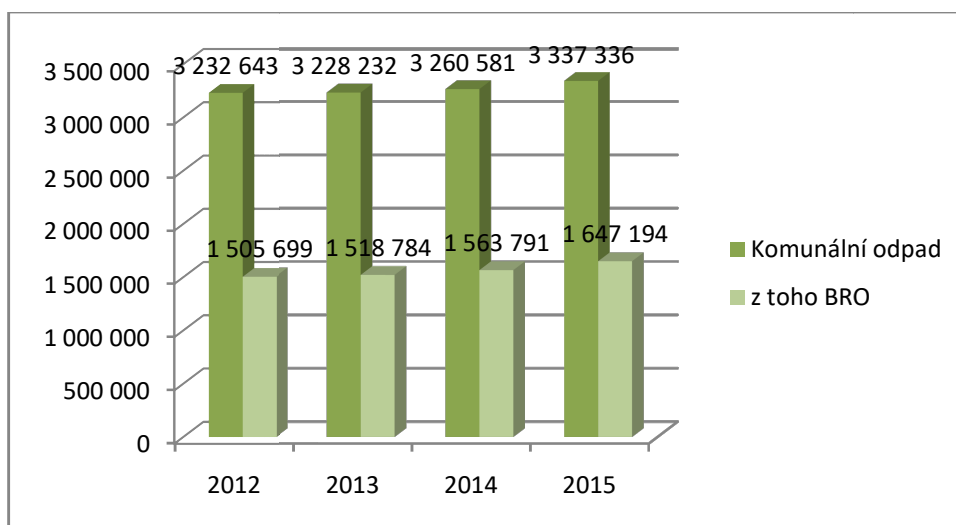


Zdroj: ČSÚ (2015)

## 2.7 Produkce BRKO v ČR

Podle Českého statistického úřadu bylo v roce 2015 vyprodukováno v ČR celkem 3 337 336 tun komunálního odpadu, přičemž 1 647 194 tun z toho zaujímal biologicky rozložitelný odpad. Z grafu č. 2 je patrné, že dochází ke každoročnímu nárůstu biologicky rozložitelných odpadů.

Graf č. 2 Produkce komunálních a biologicky rozložitelných odpadů v t/rok v letech 2012-2015

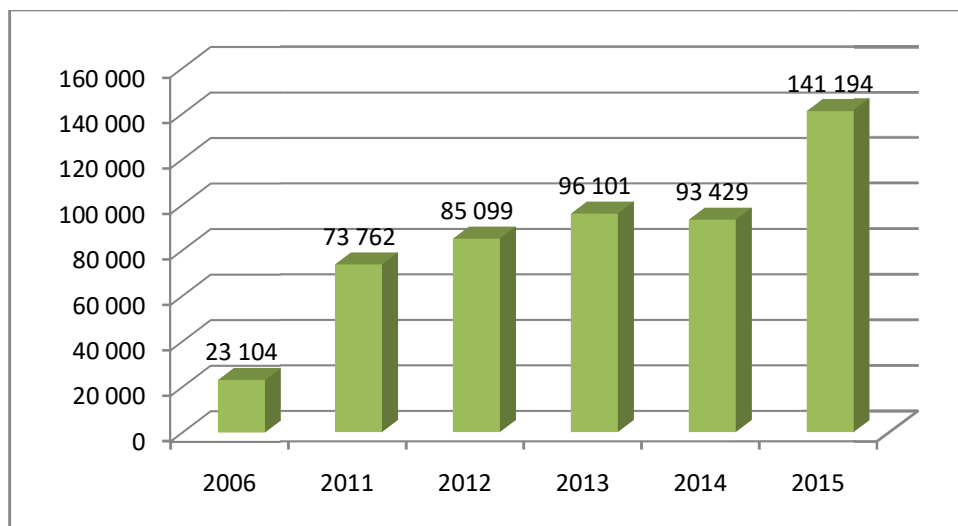


Zdroj: ČSÚ (2015)



Podle údajů ČSÚ za rok 2015 bylo v ČR celkem kompostováno 355 889 tun odpadu. To zahrnuje veškeré odpady, se kterými bylo ve sledovaném roce nakládáno, z čehož 141 194 tun bylo odpadů komunálních. Vývoj kompostování komunálních odpadů vyobrazuje graf č. 3.

Graf č. 3 Kompostování komunálních odpadů v letech 2006-2015 v t/rok



Zdroj: ČSÚ (2015)

## 2.8 Kompostování

Kompostování je přirozený proces, kdy v řízených podmínkách dochází k rozkladu organické hmoty mikroorganismy (MISRA a kol., 2003). Dochází při něm k výrobě organického hnojiva – kompostu (VÁŇA, 2002). Protože se kompostování blíží uzavřenému přírodnímu cyklu, je jednou z nejvyužívanějších recyklačních technologií pro organické odpady (KURAŠ a kol., 2014).

Proces, rozkladu organické hmoty na jednodušší živiny zabezpečují převážně mikroorganismy (LIANG, 2002). Probíhá za aerobních podmínek a dochází při něm k rozkladu organických látek v kompostovaných surovinách, kde je konečným akceptorem elektronů při rozkladných reakcích kyslík. Výsledkem kompostování je především převedení nestabilních organických surovin na stabilní produkt (kompost). To je doprovázeno snížením objemu a hmotnosti, poklesem obsahu vody a potlačením nežádoucích mikroorganismů (PLÍVA a kol., 2009). Účelem je co nejrychleji a nejchopodárněji odbourat původní organické látky v odpadu a převést je na stabilní humusové látky. Kyslík v tomto případě hraje roli jako zdroj živin a

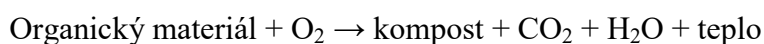
energie. Část uhlíku buněčné tkáně mikroorganismů se váže a část se uvolňuje jako oxid uhličitý. Dochází k hydrolyze bílkovin, sacharidů, tuků. Produkty hydrolyzy – aminokyseliny, monosacharidy, alifatické alkoholy se částečně přeměňují za vývinu tepla na organické kyseliny (octovou, máselnou, propionovou) a oxid uhličitý (KURAŠ, 1994).

Je to proces, který je pozitivní jak z ekonomického hlediska, tak z pohledu ochrany životního prostředí (WEI a kol., 2017). Na bioodpad se totiž nepohlíží jako na odpad, nýbrž jako surovinu, ze které je možné získat užitečný konečný produkt. Jeho zpracováním dochází ke snížení množství odpadu doposud převážně ukládaného na komunálních skládkách odpadů. Výhodou kompostování před skládkováním a spalováním jsou nízké provozní náklady a menší znečištění životního prostředí (KURAŠ a kol., 2014).

ŠREFL (2012) uvádí, že kompostováním je do půdy zpět navracena energie, která je opětovně využívána rostlinami pro jejich růst. Tím jsou vytvořeny přirozeně optimální podmínky pro jejich důležitou roli, a to produkci kyslíku. Zvyšováním obsahu organické hmoty v půdě zajišťuje i větší schopnost vázat, respektive uskladňovat emise uhlíku v půdě. Dále uvádí, že v současné době se v ČR ročně aplikuje ve stájových hnojivech odhadem pouze 0,6 až 0,7 t organických látek na 1 ha orné půdy, což je o 1–1,5 tuny na ha méně než by byla ideální potřeba.

Kompostování je šancí pro zvýšení obsahu organické hmoty v půdě, která je její nezastupitelnou součástí (PLÍVA, MAREŠOVÁ, 2009). KÁRA a kol. (2002) píše, že humusové látky vzniklé kompostováním lze získat rychleji a produktivněji než v polních podmínkách.

Celý proces kompostování lze zjednodušeně vyjádřit obecnou rovnicí:



(PLÍVA a kol., 2009).

Změny nastávající působením mikroorganismů jsou zajišťovány vlivem somatických enzymatických systémů, které rozkládají vyšší organické molekuly na jednodušší sloučeniny a jednoduché prvky. Jako u každé chemické reakce je z hlediska jejího využití nejdůležitější její reakční rychlost, tj. v jakém rozsahu jsou

reagující složky podle reakce přeměněny. Reakční rychlost je synonymem pro rychlost rozkladu. Rozsah reakce určuje hloubku rozkladu organických surovin neboli stupeň stabilizace. Pro zajištění optimálních podmínek a dosažení správného průběhu rozkladných reakcí a kompostovacího procesu, je nutné v jeho průběhu splnit následující technologické předpoklady:

- Zvolit vhodnou technologii kompostování
  - Provést kontrolu fyzikálních, chemických a mikrobiologických vlastností kompostovaných surovin
  - Vhodně skladovat suroviny a případně provést jejich úpravu před založením kompostu
  - Zvolit vhodnou recepturu zakládky
  - Kompostovat dostatečně dlouhou dobu
  - Monitorovat průběh kompostovacího procesu
  - Rozhodnout, zda je kompost dostatečně zralý a stabilizovaný
- Používat vhodné stroje a zařízení (PLÍVA a kol., 2009).

## **2.9 Technologie kompostování**

Z technologického hlediska lze základní způsoby výroby kompostu rozdělit na:

- I. Kompostování na volné ploše
  - a. Kompostování v plošných hromadách
  - b. Kompostování v pásových hromadách
- II. Kompostování v uzavřeném resp. v polozavřeném zařízení (intenzivní kompostovací technologie)
  - a. Kompostování v bioreaktorech
  - b. Kompostování v boxech nebo žlabech
- III. Kompostování ve vacích (AgBag kompostování)
- IV. Vermikompostování (zpracování žížalami)

Až na malé odchylky je průběh kompostovacího procesu podobný u všech technologií. Významně se odlišuje pouze intenzita probíhajících dějů. Při volbě technologie většinou převažují ekonomická hlediska.

Největší předpoklady pro své rozšíření má v ČR technologie kompostování na volných plochách, a to v pásových nebo plošných hromadách. Tuto technologii lze provozovat na zpevněných, vodohospodářsky zabezpečených plochách pod širým nebem (PLÍVA a kol., 2009). Technologie kompostování v pásových hromadách na volné ploše je ideální výchozí technologií pro technologii kontrolovaného mikrobiálního kompostování - CMC—controlled microbial composting. V ČR známé jako řízené kompostování či rychlokompostování. Tato technologie umožňuje vysoký stupeň mechanizace při využití vhodné techniky (PLÍVA, MAREŠOVÁ, 2009).

## **2.10 Vermikompostování**

Příznivé působení žížal na půdu popsal už Charles Darwin v roce 1881 ve své publikaci *The Formation of Vegetable Mould through the Action of Worms* (CHATTOPADHYAY,2012).

Vermikompostování pochází z latinského slova vermis, což znamená červ (PLÍVA a kol., 2016) V posledních letech je na vzestupu z důvodu jeho nespočetných výhod (POONAM, SHARMA, 2015). Jedná se o kompostování s využitím žížal, které se řadí mezi nepokročilejší metody kompostování. Je to biooxidační a stabilizační proces přeměny organických materiálů, který využívá interakce mezi intenzivní činností žížal a mikroorganismů (DOMINGUEZ, EDWARDS, 2011). Zatímco mikroorganismy degradují organickou hmotu biochemicky, žížaly jsou hnací silou procesu, díky provzdušňování, fragmentaci a zvětšování povrchu substrátu pro mikroorganismy (DOMINGUEZ a kol., 1997), (DOMINGUEZ a kol., 2010). Díky interakci mezi epigeickými žížalami a detritickým bakteriím dochází k poklesu početnosti některých potenciálně patogenních mikroorganismů (MONROY a kol., 2009).

Na rozdíl od klasického kompostování však zde neprobíhá termofilní fáze rozkladu (DOMINGUEZ, EDWARDS, 2011). Epigeické druhy žížal mají díky svým přirozeným vlastnostem dobrý potenciál pro vermikompostování. Patří mezi ně přirozená schopnost kolonizovat organické zbytky, mají vysokou míru spotřeby, trávení a asimilace organické hmoty, mají toleranci k širokému rozpětí ekologických faktorů, krátký životní cyklus, rychle se rozmnožují, a jsou nenáročné na údržbu a zacházení (DOMINGUEZ, EDWARDS, 2011).

Ne všechny druhy nemají stejný potenciál rozkladu organické hmoty (POONAM, SHARMA, 2015). Podle DOMINGUEZE a EDWARDSE (2011) jsou proto využívány druhy schopné rychle a efektivně přeměňovat organické zbytky a proto je pro vermikompostování vhodných zhruba pět druhů žížal. Jedná se o druhy:

- *Eisenia Andrei* (žížala kalifornská),
- *Eisenina Fetida* (žížala hnojní),
- *Dendrobaena Veneta* (dešťovka evropská)
- a v menší míře *Perionyx Exavacatus* („modrý červ“)
- a *Eudrilus Eugeniae* (dešťovka africká).

Po vysušení by měl vermikompost připomínat svým vzhledem jemnou lesní půdu (KALINA, 2004).

## **2.11 Založení komponovacího procesu**

Aby bylo dosaženo správného průběhu kompostovacího procesu a možnosti jeho řízení, je nutné zajištění určitého postupu jednotlivých operací. (PLÍVA a kol., 2009) rozložil tento postup do následujících sedmi kroků:

1. Výběr vstupních surovin
2. Příprava vstupních surovin
3. Skladování
4. Správné založení kompostu
5. Kompostování
6. Zrání a stabilizace
7. Konečná úprava

### **2.11.1 Požadavky na zpracovávané suroviny**

Základem úspěchu je vhodná skladba a příprava vstupních surovin. Vstupní suroviny by měly být dostatečně homogenizovány, to znamená, že velké celistvé kusy by měly být rozdruženy na menší (BERTOLDI a kol., 1996). To zajišťuje mimo jiné i rychlejší rozklad a lepší vlastnosti z hlediska manipulace a dopravy (PLÍVA a kol., 2016).

PLÍVA a kol. (2010) uvádí, že zpracovávány mohou být pouze ty suroviny, které nebudou mít po ukončení kompostovacího procesu charakter cizorodých látek. Kvalita surovin je dokladována protokolem o odběru vzorku a protokolem o výsledcích laboratorní analýzy, které musí být archivovány. Při odběru vzorku jsou stanoveny následující ukazatele:

- Sušina
  - Spalitelné látky
  - $N_{\text{celk}}$
  - C:N
  - pH
- nerozložitelné příměsi

### 2.11.2 Složení zakládky

Výpočet složení zakládky vychází z požadavku na optimální poměr C:N. Jeho optimální hodnota při sestavování je 30-35:1 (WURFF, 2016). Je však třeba počítat s tím, že ve finálním kompostu je poměr C:N nižší než v zakládce. Přibližně 30 % ztráta uhlíku je zapříčiněna zejména únikem  $\text{CO}_2$ . U dusíku dochází až 20 % ztrátě (ZEMÁNEK a kol., 2010) Hlavní ztráty dusíku jsou způsobeny emisemi amoniaku ( $\text{NH}_3$ ) a většina úsilí směřuje k jejich regulaci (WONG a kol., 2017).

Podle KÁRY a kol., (2002) je základní pravidlo - čím je materiál starší, tmavší a dřevnatější, tím více je v něm obsaženo uhlíku. Naopak čím je materiál čerstvější, šťavnatější a zelenější, tím obsahuje více dusíku.

Představu o poměrech uhlíku a dusíku v jednotlivých materiálech poskytuje tabulka č. 4.

Tabulka č. 4 Hodnoty poměru C:N u vybraných materiálů používaných při kompostování

<b>Materiál</b>	<b>C:N</b>	<b>Materiál</b>	<b>C:N</b>
Kůra	120:1	Močůvka	2:1
Piliny	500:1	Kejda skotu	10:1
Odpad ze zahrady	40:1	Hnůj skotu	25:1
Listí	50:1	Sláma (žito, oves)	60:1

Posečená tráva	20:1	Sláma (pšenice, ječmen)	100:1
Drůbeží trus	10:1		

Zdroj: KÁRA a kol. (2002)

## 2.12 Průběh kompostování

Úspěšný průběh a přeměna biologicky rozložitelných surovin je závislá na řadě faktorů. Dobu rozkladu ovlivňuje především poměr C:N, vlhkost, teplota, struktura, obsah kyslíku v zakládce a charakter kompostované biomasy. Dobu ovlivňuje samozřejmě i zvolená technologie (PLÍVA a kol., 2016).

Při odbourávání organických látek mikroorganismy dochází v závislosti na intenzitě průběhu procesu ke zvyšování okolní teploty. Při kompostování odpadů je tento samoohřev žádoucí ze dvou důvodů. Jednak dochází ke změně skladby mikroorganismů a tím k rychlejšímu odbourávání často značně složitých organických substancí, za druhé dochází vedle transformace antibiotik pomocí aktinomycet, termické dezinfekci materiálu. Teplo zvyšující se biologickou oxidací dosahuje hodnot, které mohou přežít pouze termofilní organismy. Patogenní organismy a rovněž plevelná semena se přitom rozkládají, jestliže se teplota na požadované hladině udržuje dostatečně dlouhou dobu. Následnou mikrobiální činností se přeměňují organické zbytky na humus, který je užitečný pro zlepšování kvality půdy. Kompost obsahuje dusíkaté látky a většinu dalších chemických živin, které byly přítomny v původním odpadu. Jeho hodnota jako hnojiva na jednotku hmotnosti je poměrně malá ve srovnání s průmyslovými hnojivy, avšak jeho hodnota jako růstového média a pro zlepšování vlastností půdy je srovnatelná s rašelinou (KURAŠ, 1994).

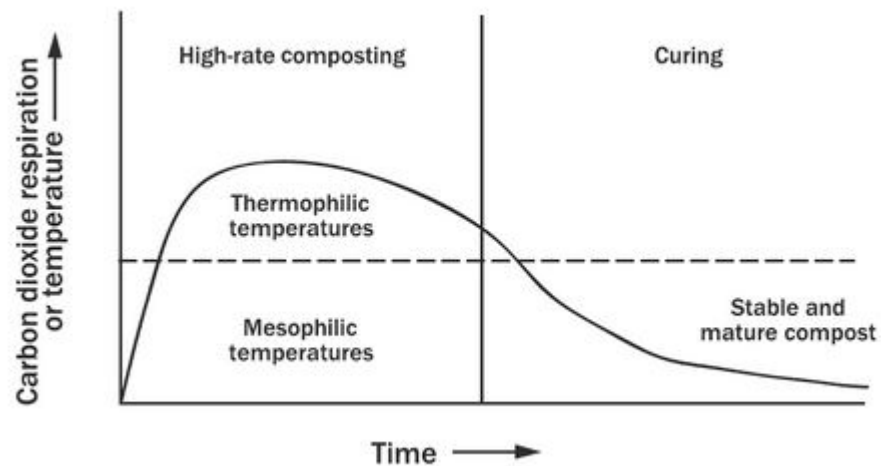
## 2.13 Fáze kompostování

Kompostování je kontinuální proces a nelze přesně vymezit různé úseky tlení, ale přesto se v literatuře rozděluje nejčastěji do tří fází, v literatuře je možné se setkat s různým pojmenováním jednotlivých fází:

Zahraniční autoři jako RUDNIK (2008) a TUROVSKIY a MATHAI (2006) uvádějí jednotlivé fáze jako:

- 1) fáze mezofilní
- 2) fáze termofilní
- 3) fáze zrání a ochlazení

Obrázek č. 1 Fáze během kompostování



Zdroj: TUROVSKIY a MATHAI (2006)

V českých zdrojích se pak nejčastěji setkáváme s pojmenováním jednotlivých fází jako:

1. fáze rozkladu (mineralizace)
2. fáze přeměny
3. fáze syntézy (dozrávací), (ČERVENÁ a kol., 2017, JUNGA a kol., 2015, KALINA, 2004).

### 2.13.1 Fáze rozkladu

První fáze trvá zhruba 3-4 týdny. Během prvních dvou dnů teplota rychle stoupá díky aktivitě zejména termofilních mikroorganismů. Ty rozkládají organické sloučeniny na jednodušší anorganické. V počáteční fázi se rozkládají cukry, bílkoviny a škroby, později dochází k odbourávání celulózy a dalších součástí rostlinné hmoty. V této fázi se uplatňují i termofilní houby. Výrazně se zvyšuje kyselost substrátu hromaděním organických kyselin.



Podle vstupního materiálu se teplota pohybuje od 50 až do 70-80 °C, poté dochází k pozvolnému poklesu teploty. Vlivem vysokých teplot dochází k hygienizaci kompostu, což zajišťuje likvidaci hnilobných a patogenních bakterií a rovněž klíčivosti semen plevelů. Kompostovaná hmota je rozložena až na dusičnany, oxid uhličitý, čpavek, aminokyseliny a polysacharidy. Živiny vázané v organické hmotě se uvolňují a z části přecházejí až do původní minerální formy, proto je někdy fáze označovaná jako fáze mineralizace. Při kompostování snadno odbouratelných odpadů (např. posekané trávy) může trvat mezofilní fáze pouze několik hodin.

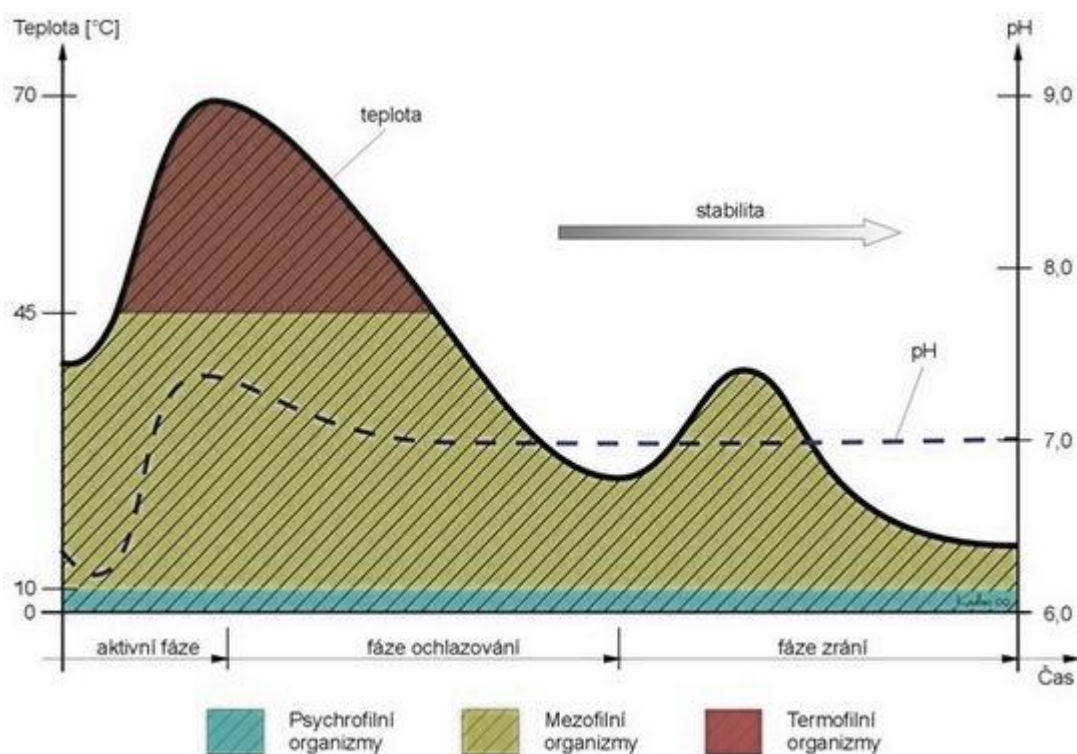
### **2.13.2 Fáze přeměny**

Teplota opět klesá až na 25°C a mění se složení mikroorganismů. Fáze trvá zhruba další čtyři až šest týdnů. Mineralizované živiny se vážou do humusového komplexu. Kompost má stejnoměrnou hnědou barvu, voní po lesní zemině a je drobtovité struktury. V této fázi má největší hnojivé účinky, dosahuje zralosti a přestává být fytotoxický

### **2.13.3 Fáze syntézy**

Teplota klesne až na teplotu okolí, začínají se objevovat drobní živočichové jako hmyz, stonožky, žížaly apod. Dochází k tvorbě stabilního trvalého humusu, jehož účinnost se zvyšuje, avšak hnojivý účinek je slabší, neboť živiny jsou stále pevněji vázány. Hmotnost původní zakládky se sníží zhruba na polovinu (JUNGA a kol., 2015), (KALINA, 2004), (MISRA, 2003), (VÁŇA, 2002), (KURAŠ a kol., 2014).

Obrázek č. 2 Průběh teploty při kompostování



Zdroj: ČERVENÁ a kol. (2017)

## 2.14 Přísady

Proces kompostování může být ovlivněn přidáním látek, které například zlepšují strukturu, zvyšují obsah živin či zlepšují fyzikální vlastnosti. Ovlivňují proces tlení a tím i kvalitu kompostu (KALINA, 2004).

Přísady jsou nejen dodavatelem živin a stopových prvků, ale dokážou i vázat nežádoucí zápach a podporují rozklad. Nejčastěji se jedná o rohovinové moučky, které vážou čpavek a zápach. Dále bentonit, který podporuje vytváření jílovito-humusového komplexu a tím drobtovité struktury. Své využití má i rohovinová moučka či močovina. Přidáním zralého kompostu se podpoří rozklad surovin. Vhodné je přidávat hrubé, ne úplně rozložené části ložského kompostu. Přídavkem zeminy dochází k eliminaci zápachu (KROPÁČEK, HABART, 2007).

## 2.15 Kontrola průběhu kompostovacího procesu

Pravidelné monitorování je nezbytné pro zabezpečení správného průběhu kompostovacího procesu (PLÍVA a kol., 2006). Sledují se fyzikálně-chemické, chemické a mikrobiologické ukazatele. Měření jsou důležitá, protože při odchýlení může být na jejich základě proveden vhodný zásah (PLÍVA a kol., 2016). Mezi ně

patří např. překopávání, úprava vlhkosti či případná inokulace mikroorganismy (PLÍVA a kol., 2006).

Podle PLÍVY a kol. (2006) se při procesu kompostování se sledují tyto veličiny:

- Teplota
- Vlhkost
- Obsah kyslíku v hromadě kompostu
- Test fytoxicity (řeřichový test)
- Mikrobiální hodnocení kompostu
- Agrochemické hodnocení kompostu
- Monitorování plynných emisí

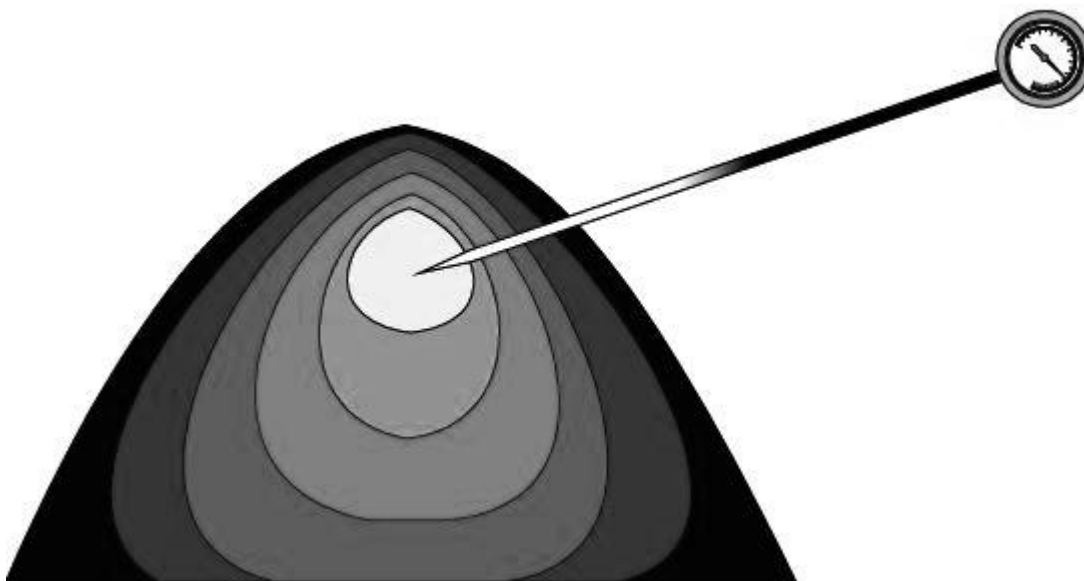
Po ukončení kompostovacího procesu je stanovována stabilita a zralost kompostu, mikrobiologické hodnocení a chemické hodnocení (PLÍVA a kol., 2016).

## **2.16 Požadavky na správný průběh kompostování**

### **2.16.1 Teplota**

Optimální teplota pro rozklad organických surovin je dána především jejich druhem. Různé materiály se rozkládají při různých teplotách. Obecně je uváděno optimum teplot od 50 do 60 °C (WURFF a kol., 2016). Výše teploty potřebné k likvidaci nežádoucích patogenů je předepsána státní normou ČNS 4657375 (PLÍVA a kol., 2006). Obecně uváděné teploty pro zlikvidování patogenů jsou 55 °C a výše, a pro zneškodnění semen plevelů 62 °C (MISRA a kol., 2003). Vývoj teploty musí být zaznamenán pravidelně, nejlépe denně nebo alespoň třikrát za týden. Je důležité správně změřit teplotu a to v ohnisku (v hloubce 40-50 cm, viz obrázek č. 3), (WURFF a kol., 2016).

Obrázek č. 3 Správné měření teploty



Zdroj: WURFF a kol. (2016)

### 2.16.2 Vlhkost

Voda je v kompostu důležitá pro transport živin, umožňuje pohyb organismů a je médiem pro chemické reakce (PLÍVA a kol., 2006). Vlhkost je nezbytná pro podporu metabolické aktivity mikroorganismů (WURFF a kol., 2016). Optimální vlhkosti kompostu se uvádí 50–60 % (GERSHUNY, 2004). Pokud je hmota příliš suchá, kompostování je pomalejší. Zatímco vlhkost vyšší než 65% rozvíjí anaerobní podmínky (MISRA a kol., 2003), (WURFF a kol., 2016). V praxi je vhodná počáteční vlhkost přibližně 50-60 % a na konci procesu kolem 30 % (MISRA a kol., 2003). K dostatečnému zásobování mikroorganismů vodou a kyslíkem musí být jednak částice určené k rozkladu potaženy jemnou vrstvou vody, jednak je třeba dostatečné pórovitosti pro přístup vody a kyslíku (KURAŠ, 1994). Vlhkost je v úzké korelaci s dodávaným vzduchem. Největší ztráty jsou pozorovány při dodání velkého množství vzduchu. Při dodávce malého množství se ztráty snižují a jsou konstantní. (PLÍVA a kol., 2006).

Obsah vlhkosti lze odhadnout pomocí orientační zkoušky. Vezmeme hrst kompostu do ruky a stlačíme ho tak silně, jak je to možné. Jestliže voda protéká mezi prsty, kompost je příliš mokrý. V případě, že se po otevření ruky koule rozpadá,

kompost je příliš suchý. Jestliže hmota zůstane kompaktní, ve formě kuličky připomínající knedlík, vlhkost kompostu je optimální (WURFF a kol., 2016). Představu o orientační zkoušce poskytuje obrázek č. 4.

Obrázek č. 4 Optimální vlhkost materiálu – vlevo je příliš vlhký materiál, uprostřed materiál s optimální vlhkostí a vpravo příliš suchý



Zdroj: (WURFF a kol., 2016).

### 2.16.3 Zásobování kyslíkem

Jak již bylo řečeno, kompostování je děj probíhající za přístupu vzduchu. Vyžaduje velké množství kyslíku, a to zejména v počáteční (termofilní) fázi. Později se mikrobiologická aktivita snižuje a klesá i spotřeba kyslíku (WURFF a kol., 2016). Zdrojem kyslíku je provzdušňování. Nedostatek kyslíku má za následek nedostačující rozvoj mikroorganismů a tím zpomalení rozkladu. Kromě toho, provzdušňováním dochází ke snížení a odstranění nahromaděného tepla, vodní páry a dalších plynů. Odvod tepla je zvláště důležitý v teplejším podnebí z důvodu nebezpečí přehřátí a požáru (MISRA a kol., 2003). Nejčastěji se potřebný vzdušný kyslík dodává překopáváním kompostu, ale i tlakovou aerací nebo odsáváním vzduchu nasyceného oxidem uhličitým z kompostu zpravidla přes vzdušný filtr (VÁŇA, 2002). Je důležité neustále udržovat minimální hladinu kyslíku v kompostu k zajištění vysoké biologické kvality, a to i během skladování zralých produktů. Důležité je ale také pozorovat distribuci kyslíku v hromadě a zabránit vzniku hrudek, které by mohly vést k vytvoření anaerobních podmínek. Indikátorem homogenního rozložení kyslíku v hromadě je absence  $\text{CH}_4$  (WURFF a kol., 2016).

Aerobní mikroorganismy potřebují pro svůj život kyslík, který ovšem mohou využívat jen v rozpustné formě. Při atmosférickém tlaku a 20 °C obsahuje 1 l vody

jen 6,2 ml (0,28 mmol) kyslíku. Toto množství stačí na oxidaci právě jen 0,046 molu, tj. 8,3 mg glukózy. Kyslík je tedy třeba během rozkladného procesu kontinuálně přivádět. Ačkoli jsou aerobní mikroorganismy přizpůsobeny malé koncentraci rozpuštěného kyslíku, nesmí jeho obsah klesnout pod určitou minimální hodnotu, tzv. kritickou koncentraci kyslíku, při které ještě není ohroženo dýchání buněk (KURAŠ, 1994). Obsah vzdušného kyslíku ve vzdušných pórech by měl podle KURAŠE (2016) být minimálně 6 % obj. WURFF a kol. (2016) uvádí nejméně 3-5 % obj.

Podle KURAŠE (1994) není stoprocentní aerobní rozklad zejména ve velkých závodech prakticky možný. Velmi rychlý rozvoj mikroflóry, který se projeví také prudkým vzestupem teploty při začátku rozkladu, může vést ke značnému vývinu CO<sub>2</sub>, a tím k částečnému nedostatku kyslíku, na který mikroorganismy odpovídají změnou látkové výměny. Místo CO<sub>2</sub> se začnou vytvářet organické meziproducty a nastává anaerobně-aerobní rovnovážný stav.

#### **2.16.4 Hodnota pH**

Optimální hodnota pH je v rozmezí 7,2 až 8,5. Hodnota se v průběhu kompostování mění. V počátečních fázích je nižší, kolem hodnoty 5 z důvodu tvorby organických kyselin (WURFF a kol., 2016). V této fázi jsou ale dominantními organismy houby a plísně, které jsou vůči kyselému prostředí tolerantní. Hned poté jsou kyseliny rozkládány mikroorganismy, což provází změna pH směrem k neutrální hodnotě nebo vyšším než 8,5. Při přechodu do těchto hodnot jsou hlavními rozkladači bakterie (PLÍVA a kol., 2006).

Pokud hodnota pH klesne pod 6, dochází k úhynu většiny mikroorganismů, převážně bakterií, a tím se zpomaluje proces rozkladu organických látek. Pokud je hodnota pH vyšší než 8,5, dochází k přeměně dusíkatých sloučenin na amoniak. Ten uniká ve formě plynu z kompostu a tím se zvyšují ztráty dusíku (ČERVENÁ a kol., 2017).

Hodnota pH by vzhledem ke svojí dynamice měla být měřena pravidelně. Běžné komposty mají pH nad 7. Proto použití kompostu není vhodné pro acidofilní rostliny, např. borůvky nebo rododendrony (WURFF a kol., 2016).

### 2.16.5 Obsah živin a poměr C:N

Celková organická hmota v odpadu se skládá z odbouratelné a neodbouratelné složky. Jejich podíl udává redukci objemu kompostovaného odpadu. Živiny potřebné pro mikroorganismy jsou charakterizované hlavně poměrem obsahu uhlíku a dusíku (C:N). Optimální poměr C:N se uvádí cca 25-30:1 (PLÍVA a kol., 2006). Někteří autoři uvádějí optimální poměr 30-35:1, jako například MARKHAM (2013). Pokud je poměr vyšší než 40:1, růst mikroorganismů je omezený, což má za následek delší čas kompostování. V opačném případě, kdy je poměr C:N menší než 20:1, vede k nedostatečnému využití N a ztrátě do atmosféry, ve formě amoniaku nebo oxidu dusného a je doprovázeno zápachem. V konečném produktu by měl být optimální poměr C:N v rozmezí od asi 10:1 a 15:1 (MISRA a kol., 2003). Mezi další živiny důležité pro mikroorganismy jsou fosfor (P) a draslík (K). Dusík, fosfor a draslík jsou základními živinami pro rostliny a ovlivňují tak výslednou hodnotu kompostu. Uhlík je důležitým zdrojem organické hmoty a spolu s dusíkem umožňuje syntézu proteinů. Fosfor a draslík jsou důležité při látkové výměně a rozmnožování buněk (PLÍVA a kol., 2006).

### 2.17 Strojní vybavení pro kompostování

Základním článkem kompostovací linky je mobilní energetický prostředek o minimálním výkonu 35 kW, na který je možné připojit další prostředky vypsané níže:

1. univerzální čelní lopata, případně zemědělský drapák – ty slouží k vrstvení a urovnávání pásových hromad
2. Drtič či štěpkovač – slouží k jemné dezintegraci zpracovávaných surovin
3. Překopávač kompostu – nutný pro zajištění dostatečné aerace komponovacího procesu
4. Prosévací zařízení
5. Adaptér pro svinování a rozbalování plachty na přikrývání pásové hromady
6. Zařízení pro aplikaci kapalin, příp. dávkování biotechnologických přípravků (PLÍVA a kol., 2008).

## Varianty kompostovací linky

### A. Kompostovací linka s kolovým traktorem

- Technické prostředky jsou připojeny k jednomu mobilnímu energetickému prostředku, nejčastěji kolovému traktoru.

### B. Kompostovací linka složená z jednoúčelových strojů

- Pro zajištění technologických operací jsou používány jednoúčelové stroje (např. samojízdný překopávač)
- Výkonnost jednotlivých strojů je významně vyšší než u varianty A
- Nevýhodou je vysoká vstupní investice

### C. Kombinovaná kompostovací linka

- Vzniká kombinací dvou výše uvedených variant
- Mobilní energetický prostředek je využíván jen pro některé pracovní operace a zbývající část zajišťují jednoúčelové stroje
- Částečně jsou sníženy investiční náklady a současně zvýšena výkonnost linky (PLÍVA a kol., 2008).

## 2.18 Legislativa hodnocení kvality kompostů

Hodnocení kvality kompostu se řídí podle ČSN46 5735 „Průmyslové komposty“. Vyrobený kompost musí odpovídat jakostním znakům, které stanovuje norma, a jsou uvedeny v tabulce č. 5 (PLÍVA a kol., 2006).

Tabulka č. 5 Znaký jakosti průmyslového kompostu

Znak jakosti	Hodnota
Vlhkost v %	Od zjištěné hodnoty spalitelných látek do jejího dvojnásobku, avšak min. 40 a max. 65
Spalitelné látky ve vysušeném vzorku v %	Min. 25
Celkový dusík jako N přepočtený na vysušený vzorek	Min. 0,6
Poměr C:N	Max. 30:1
Hodnota pH	Od 6 do 8,5
Nerozložitelné příměsi v %	Max. 2



Homogenita celku v % relativních	$\pm 30^{x)}$
----------------------------------	---------------

Zdroj: PLÍVA a kol. (2006)

## 2.19 Registrace kompostu

Registraci podléhají komposty, které jsou uváděné do oběhu. U kompostů určených pro vlastní potřebu není registrace vyžadována. Jakostní znaky kompostu by však měly splňovat normu ČSN 46 5735 „průmyslové komposty“ (PLÍVA a kol., 2010). Do oběhu se smí uvést pouze ten kompost, který je registrován podle zákona č. 156/1998 o hnojivech. Registraci vykonává Ústřední kontrolní zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ). Aplikace na zemědělské pozemky se řídí zákonem rovněž zákonem o hnojivech. Nezbytnou součástí registrace je příbalový leták (PLÍVA a kol., 2010).

Tabulka č. 6 Limity rizikových prvků v organických a statkových hnojivech se sušinou nad 13% v mg/kg sušiny

Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
2	100	1,0	20	100	150	20	50	600

Zdroj: Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva

Žadatelem o registraci kompostu je podle zákona o hnojivech výrobce, dovozce nebo dodavatel hnojiva, který je zároveň povinen poskytnout ústavu potřebné vzorky hnojiva nebo umožní jejich odběr a uhradit poplatek podle zvláštního právního předpisu. Rozhodnutí o registraci je platné po dobu pěti let (Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, ve znění pozdějších předpisů).

V případě, že kompost nesplňuje podmínky registrace ÚKZÚZ, je zařazen některé z nižší skupiny, která musí splňovat požadavky podle vyhlášky č. 341/2008 Sb., přílohy č. 5, které jsou uvedeny v tabulce č. 7 (PLÍVA a kol., 2010).

Tabulka č. 7 Využitelné výstupy z komponovacích zařízení

Výstup skupiny	Typ výrobku
č. 1	Kompost (organické hnojivo) v souladu s požadavky zákona č. 156/1998 Sb., o

	hnojivech
č. 2 třídy I, II a III	Rekultivační kompost
č. 3	Stabilizovaný bioodpad
č. 4	Biologicky nerozložitelné odpady (kamení a jiné příměsi)

Zdroj: PLÍVA a kol. (2010)

## 2.20 Sorpční a iontovýměnná schopnost půdy

### 2.20.1 Sorpční schopnost půdy

Sorpce půdy je schopnost zadržovat ionty rozpuštěné v půdním roztoku a tím zabránění vyplavení do spodních a povrchových vod. Je jednou z nejdůležitějších vlastností půdy. Hlavní podstatou je přítomnost koloidních částic (ŠANTRŮČKOVÁ, 2014).

Půdní koloid je nejmenší částice půdy s průměrem menším než 1  $\mu\text{m}$ . Je základní jednotkou, na kterou je vázána sorpční a iontovýměnná schopnosti půdy. Koloidy můžeme rozdělit na organického a minerálního původu (DIXON, WEED, 1989). Významně ovlivňují mnohé půdní procesy i vlastnosti. Vyznačují se velkým povrchem na jednotku objemu (VRBA, HULEŠ, 2006). U většiny našich půd mají půdní koloidy negativní náboj, a proto na sebe poutají kationty (VLČEK, 2015).

Sorpční komplex tvoří minerální koloidy (jílové minerály a sesquioxidy vznikajícími zvětráváním primárních křemičitanů) a organické sloučeniny (humus),(POKORNÝ, ŠARAPATKA, 2006), (ŠANTRŮČKOVÁ, 2014). Jílová frakce půdy zahrnuje částice < 0,002 mm a ty částice, které jsou < 0,001 mm už spadají mezi koloidy (ŠANTRŮČKOVÁ, 2014). Pro proces sorpce je důležitý především obsah organických látek v sorpčním komplexu, protože organický podíl v komplexu má až desetkrát vyšší poutací schopnost než podíl minerální (POKORNÝ, ŠARAPATKA, 2006).

Právě podíl koloidů v půdě určuje schopnost půdy vázat živiny a zpřístupňovat je pro rostliny a mikroorganismy, pufrovat změny půdní kyselosti (acidity) a pevnost vazby vody (ŠANTRŮČKOVÁ, 2014). Nepřímo také ovlivňuje strukturu půdy, obdělávatelnost, vodní a vzdušní režim a biologickou aktivitu (VLČEK, 2015).

Půdní sorpci můžeme dělit podle způsobu poutání látek na:

- Mechanickou - částice jsou mechanicky zadržovány v pórech,
- Biologickou - látky jsou sorbovány půdními organismy a těly rostlin,
- Chemickou - za určitých podmínek se vytvářejí sraženiny a nerozpustné sloučeniny, které jsou poté mechanicky zadržovány a
- Fyzikálně-chemickou (výměnnou) – nejvýznamnější druh, kdy dochází k výměně iontů mezi roztokem a povrchem pevných částic (ZAUJEC a kol., 2009).

### **2.20.2 Kationtová výměnná kapacita**

V zemědělské praxi je zpravidla označována jako KVK (v angličtině CEC - Cation Exchange Capacity), někdy též jako T hodnota. Je to schopnost půdy vázat na svém aktivním povrchu kationty ve výměnné formě. Je závislá na množství koloidního podílu a na vlastnostech jednotlivých druhů koloidů (VRBA, HULEŠ, 2009).

## **3 Cíl práce**

Cílem diplomové práce je popsat problematiku kompostování biomasy a provést stanovení iontovýměnné kapacity metodou podle Sandhoffa ve vzorcích z pěti vybraných kompostáren a komplexně vyhodnotit naměřené hodnoty. Na základě výsledků porovnat hodnoty a navrhnout optimální technologii kompostování biologicky rozložitelných organických materiálů a hmot v kompostárně Trhový Štěpánov.

## **4 Materiál a metodika**

### **4.1 Kompostárna Hantály a.s.**

#### **4.1.1 Charakteristika kompostárny**

Kompostárna je umístěna v areálu řízené skládky odpadů Hantály, která se nachází v katastrálním území Velké Pavlovice. Areál skládky je v údolí přibližně mezi městy Velké Pavlovice a Velké Bílovice. V okolí jsou zemědělsky využívané pozemky, částečně jako orná půda, částečně pro pěstování vinné révy. Příjezd

k lokalitě Hantály je od osady Trkmanice (část obce Rakvice) z jihozápadního směru po místní asfaltové komunikaci odbočkou ze státní silnice č. 42113 Velké Pavlovice–Velké Bílovice. Kapacita kompostárny je 10 000 tun za rok. Zpracovává především odpady jako trávu, listí, shrabky, piliny větve, odřezky a kůru. Dále vyříděné BRKO, kaly z ČOV a BRO z kuchyní a stravoven.

#### **4.1.2 Poloha kompostárny a charakteristika území**

Oblast řazena mezi nejteplejší části Dolnomoravského úvalu. Náleží ke klimatické jednotce T4, která je charakterizována velmi dlouhým, teplým a suchým létem. Přechodné období je velmi krátké, s teplým jarem a podzimem. Zima je krátká mírně teplá a suchá až velmi suchá s velmi krátkým trváním sněhové pokrývky. Roční úhrn srážek v území kolísá od 392 mm do 545 mm (podle srážkoměrné stanice Hantály) s nejvyšším denním úhrnem srážek 92 mm. Průměrný roční úhrn srážek je 515 mm.

#### **4.1.3 Popis zařízení a vybavení**

Kompostárna je řešena jako otevřená vodohospodářsky zabezpečená zpevněná plocha s odvodem vod do bezodtokové jímky. Na ploše je prováděna příprava vstupních surovin, kompostování, dozrávání kompostu a zpracování hotového kompostu. Výměra zpevněného povrchu kompostárny je 5 170 m<sup>2</sup>.

Kompostovací plocha má obdélníkový tvar s jedním zkoseným rohem, rozměry 78,74 × 74,37 m. Celá plocha je vyspádována podélným a příčným spádem 1% až 4% směrem k záchytné jímce. Plocha má kryt z asfaltového betonu. Na kompostovací plochu navazuje příjezdová komunikace. Podél severního okraje vede záchytný žlábek, který odvádí vodu z kompostovací plochy do záchytné jímky. Ta je vybavená přenosným, ponorným, kalovým čerpadlem a plovákovým spínačem. Čerpadlo ovládá obsluha, která pomocí hadicí naplňuje mobilní skrápěcí vůz.

##### **4.1.3.1 Betonové boxy**

Součástí kompostárny jsou zastřešené betonové boxy pro suroviny a hotový kompost.

Boxů na suroviny je celkem 8 a jsou seřazeny vedle sebe podél jihovýchodního okraje plochy kompostárny na celkové ploše 246 m<sup>2</sup>. V boxech jsou ukládány

suroviny pro přípravu kompostu. Dalších 8 boxů, seřazených vedle sebe podél severovýchodního okraje plochy kompostárny na celkové ploše 246 m<sup>2</sup>, slouží k ukládání hotového kompostu před expedicí.

Kompostárna disponuje následujícím vybavením:

- frézový překopávač se zavlažovacím zařízením a zásobníkovou (přídavnou) nádrží,
- kolový traktor,
- kolový nakladač,
- drtič,
- homogenizátor,
- rotační síto.

#### 4.1.4 Technologie zpracování

Shromažďování a příprava vstupních odpadů před založením kompostu probíhá přímo na zpevněné ploše, kde se navezené odpady mechanicky upravují (promíchání, štěpkování, apod.) a homogenizují. Poté jsou odpady nakladačem vrstveny do zakládky lichoběžníkového tvaru. Při navážení je udržován přibližný tvar hromady o výšce 2 m až 2,5 m. Zakládka je pravidelně překopávána pro zlepšení aerace a další homogenizaci materiálu. První, tzv. homogenizační překopávka, je realizována po cca 14 až 21 dnech od založení kompostu a v případě potřeby je doprovázena závlahou. Po poklesu teploty zakládky následují další překopávky, druhá většinou po cca po 35–42 dnech od založení kompostu a opět je dle potřeby doprovázena závlahou. Následující překopávky jsou realizovány dle potřeby. Četnost překopávek je během roku specifická vzhledem k charakteru navážených surovin a podle klimatických podmínek. Doba kompostovacího procesu od první (homogenizační) překopávky do ukončení kompostovacího procesu je minimálně 60 dní. K posouzení ukončení procesu se používá orientační zkouška, tj. jsou hodnoceny znaky stabilizace "čerstvého kompostu":

- barva hnědá, šedohnědá až černá,
- struktura drobtovitá až hrudkovitá,
- nevykazuje pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek, houbovitá vůně,

- příznaky ustálené teploty: hodnota teploty kompostu odpovídá teplotě okolního ovzduší po dobu posledních 14 dnů, přičemž maximálně přijatelná teplota pod povrchem zakládky (v hloubce 5 cm) nesmí být vyšší než 45 °C.

Výstup procesu se dále třídí přeséváním přes rotační síto. Nadsítné biologicky rozložitelné frakce jsou zpětně vráceny zpět do kompostovacího procesu a biologicky nerozložitelné frakce jsou vykázány jako odpad a uloženy na skládce. Podle požadavku na finální produkt se používají síta s různými velikostmi ok. Hotový kompost je vyskladňován do boxu vedle kompostovací plochy. Tento box je určen jako dočasný sklad hotového kompostu (stabilizovaného materiálu) před jeho vyskladněním/využitím (ENVIPROJEKT, 2013).

## **4.2 Kompostárna Trhový Štěpánov**

### **4.2.1 Charakteristika kompostárny**

Plocha kompostárny je součástí komplexu skládky odpadů, což má výhodu zejména v tom, že areál je společně střežen, má jednu příjmovou váhu pro všechny přijímané a odvážené materiály, společně administrativní zázemí, jednotnou evidenci a možnost společného využívání mechanizačních prostředků.

Kompostárna odebírá a následně zpracovává tyto odpady: trávu, listí, slámu, seno a hobliny, zbytky ovoce a zeleniny, další zbytky z potravinářství. Dále dřevní odpad z prořezávky stromů a keřů o průměru větví do 5 cm, hnůj od drobných chovatelů. Odpad nesmí obsahovat příměsi jiných druhů odpadů a to zejména těch nerozložitelných

### **4.2.2 Poloha kompostárny a charakteristika území**

Kompostárna je umístěna asi 700 m severovýchodním směrem od okraje obce Trhový Štěpánov v lokalitě místně nazývané „Mezní důl“. Nachází se vedle oploceného a střeženého areálu 1. a 2. etapy stávající skládky Trhový Štěpánov. Oblast je z geomorfologického hlediska součástí vlašimské pahorkatiny, pro kterou je typický silně rozčleněný erozně- denudační reliéf. Nadmořská výška je asi 410 m n.m. Území náleží do hydrogeologického rajonu 652 – krystalinikum v povodí Sázavy. Provoz leží v povodí Štěpánovského potoka (číslo povodí 1-09-03-002), který je levostranným přítokem řeky Sázavy. Klimaticky je oblast charakterizována

dlouhým, mírně teplým, mírně suchým létem, krátkým a mírně teplým přechodným obdobím a krátkou, mírně teplou a suchou zimou. Roční úhrn srážek je 627 n m.

### 4.2.3 Popis zařízení a vybavení

Zařízení slouží k příjmu a zpracování biologicky rozložitelných odpadů na výsledný produkt–kompost, určený k prodeji, biomasu určenou pro energetické účely a materiál určený pro rekultivační vrstvy skládky, na které se kompostárna nachází. Roční kapacita kompostárny je do 3000 tun. Areál je po celém svém obvodu oplocen.

Kompostovací plocha je 1500 m<sup>2</sup>a je zpevněna a izolována fólií HDPE. Srážkové vody jsou v období provozu kompostárny z části zachycovány řadami zakládek kompostovatelných odpadů a z části volně stékají po povrchu kompostárny do příčného žlábků při vjezdu na kompostovací plochu a odtud přes čistící šachtu do jímky záchytných vod. Zde jsou vody kumulovány a následně využity v případě potřeby ke zvlhčování jednotlivých zakládek podle fáze rozkladu kompostovatelných odpadů. Záchytná jímka je vybavena čerpadlem a systémem automatického čerpání v případě překročení stanoveného množství kumulovaných vod, v případě přebytku, jsou zachycené vody zneškodněny v nejbližší čistírně odpadních vod. Kompostárna je z 1/5 plochy zastřešená. Je vybavená mechanizací pro příjem, drcení, míchání, překopávání, prosívání, nakládání a převoz zpracované hmoty.

Vybavení kompostárny:

- kolový nakladač Caterpillar 908–pro manipulaci s bioodpadem
- traktor Zetor 16145–využíván k tažení valníku a jako hnací jednotka drtiče a
- překopávače kompostů
- drtič bioodpadů SEKO SAMURAI 5–drtí a současně míchá bioodpady
- překopávač kompostu bočně nesený, typu ST 250 Sandberger
- valník–pro odvoz konečného produktu
- čerpání technologických vod z plochy kompostárny ke zvlhčování bioodpadů
- bubnová prosévačka substrátu typ BPS-01s

dopravníky substrátu v počtu dvou

#### 4.2.4 Technologie zpracování

Kompostárna využívá pro zpracování biologicky rozložitelných odpadů technologii kompostování v pásových hromadách. Jednotlivé druhy odpadů přijaté pracovníkem kompostárny jsou odděleně umístěné v hromadách na ploše kompostárny. Odpad se na ploše upravuje tak, aby se odloučily komponenty pro kompostování nevhodné. Pro odloučený odpad je na ploše umístěn kontejner. Následně podle potřeby pracovník dopraví traktorem k předmětnému odpadu drtící vůz. Pomocí hydraulické ruky vozu nakládá bioodpad do drtícího prostoru. Suroviny jsou před založením do pásových hromad homogenizovány a promíchány pomocí drtícího vozu SAMURAI 5. Po nadrcení materiálu jej bočním dopravníkem při pomalé rychlosti traktoru vykládá do souvislé hromady - zakládky, široké minimálně 3 m, výšky minimálně 2 m a délky 20 –30 m. Hromady jsou překopávány v určitých cyklech taženým překopávačem kompostu ST 250 Sandberger, který je tažen traktorem ZETOR 16145 nebo kolovým nakladačem Caterpillar. Hotový kompost se prosévá na prosévače substrátu. Poté je shromažďován v zastřešené hale, kde je ručně pytlován do pytlů o hmotnosti 20 kg. Část kompostu slouží pro výrobu substrátu, který vzniká mísením kompostu a zeminy v poměru 1:1 (FARION, 2016).

Obrázek č. 5 Trhový Štěpánov–hotový kompost



Zdroj: Autor



Obrázek č. 6 Trhový Štěpánov – areál kompostárny, vpravo založená pásová hromada, vlevo suroviny



Zdroj: Autor

### **4.3 Kompostárna Želivec**

#### **4.3.1 Charakteristika kompostárny**

Kompostárna Želivec je podnik rodinného typu a provozují jí Oldřich Žilík a jeho syn Michal Žilík a vznikla v reakci na nárůst černých skládek v okolí. Část odpadu je zpracovávána v halové kompostárně a část na volné zabezpečené ploše. Provoz zpracovává odpady jako je tráva, listí, větve, koňský a králičí hnůj. Dále zeleninu, ovoce a BRO z kuchyní a stravoven ale i čistírenské kaly. Kaly urychlují proces tlení, musí však splňovat toxikologické normy, aby s nimi nemuselo být naloženo jako s nebezpečným odpadem.

Bioodpad je shromažďován z okolních obcí Kamenická, ze sběrných dvorů obcí a také od smluvních partnerů (např. Recyklační plocha dřevních, stavebních a velkoobjemových odpadů Želivec).

## **4.3.2 Popis kompostárny a vybavení**

### **4.3.2.1 Halová kompostárna**

Halová kompostárna slouží pro úpravu a využití odpadů z vlastních i externích sběrových a svozových systémů odpadů a bioodpadů od smluvních partnerů a kalů z ČOV s vysokým obsahem sušiny. Kompostárna je vybavená technologií pro intenzivní kompostování bioodpadů, která je rozdělena do 3 částí se třemi samostatnými kompostovacími boxy.

Surovinovou skladbu tvoří zejména směsné rostlinné bioodpady z údržby zeleně (tráva, listí, větve z prořezávek), u kterých nelze přesně stanovit složení. Tyto rostlinné bioodpady tvoří obvykle většinu zakládky, do optimálně 5 % hm. mohou recepturu tvořit kaly z ČOV, které mají vysoký obsah sušiny. Množství kalů v zakládce je možné v případě potřeby zvýšit, maximálně však na 30 % hm. Kaly z ČOV nejsou na kompostárně dlouhodobě skladovány, po příjmu jsou zapraveny přímo do zakládky (boxu) kompostu. Do zakládky mohou být přidávány zeminy v malém množství pro doplnění strukturnosti zakládky.

Kompostárna má k dispozici následující vybavení:

- zařízení pro provzdušňování kompostovaných bioodpadů včetně biofiltru (3 ventilátory určené pro vhánění vzduchu do kompostu + biofiltr s podtlakovým ventilátorem + příslušná potrubní propojení),
- nakladač pro manipulaci se vsázkou a vyskladňovaným kompostem (Komatsu WA 270-7),
- systém měření a regulace (např. teploměr, atd.)
- vodní pračka s oběhovou nádrží v provedení nerez.

### **4.3.2.2 Technologie zpracování**

Technologie kompostování vyžaduje dodávky vody pro přípravu zakládky materiálu. Veškerá voda je vázána v kompostované vsázce a postupně se odpařuje a spotřebovává v rámci kompostovacího procesu. Výluhová voda vytékající z kompostu se vrací zpět do procesu kompostování a pomáhá materiál v kompostovacích boxech provlhnout a optimalizovat tak proces kompostování. Voda je dodávána mobilní cisternou ke každé zakládce podle skutečné potřeby.

Bioodpady jsou po přijetí do zařízení drceny a jednotlivé druhy míchány tak, aby bylo dosaženo poměru C:N optimálně 30:1 pro naskladnění do boxu halové kompostárny. Poměr C:N (uhlíku a dusíku) je regulován vhodným poměrem organických látek v základce. Výsledný poměr se dopočte dle hmotnosti jednotlivých složek. Surovinová je proměnná dle druhů přijímaných odpadů a dle ročního období.

Průběžně shromažďované bioodpady jsou dočasně skladovány na shromažďovací ploše, dokud není zajištěn dostatečný objem pro celou vsázku do 1 boxu. Objemné bioodpady jsou upraveny štěpkováním přímo v areálu. Štěpkovač je zajišťován smluvně. Následně jsou bioodpady umístěny do boxu kompostovací haly pomocí nakladače. Zde probíhá řízený proces kompostování s nuceným provzdušňováním pomocí ventilátorů. Hotový kompost je vyskladněn pomocí nakladače, tříděn a připravován pro expedici jako hnojivo. Třídění pomocí síťování probíhá smluvně.

Vlastní zařízení pro kompostování odpadů je umístěno v zakryté hale (zastřešený a obestavěný halový objekt), hala je rozdělena na tři stavebně oddělené části, přičemž stěny oddělující jednotlivé boxy dosahují až ke spodní části střechy haly. Každá stavebně oddělená část tvoří samostatný kompostovací box s vlastním vzduchovým prostorem nad povrchem kompostu, každý kompostovací box je vybaven samostatnou provzdušňovací vzduchotechnikou (samostatným ventilátorem) a samostatným odvodem odpadního vzduchu z kompostu. Celkem jsou tedy v hale 3 stavebně oddělené kompostovací boxy, v každém z nich je hromada kompostu - jedná se o blok kompostu v boxu o výšce cca 2–3 m. Provzdušňování hromady kompostu v každém kompostovacím boxu je zajištěno samostatným ventilátorem umístěným venku vně haly. Celkem jsou v halové kompostárně Želivec tedy 3 ventilátory určené pro vhánění vzduchu do kompostu, které jsou umístěny venku, těsně u západní stěny haly. Každý ventilátor je umístěn u venkovní stěny příslušného kompostovacího boxu. Ventilátory jsou umístěny v pravidelných odstupech od sebe. Každý ze tří ventilátorů má vzduchový výkon cca 1 440 m<sup>3</sup>/hod. a vhání vzduch do rozvodného potrubí, které je zabudované pod betonovou podlahou v příslušném kompostovacím boxu. Rozvodné potrubí je ukončeno v podlahových štěrbinách a provzdušňovacími otvory je vzduch vháněn do kompostu.

Vzduch vháněný do kompostovacích hromad prostupuje kompostem a provzdušňuje jej. Poté vzduch vystupuje z povrchu kompostu do volného vzduchového prostoru příslušného kompostovacího boxu. Z uzavřených vzduchových prostorů jednotlivých kompostovacích boxů je odpadní vzduch odtahován ventilátorem s výkonem cca 4000 m<sup>3</sup>/hod. do prvního odlučovače pachových látek, kterým je vodní pračka, pak přes biofiltr do okolního prostředí. Odtahový ventilátor s výkonem cca 4000 m<sup>3</sup>/hod. je společný pro všechny tři kompostovací boxy. Provzdušňování kompostu v jednotlivých boxech probíhá přerušovaně (s přestávkami), přičemž provoz ventilátorů je řízen počítačem v návaznosti na stáří kompostu, přičemž se vzrůstajícím stářím kompostu stoupá doba přestávek mezi jednotlivými provzdušňovacími cykly a zkracuje se doba provzdušňovacích cyklů. Provzdušňování je také závislé na teplotě kompostovacího procesu.

Například na úplném začátku kompostování činí přestávka mezi jednotlivými provzdušňovacími cykly 10 minut a doba provzdušňovacích cyklů činí 500 vteřin. Po 14 dnech kompostování činí přestávka mezi jednotlivými provzdušňovacími cykly 40 minut a doba provzdušňovacích cyklů činí 400 vteřin. Po 30 dnech kompostování činí přestávka mezi jednotlivými provzdušňovacími cykly 60 minut a doba provzdušňovacích cyklů činí 300 vteřin. Vzhledem k nucené aeraci kompostu není třeba kompost v boxech překopávat. Pro zvlhčování zakládky je využita recirkulací voda ze záchytné jímky a následně voda z mobilní cisterny.

Teplota a vlhkost v zakládce v boxu je měřena tyčovým teploměrem a vlhkoměrem, teplota a vlhkost a výsledky kontroly funkčnosti vzduchotechniky se zaznamenávají do provozního deníku. Regulace teploty zakládky kompostu v boxech je prováděna množstvím nuceně přiváděného vzduchu a skrápěním vodou. Kompostovací cyklus trvá 2 měsíce.

Výsledný produkt zařízení je certifikovaný kompost, který je minimálně z 51 % využit jako kompost k aplikaci pro pěstitelské účely (např. pro pěstování zeleniny, ovoce a jiných zemědělských produktů) v kvalitě kompostu určeného na zemědělské pozemky. Kompost je prodáván přímo případně ve směsích s jinými substráty (např. zahradní substráty), (DVOŘÁK, NOVÁK, 2015).

#### **4.3.2.3 Kompostárna na volné zabezpečené ploše**

Zařízení se skládá ze zpevněné plochy a jímky průsakových vod. Celý areál zařízení je oplocen s vjezdem ze silnice II. třídy č. 603. V areálu se dále nachází buňka pro obsluhu. Zpevněná plocha má rozlohu 1600 m<sup>2</sup>, plocha určená pro samotné kompostování má rozlohu 930 m<sup>2</sup>. Jedná se o asfaltovou plochu vyspádovanou, která má na okraji sběrný kanál vyvedený do sběrné jímky. Asfaltový povrch je položen na 15 cm štěrkového podloží. Samotný asfalt se skládá z podkladního hrubého asfaltu OK o tloušťce 7 cm a vrchní vrstvy jemného asfaltu ABJ o tloušťce 8 cm. Jímka průsakových vod je utěsněná bezodtoká jímka o objemu 33 m<sup>3</sup>.

#### **4.3.2.4 Vybavení kompostárny**

Pro potřeby správného nakládání s přijímanými bioodpady (drcení, překopávka, sítování) je v zařízení následující strojní vybavení:

- nakladač Liebherr 514,
- nakladač Liebherr 511,
- otočné rypadlo CASE,
- nakladač Hanomag D35,
- Avia s úpravou pro kontejnery,
- Mercedes Atego–kontejnerový nosič,
- mobilní bubnové síto Doppstadt
- drtič bioodpadu Husmann
- překopávač kompostu NeusonEcotec

Pro zjišťování hmotnosti přivážených odpadů slouží mostová váha. V případě výpadku váhy se hmotnost zjišťuje přepočtem. Teplota v zakládce se měří tyčovým teploměrem. Pro zvlhčování zakládky je využita recirkulační voda ze záchytné jímky nebo dovezená voda pomocí cisterny.

#### 4.3.2.5 *Technologie kompostování*

Po přijetí jsou bioodpady ukládány volně na asfaltové ploše a obsluhou jsou vytříděny cizorodé látky, zejména plasty, sklo, kovy, aj. Tyto odpady jsou ukládány do připravené nádoby (pytle nebo kontejner). Kaly z ČOV jsou do zařízení přijímány cca 1× za 3 měsíce v množství cca 12 m<sup>3</sup> a jsou zapravovány přímo do zakládky. Surovinovou skladbu tvoří zejména směsné rostlinné bioodpady z údržby zeleně (tráva, listí, větve z prořezávek), u kterých materiálů nelze přesně stanovit složení. Tyto rostlinné bioodpady tvoří obvykle 95 % zakládky a zbylých 5 % tvoří kaly z ČOV, které mají vysoký obsah sušiny cca 80 %. Množství kalů v zakládce je možné v případě potřeby zvýšit, maximálně však na 30 %. Výjimečně jsou do zakládky přidávány zeminy v malém množství pro doplnění strukturnosti zakládky.

Po přijetí do zařízení jsou bioodpady drceny na velikostní frakci max. 12 mm a jednotlivé druhy míseny tak, aby bylo dosaženo poměru C:N optimálně 35:1. Poměr C:N je regulován vhodným poměrem organických látek v zakládce. Upravené bioodpady jsou ukládány na zpevněné ploše do krechtů (zakládek) lichoběžníkového tvaru o výšce cca 2,1 m a šířce cca 4,2 m. Na ploše je současně max. 6 zakládek. Během kompostovacího procesu je každá zakládka min. 3× překopána, přičemž první překopávka se provádí po 3 týdnech od založení (při dodržení teploty nad 55°C) nebo dříve při dosažení teploty nad 65°C po 5 dnech. V každé jedné zakládce musí proběhnout buď jeden, nebo druhý teplotní režim. Doba kompostování jednotlivé zakládky je min. 60 dní po proběhnutí jednoho z teplotních režimů. Bioodpady jsou dle potřeby zvlhčovány vodou z jímky kompostárny nebo přivezenou užitkovou vodou z cisterny. Zralý kompost se zrnitostně upravuje na rotačním bubnovém síti. Nadsítná frakce je vrácena zpět na začátek procesu, podsítná frakce je dále využita (NOVÁK, 2013, PLÍVA, 2013).

Obrázek č. 7 Želivec–pásové hromady



Zdroj: Autor

Obrázek č. 8 Želivec–příprava vstupního materiálu



Zdroj: Autor



Obrázek č. 9 Želivec - biofiltr



Zdroj: Autor

#### **4.4 Kompostárna Votice**

Kompostárna Votice je malá městská kompostárna, která zpracovává ročně přibližně 600 tun odpadu. Vlastníkem parcel, na kterých se zařízení nachází, je město Votice. Provozovatelem je firma COMPAG VOTICE s. r. o. Zařízení slouží k využívání biologicky rozložitelných odpadů, které vznikají na území města Votice, případně odpadů vzniklých na území okolních obcí. Jedná se zejména o rostlinné zbytky z údržby zeleně, zahrad apod. Kompostárna nepřijímá odpad z podnikatelské a zemědělské činnosti.

##### **4.4.1 Popis a technologie kompostárny**

Kompostování probíhá na volné vodohospodářsky zabezpečené ploše o rozloze 990 m<sup>2</sup>. Ta je ze tří stran ohraničena betonovou zídou o šířce 30 cm a výšce 30 cm nad zpevněnou plochou. Povrch kompostovací plochy je v příčném směru s jednostranným spádem 1 %. V podélném směru má spád 2 % směrem k liniovému odvodňovacímu žlabu. Z něj jsou vody odváděny do záchytné jímky o objemu 60 m<sup>3</sup>. Jímka je zpevněna PEHD folií a je v ní osazeno ponorné čerpadlo, na které navazuje



výtlačné potrubí. Součástí areálu je i manipulační plocha o rozloze 625 m<sup>2</sup>, která navazuje na kompostovací plochu.

Na kompostovací ploše probíhá 1. a 2. Fáze komponovacího procesu po dobu cca 30 dnů. Potom je kompost přesunut mimo kompostovací plochu k dozrání na 30-70 dnů. Podle kvality vstupních surovin trvá celý kompostovací proces 60-100 dnů. Hotový kompost je skladován mimo kompostovací plochu.

Průsakové vody s obsahem cenných huminových látek jsou jímány do záchytné jímky a používány v co největší míře k vlhčení míchaného substrátu. Případný přebytek je odvážen na některou ze smluvních ČOV.

Po shromáždění a složení bioodpadů dle druhu dochází k homogenizaci přijatých odpadů – rozmělnění či rozdrčení vstupních surovin na velikost 5–20 cm. Následně se tvoří zakládka lichoběžníkového tvaru o šířce min. 2,5m, výšce min. 1,3 m a délce 45 m. Hmotnost jedné zakládky je cca 47 tun. Počet zakládek se odvíjí od množství bioodpadu a klimatických podmínek, od kterých je odvislá doba zrání kompostu. Poměr bioodpadů je pro každou skladbu stanoven individuálně podle kvality. Jedna zakládka je vždy ve fázi přípravy tzn. postupného navážení odpadů. Ostatní pak ve fázi zrání kompostu, kdy již do zakládky nejsou přidávány žádné další odpady, vyjma surovin zlepšující fyzikálně-chemické vlastnosti jako je např. štěpka a zemina. Při zrání je udržována správná vlhkost a jsou prováděny pravidelné překopávky pomocí překopávače. To je prováděno 1 až 3x během zrání. Vybavení kompostárny

- traktor DEUTZ FAHR Agrofarm 430 G s čelním nakladačem – slouží pro manipulaci s přijatým materiálem a hotovým kompostem
- štěpkovač GLD Herkules C 150 – drcení dřevní hmoty
- Překopávač kompostu EKL 2500 - překopávka a provzdušnění zakládek kompostu
- Síto PEZZOLATO L 3000 mini – finální úprava kompostu
- Drtič kompostér BIOGREEN 06
- Mostní váha

Všechny stroje a čerpadlo jsou parkovány a umístěny v areálu sídla firmy COMPAG VOTICE s. r. o. nebo v areálu skládky odpadů Votice nebo v areálu provozovny kompostárny, a to z důvodu ochrany majetku (LOCHOVSKÁ, 2016)..

#### **4.5 Kompostárna Jarošovice**

Sídlo kompostárny Jarošovice se nachází v bývalém zemědělském areálu v obci Jarošovice v jihočeském kraji. Iniciátorem a nositelem je občanské sdružení PRO-ODPAD. Vznikla na základě dohody mezi místními zemědělci, odpadářskými svozovými firmami a obcemi mikroregionu Vltavotýnsko. Z původních 10 000 tun byla kapacita kompostárny navýšena na 19 200 tun ročně. Kompostárna zpracovává trávu, listí, hnůj, větve. Dále kaly z ČOV, pařezy, kořeny, rybníční bahno, ovoce a zeleninu. Finálním produktem je kompost „zahradník“ určený pro nezemědělské půdy a kompost „farmář“, který je odebírán zemědělci.

##### **4.5.1 Popis a technologie kompostárny**

Kompostárna využívá technologii kompostování v pásových hromadách na zpevněné volné ploše. Celková výměra kompostovací plochy činí 4800 m<sup>2</sup>. Ta je vyspádovaná směrem k přístupové části, odtud je voda odváděna odtokovými stokami s roštovým betonovým krytem a dále porubím do jímky, která má objem 200 m<sup>3</sup>. Voda z jímky slouží k zavlažování kompostu. Případné přebytky jsou odvezeny do ČOV v Týně nad Vltavou. Při kompostování nejsou používány ani aplikovány žádné biopreparáty ani biostimulátory. Využita je pouze přirozená inokulace bakteriemi přítomnými ve zpracovávaných kalech z ČOV, v přimíchané zemině či mikrobiální organismy z vytríděného BRKO. V případě, že je dekompoziční proces příliš dlouhý, jsou do zakládky přidány pro výživu bakterií dusíkaté látky, jako je močovina či ledek amonný s vápencem.

Přijímaný odpad je nejprve zvážěn na váze kompostárny a poté složen na vlastní ploše kompostárny. Pokud není odpad ihned zpracován, je dočasně uskladněn jako zásoba materiálu pro vyvážení budoucích zakládek. Objemnější odpad, jako větve, dřevo apod. je nadrcen rychloběžným mobilním drtičem na menší části. Po vyvážení optimálního poměru uhlíku a dusíku 30:1 je homogenizovaná směs ukládána do pásových hromad lichoběžníkového tvaru o rozměrech 4x21x3 m. Minimální doba procesu kompostování je 60 dnů pro komposty určené na

nezemědělské půdy, pro komposty na zemědělské půdy je pak 60-100 dní. V průběhu zrání je kompost minimálně ještě jednou překopán, přičemž interval mezi první a druhou překopávkou musí být větší než 21 dní. U kompostu pro nezemědělské plochy musí teplota dosáhnout 55°C po dobu 21 dní nebo větší než 65°C. U kompostů pro zemědělskou půdu 55°C po dobu 21 dní. Měření je prováděno tyčovým teploměrem v minimální hloubce 1 m od povrchu 2x týdně. Průmyslový kompost pro aplikaci nezemědělskou půdu může být vyexpedován nejdříve 14 dní po skončení druhé překopávky, přičemž v té době nesmí být v hloubce 50 cm pod povrchem zakládky teplota vyšší než 45 °C, na zakládce nesmí být nevsáklá zvlaha a zakládka musí být urovnána do tvaru umožňujícího bezpečné vzorkování, bez porostu plevelů. V případě, že výsledný produkt nesplní požadavky normy, je nutné provést nový kompostovací proces.

#### **4.5.2 Technické vybavení**

Kompostárna má k dispozici následující vybavení:

- Čelní nakladač–MerloTurbofarmer P 34.7
- Mobilní drtič–Doppstadt AK 430 Mega
- Zařízení pro provzdušňování a překopávání – čelní nakladač, překopávací fréza, síto
- Zařízení pro zvlhčování–kalové čerpadlo
- Elektronická nájezdová automobilová váha

Některé služby pro provoz Kompostárny Jarošovice jsou zajišťovány smluvně (KRATOCHVÍLOVÁ a kol., 2015).

Obrázek č. 10 Jarošovice - síto



Zdroj: Autor

Obrázek č. 11 Jarošovice – jímka



Zdroj: Autor

Obrázek č. 12 Jarošovice - Hotový kompost



Zdroj: Autor

#### 4.6 Metodika

V pěti vzorcích kompostu byla stanovena maximální sorpční kapacita metodou podle Sandhoffa (SANDHOFF 1954, KUŽEL a kol. 1996). Vzorky kompostu byly odebrány v průběhu roku 2016. Vzorek obsahoval finální produkt, tedy zralý kompost jednotlivých kompostáren. Jejich přehled je znázorněn v tabulce č. 8. Jednotlivé údaje o kompostárnách byly získány převážně během osobní návštěvy od jejich provozovatelů a z dostupných informací Výzkumného ústavu zemědělské techniky, v. v. i.

Tabulka č. 8 Vybrané kompostárny a jejich kapacita

<b>Vybrané kompostárny</b>	<b>Kapacita t.rok<sup>-1</sup></b>	<b>Množství vyrobeného kompostu t.rok<sup>-1</sup></b>
Jarošovice (J)	10 000	2 500
Hantály Velké Pavlovice (H)	10 000	1 200
Kompostárna	600	

Votice		
Trhový Štěpánov (TŠ)	2 300	400
Želivec (Ž)	10 000	4 000

Vzorky kompostů byly vysypány na suchou a čistou podložku a usušeny. Hrubý na vzduchu vyschlý vzorek byl rozmělněn ve třecí misce po částech tak, aby došlo k oddělení kompostu od nerozložitelných částí. Následně byl poséván sítem o velikosti 2 mm. Prosátá jemnozemi i skelet z nerozložitelných zbytků byly následně zváženy a procentuálně vyjádřeny.

Navážka jemnozeme byla 5 g s přesností na 0,1 g. K odvážené jemnozemi ve vysoké 250 ml kádince bylo přidáno 100 ml 0,1 M HCl. Připravená suspenze byla následně zahřívána na laboratorní varné desce po dobu 30 min. Poté byl obsah kádinky kvantitativně přemístěn na filtr a suspenze byla promývána destilovanou vodou, tak dlouho, dokud nebyly přítomné ionty Cl<sup>-</sup>. Ověření bylo provedeno zkouškou pomocí AgNO<sub>3</sub>, který byl přikapán do filtrátu na laboratorním sklíčku. Při úplném vymytí Cl<sup>-</sup> iontů nedochází ke vzniku bílé opaleskující sraženiny.

Zemina na filtru byla kvantitativně převedena zpět do kádinky a doplněna destilovanou vodou o objemu přibližně 200 ml. Po vložení míchadla byla kádinka umístěna na elektromagnetickou míchačku. Do suspenze byly vloženy elektrody konduktometru značky RADELKIS Budapest typ OK 102/1. Vodivost jednotlivých vzorků kompostu byla měřena současně na dvou konduktometrech z důvodu minimalizace lidské chyby během měření (např. při přepínání rozsahu během měření) a z důvodu vzájemné kontroly naměřených hodnot během měření. Uvedené typy konduktometrů plně odpovídají požadavkům zemědělské praxe pro stanovení iontovýmenné kapacity odebraných vzorků kompostu. Suspenze byla titrována Ba(OH)<sub>2</sub> s faktorizací v minutových intervalech o objemu 1 ml. Analýza každého vzorku probíhala ve třech opakováních. Při změně rozsahu stupnice přístrojů z 50–5000 μS byla provedena kalibrace, aby nedošlo ke zkreslení naměřených hodnot.



Obrázek č. 13 Titrační souprava s konduktometry



Zdroj: Autor

Obrázek č. 14 Promývání vzorků



Zdroj: Autor

## 5 Výsledky a diskuze

Výsledky laboratorního měření jsou shrnuty v následujících grafech, kdy na ose x byla vynesena spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> v mililitrech a na ose y vodivost v [μS]. Do grafu byly dosazeny přímky, kdy jedna tečna je sestrojena k vodorovné větvi a druhá tečna protíná tři konstantní nárůsty vodivosti. Jejich průsečík udává spotřebu roztoku Ba(OH)<sub>2</sub> v ml při dosažení sorpční kapacity – tzv. bod ekvivalence, který byl posléze dosazen do vzorce. Vzorec pro výpočet maximální iontovýměnné kapacity T konduktometricky dle Sandhoffa.

Vzorec pro výpočet maximální iontovýměnné kapacity T konduktometricky dle Sandhoffa (SANDHOFF, 1954, KUŽEL a kol. 1996).

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

s – spotřeba roztoku Ba (OH)<sub>2</sub> odečtená z grafu (ml)  
n – normalita roztoku Ba (OH)<sub>2</sub>  
f – faktor Ba (OH)<sub>2</sub>  
N – navážka půdy v (g)

Tabulka č. 9 Hodnocení maximální iontovýměnné kapacity

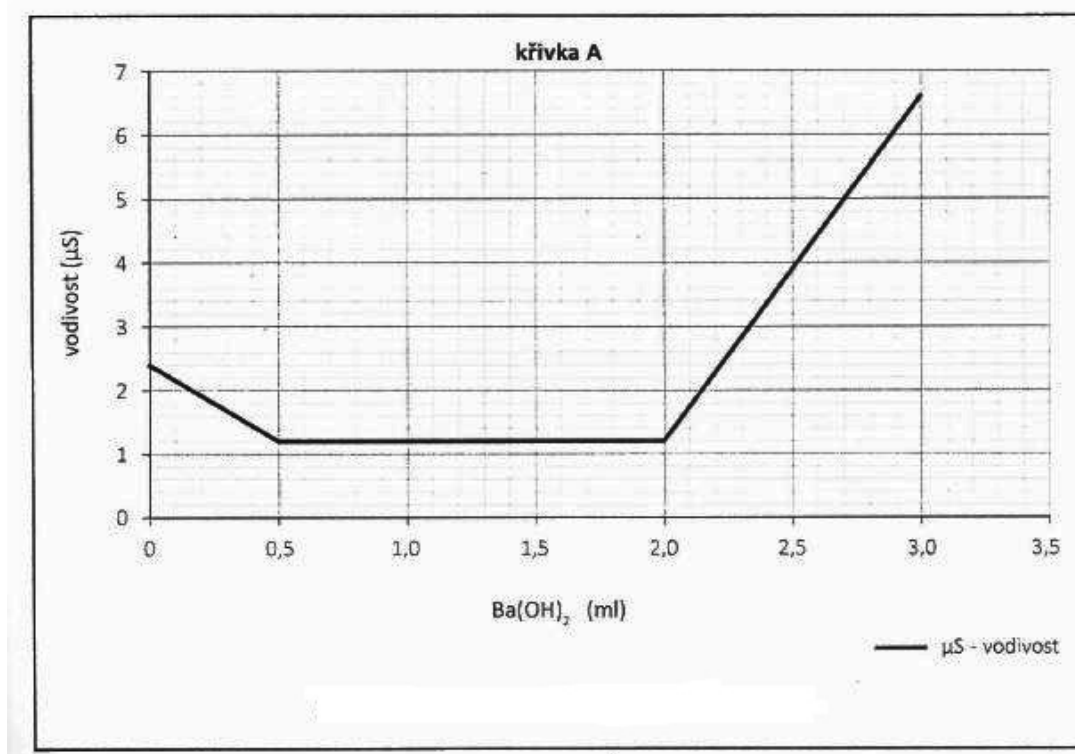
Velmi vysoká	>30 mval. 100 <sup>-1</sup> g
Vysoká	25-35 mval. 100 <sup>-1</sup> g
Střední	13-24 mval. 100 <sup>-1</sup> g
Nízká	8-12 mval. 100 <sup>-1</sup> g
Velmi nízká	<8 mval. 100 <sup>-1</sup> g

Zdroj: KUŽEL a kol. (1996)

Pro srovnání VÁCHALOVÁ a kol. (2016) uvádí porovnání křivek iontovýměnně aktivní hmoty a iontovýměnně nevyhraněné hmoty. Pro hmotu s aktivní iontovýměnnou kapacitou je charakteristický trojpřímkový průběh, který zobrazuje obrázek č. 15. Křivka iontovýměnně nevyhraněné hmoty je na obrázku č. 16.

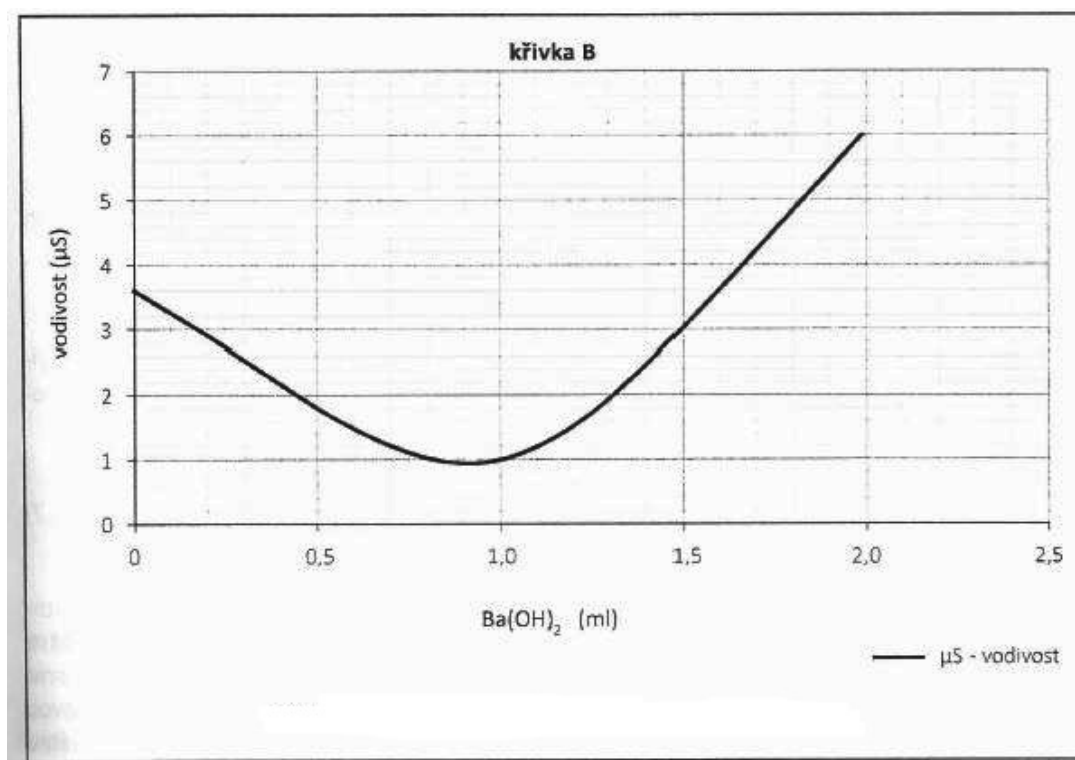


Obrázek č. 15 Křivka iontovýměnně aktivní hmoty



Zdroj: VÁCHALOVÁ a kol. (2016)

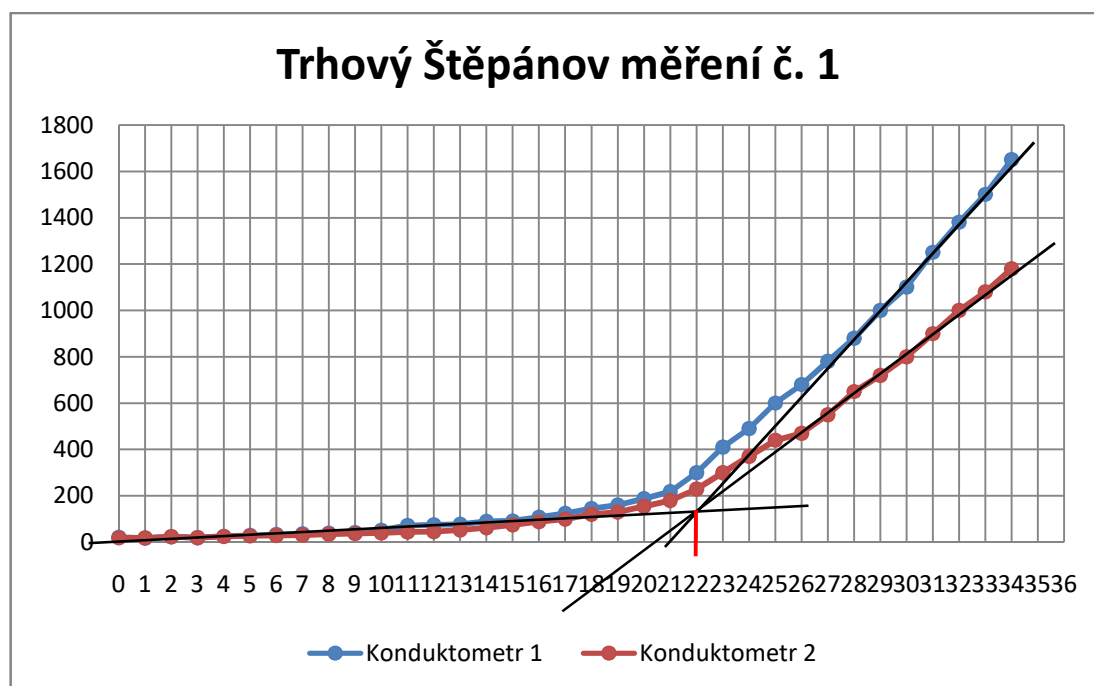
Obrázek č. 16 Křivka iontovýměnně nevyhraněné hmoty



Zdroj: VÁCHALOVÁ a kol. (2016)

## 5.1 Výsledky jednotlivých měření

Graf č. 4 Měření č. 1 Trhový Štěpánov, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 10 Výpočet T - měření č. 1 Trhový Štěpánov

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 22 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 22 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 89,32 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 89,32 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

Graf č. 5 Měření č. 2 Trhový Štěpánov, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 11 Výpočet T - měření č. 2 Trhový Štěpánov

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 19 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 17,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 77,14 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 71,5 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

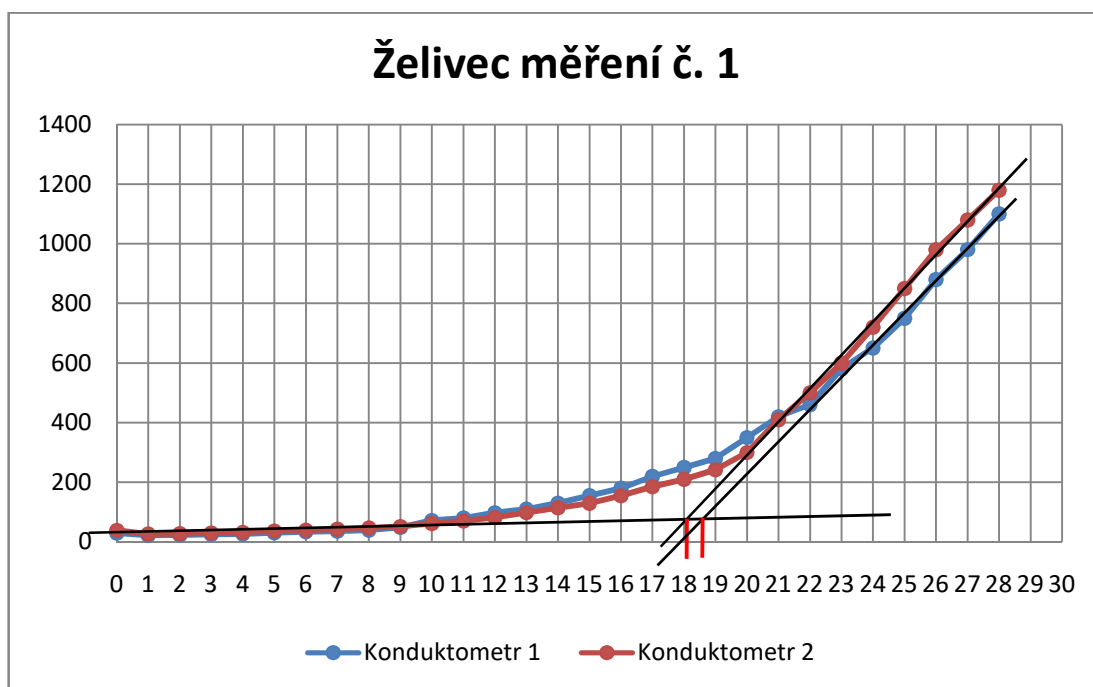
Graf č. 6 Měření č. 3 Trhový Štěpánov, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 12 Výpočet T - měření č. 3 Trhový Štěpánov

<b>Konduktometr 1</b>	<b>Konduktometr 2</b>
$T_1 = 20 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 18,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 81,2 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 75,11 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

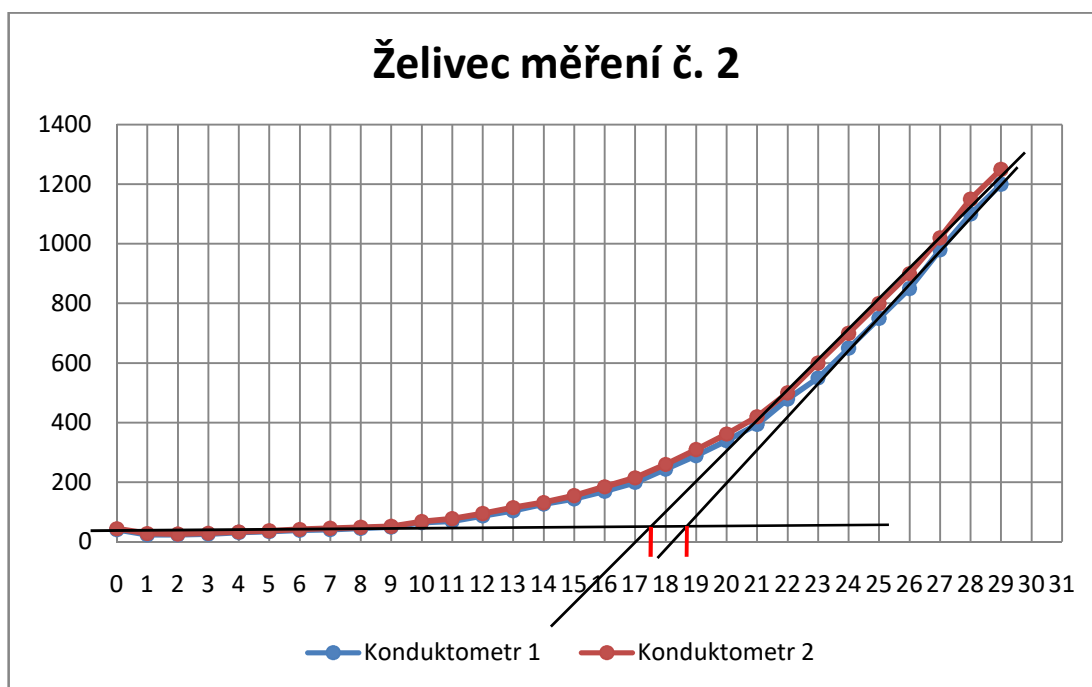
Graf č. 7 Měření č. 1 Želivec, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 13 Výpočet T –měření č. 1 Želivec

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 18,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 18 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 75,11 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 73,08 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

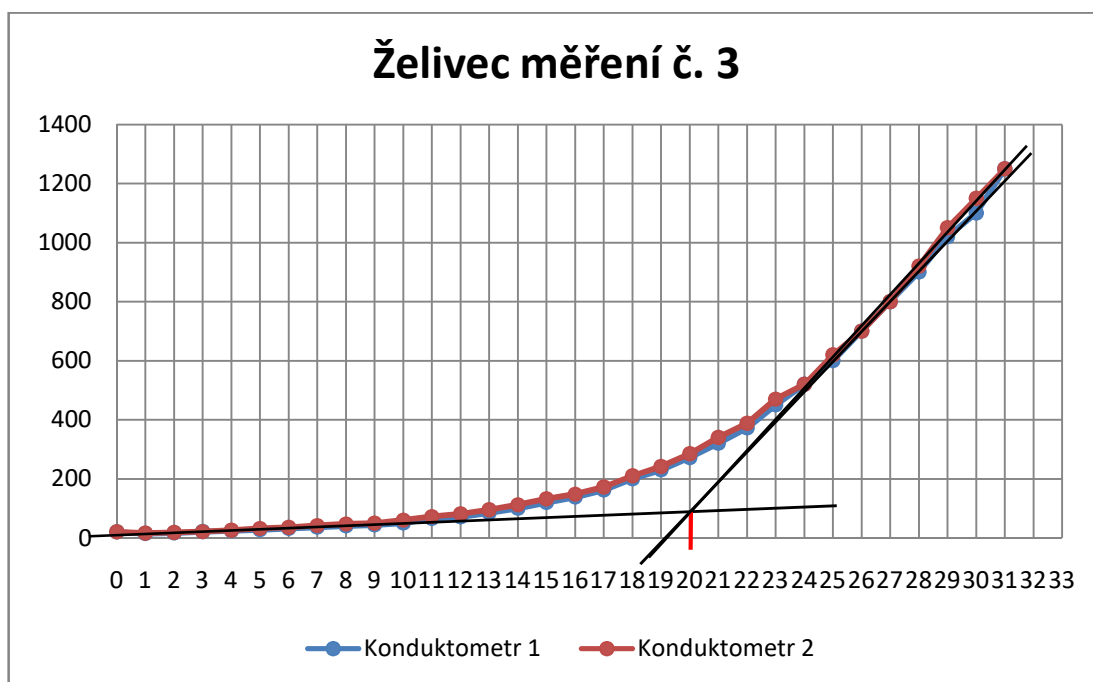
Graf č. 8 Měření č. 2 Želivec, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 14 Výpočet T - měření č. 2 Želivec

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 18,8 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 17,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 76,33 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 71,05 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

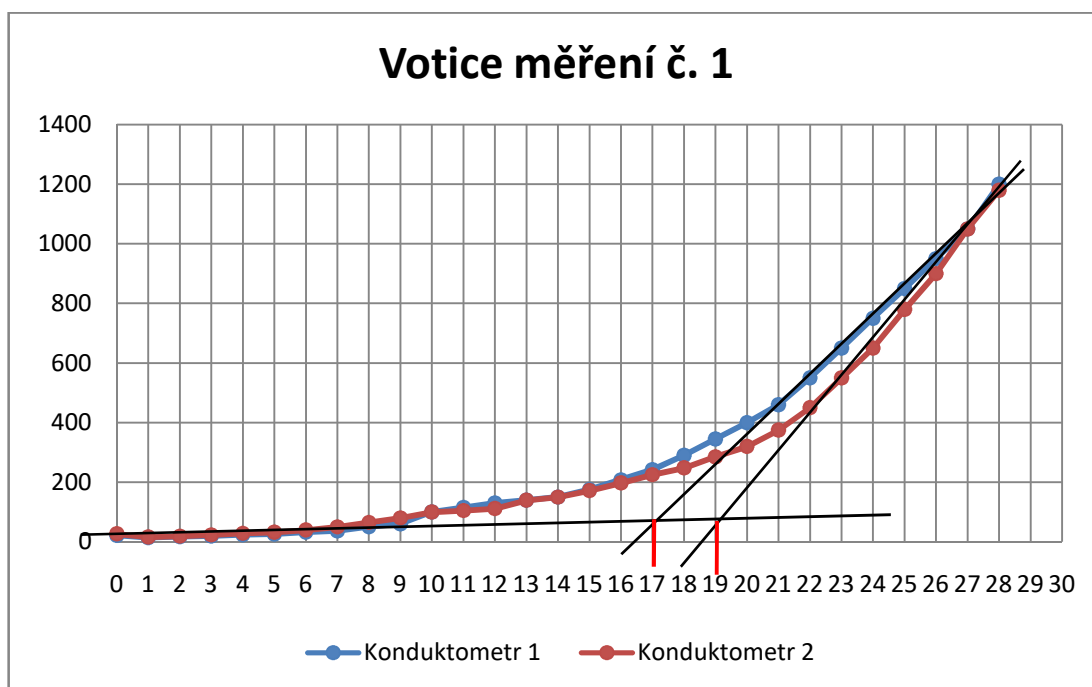
Graf č. 9 Měření č. 3 Želivec, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 15 Výpočet T - měření č. 3 Želivec

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 20 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$	$T_2 = 20 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$
$T_1 = 81,2 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 81,2 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

Graf č. 10 Měření č. 1 Votice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]

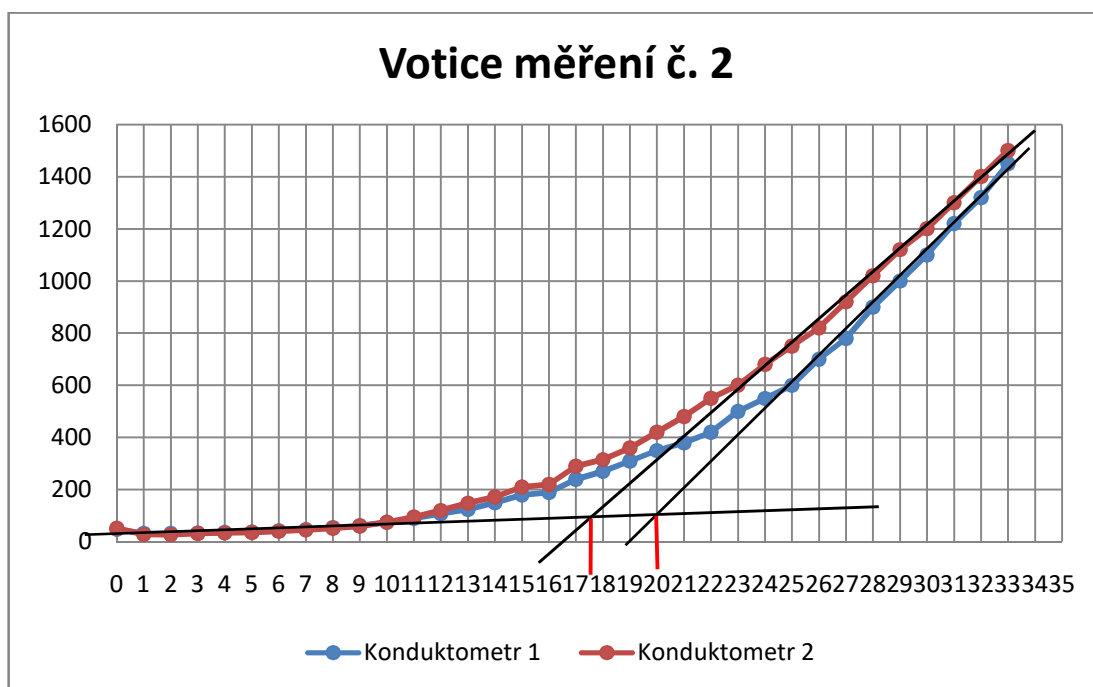


Tabulka č. 16 Výpočet T - měření č. 1 Votice

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 17 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$	$T_2 = 19 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$
$T_1 = 69,02 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 77,14 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$



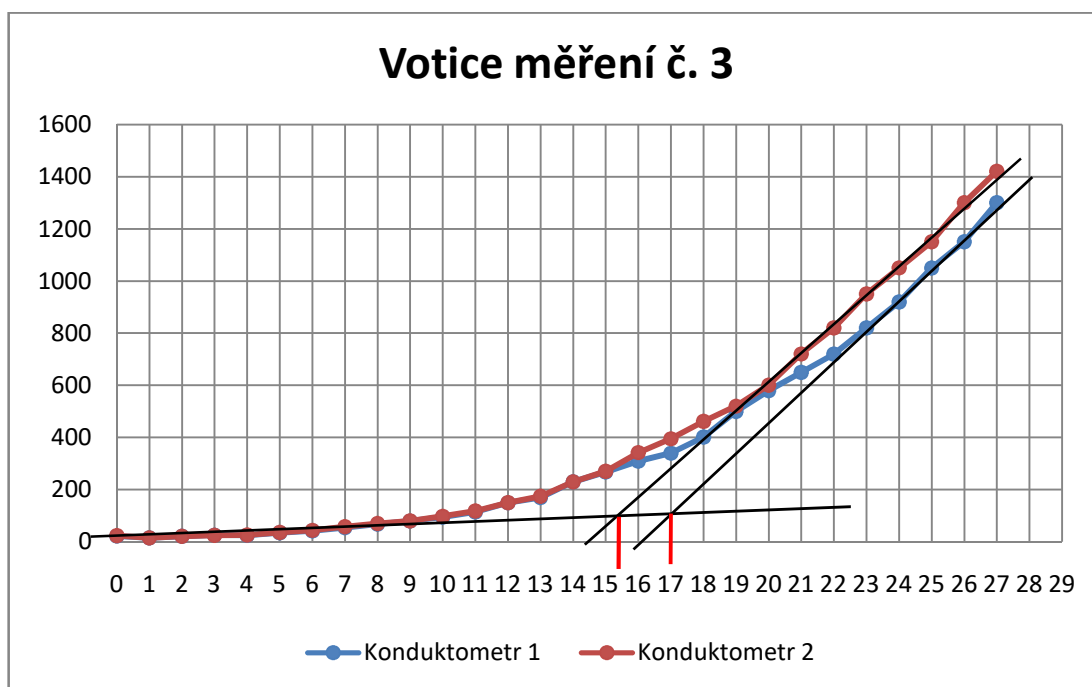
Graf č. 11 Měření č. 2 Votice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 17 Výpočet T - měření č. 2 Votice

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 20 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$	$T_2 = 17,5 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$
$T_1 = 81,2 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 69,02 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

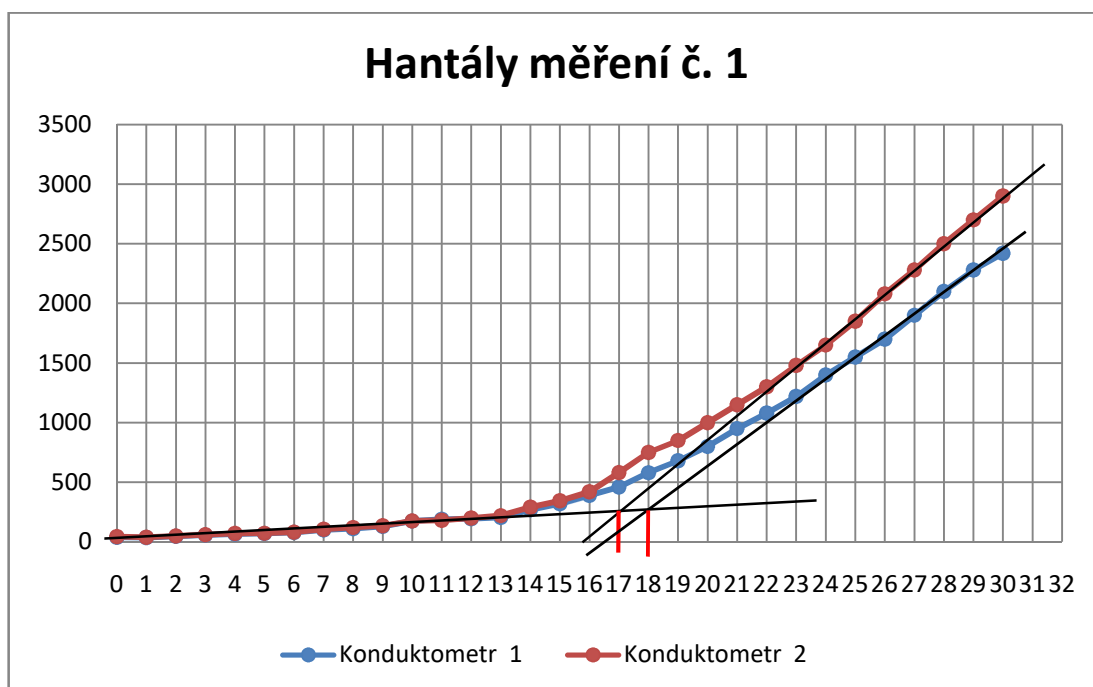
Graf č. 12 Měření č. 3 Votice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 18 Výpočet T - měření č. 3 Votice

<b>Konduktometr 1</b>	<b>Konduktometr 2</b>
$T_1 = 17 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$	$T_2 = 15,5 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100 / 5$
$T_1 = 69,02 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 62,93 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

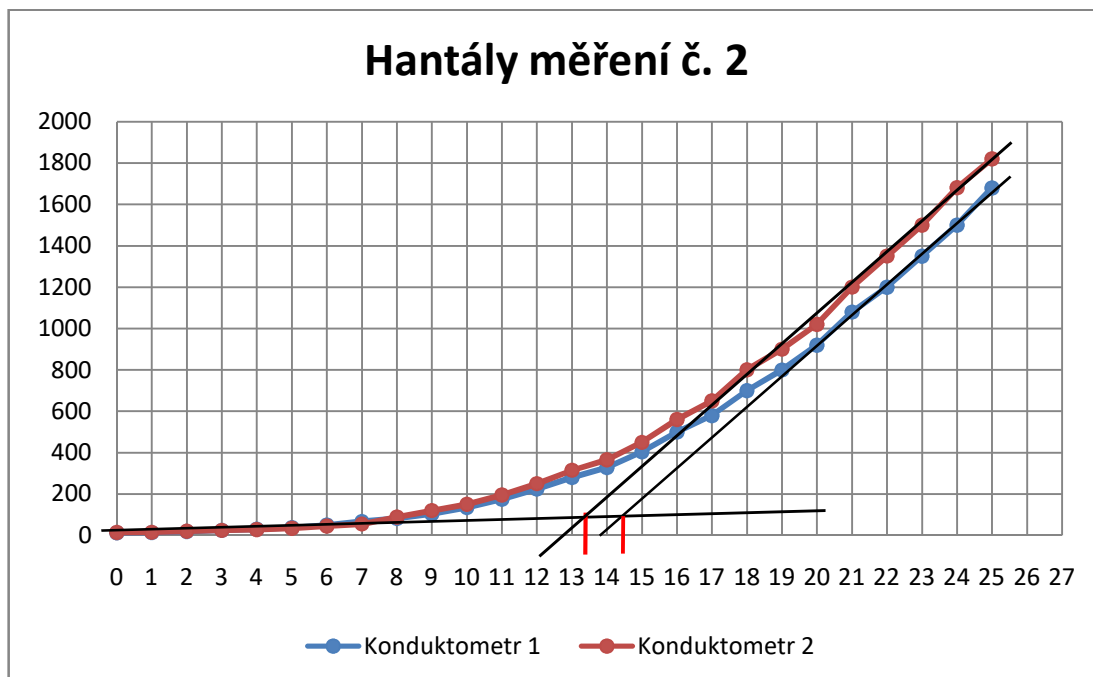
Graf č. 13 Měření č. 1 Hantály, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 19 Výpočet T - měření č. 1 Hantály

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 18 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100/5$	$T_2 = 17 \cdot 1,015 \cdot 0,2 \cdot 100/5$
$T_1 = 73,08 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 69,02 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

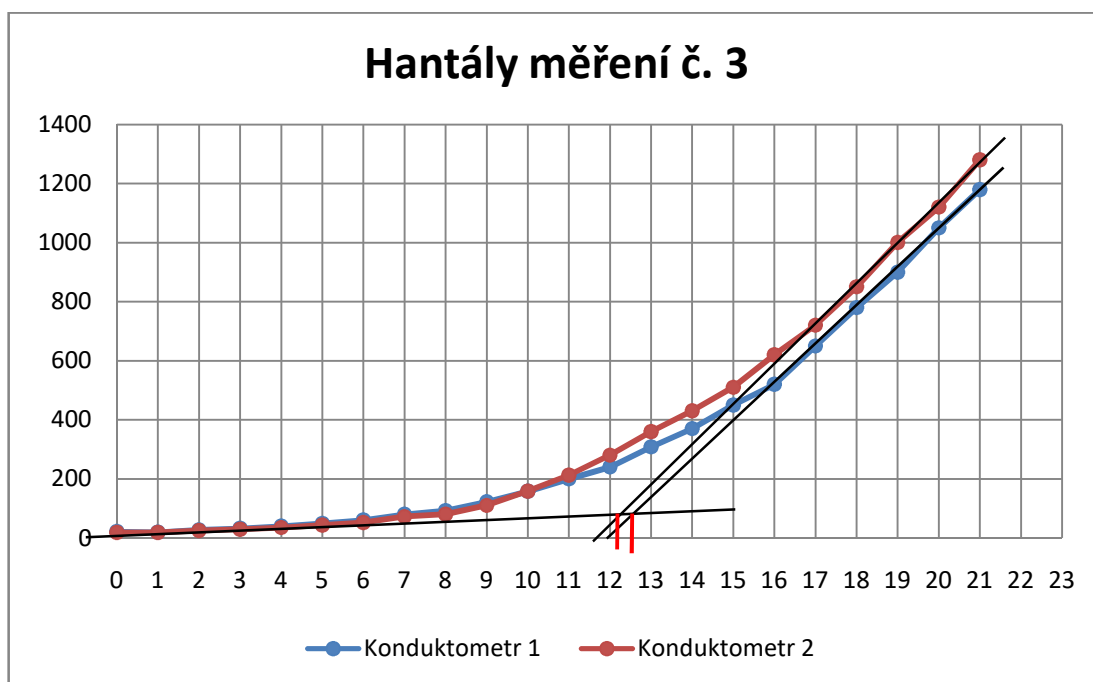
Graf č. 12 Měření č. 2 Hantály, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 20 Výpočet T - měření č. 2 Hantály

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 14,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 13,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 58,87 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 54,81 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

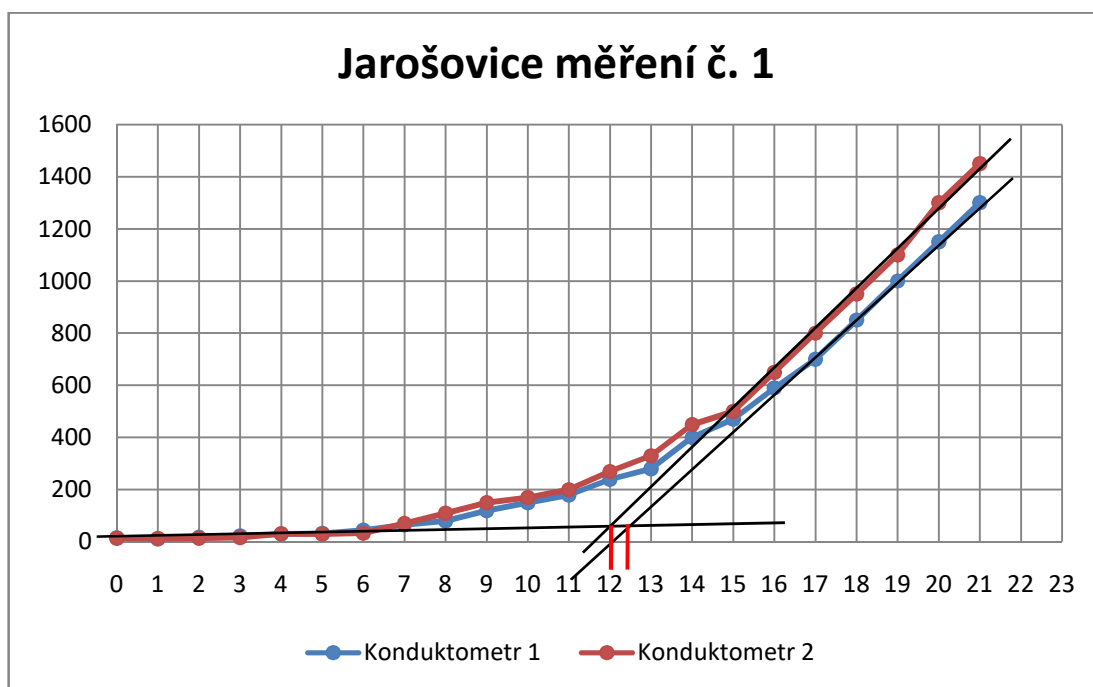
Graf č. 15 Měření č. 3 Hantály, osa x spotřeba Ba(OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 21 Výpočet T - měření č. 3 Hantály

<b>Konduktometr 1</b>	<b>Konduktometr 2</b>
$T_1 = 12,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 12,2 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 50,75 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 49,53 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

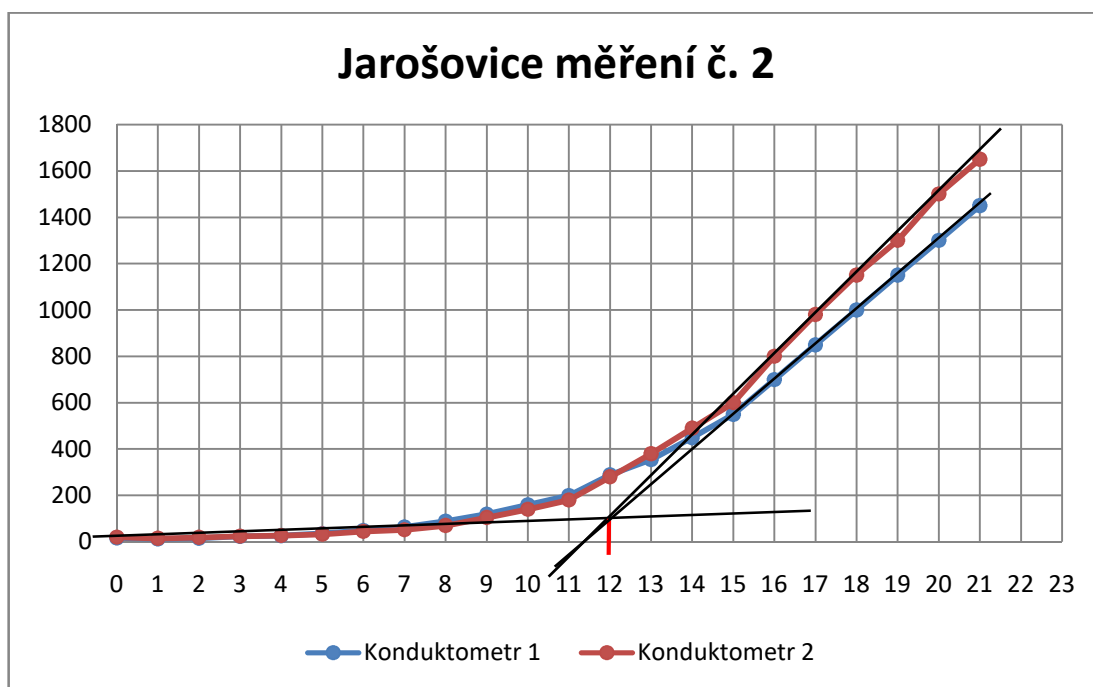
Graf č. 16 Měření č. 1 Jarošovice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 22 Výpočet T - měření č. 1 Jarošovice

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 12,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 12 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 50,75 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 48,72 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

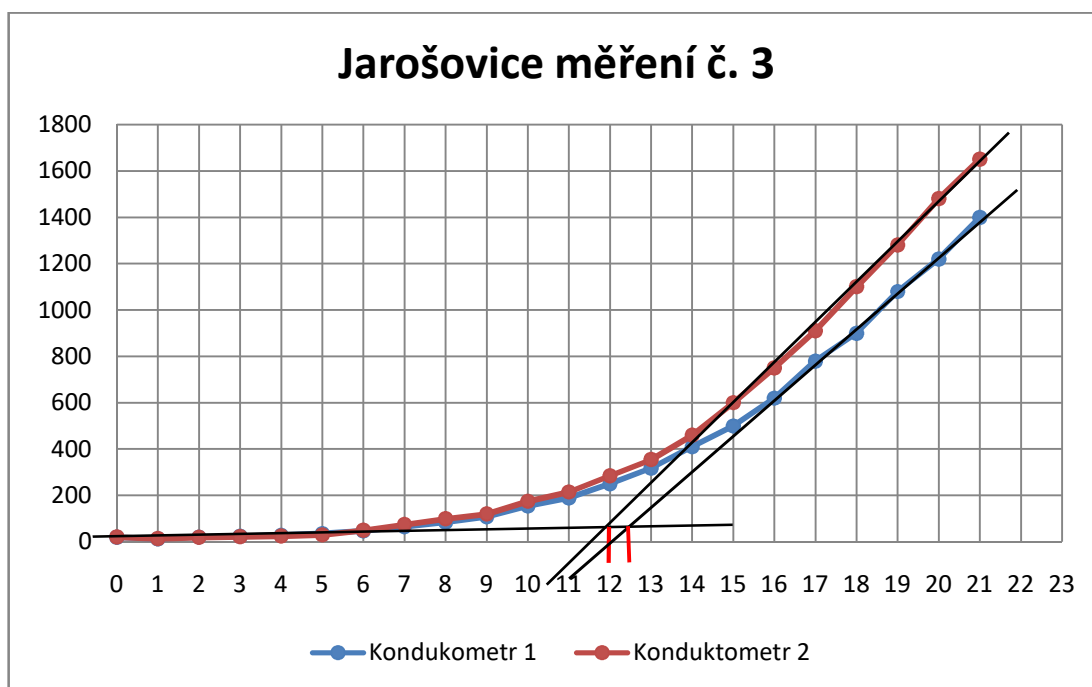
Graf č. 17 Měření č. 2 Jarošovice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 23 Výpočet T - měření č. 2 Jarošovice

<b>Konduktometr 1</b>	<b>Konduktometr 2</b>
$T_1 = 12 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 12 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 48,72 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 48,72 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

Graf č. 18 Měření č. 3 Jarošovice, osa x spotřeba Ba (OH)<sub>2</sub> [ml], osa y vodivost [μS]



Tabulka č. 24 Výpočet T - měření č. 3 Jarošovice

Konduktometr 1	Konduktometr 2
$T_1 = 12,5 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$	$T_2 = 12 * 1,015 * 0,2 * 100 / 5$
$T_1 = 50,75 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$	$T_2 = 48,72 \text{ mval. } 100^{-1} \text{ g}$

U výsledných hodnot byl pomocí programu Office Excel proveden Dean Dixonův test (nově nazývaný jako Q test), který se používá posouzení výsledků v analytické chemii pro výpočet intervalu spolehlivosti a tím vyloučení hrubých chyb (ECKSCHLAGER a kol., 1980).

Tabulka č. 25 Hodnoty kationové výměnné kapacity jednotlivých měření

Kompostárna	KVK						Prům. KVK
Jarošovice	48,72	48,72	48,72	50,75	48,72	50,75	49,40
Votice	77,14	69,02	62,93	69,02	81,2	69,02	71,39
Hantály	69,02	54,81	49,53	73,08	58,87	49,53	59,14
Trh. Štěp.	89,32	71,05	75,11	89,32	77,14	81,2	80,52



<b>Želivec</b>	73,08	71,05	81,2	75,11	76,33	81,2	76,33
----------------	-------	-------	------	-------	-------	------	-------

Tabulka č. 26 Hodnoty kationové výměnné kapacity po provedení Dean Dexonova testu

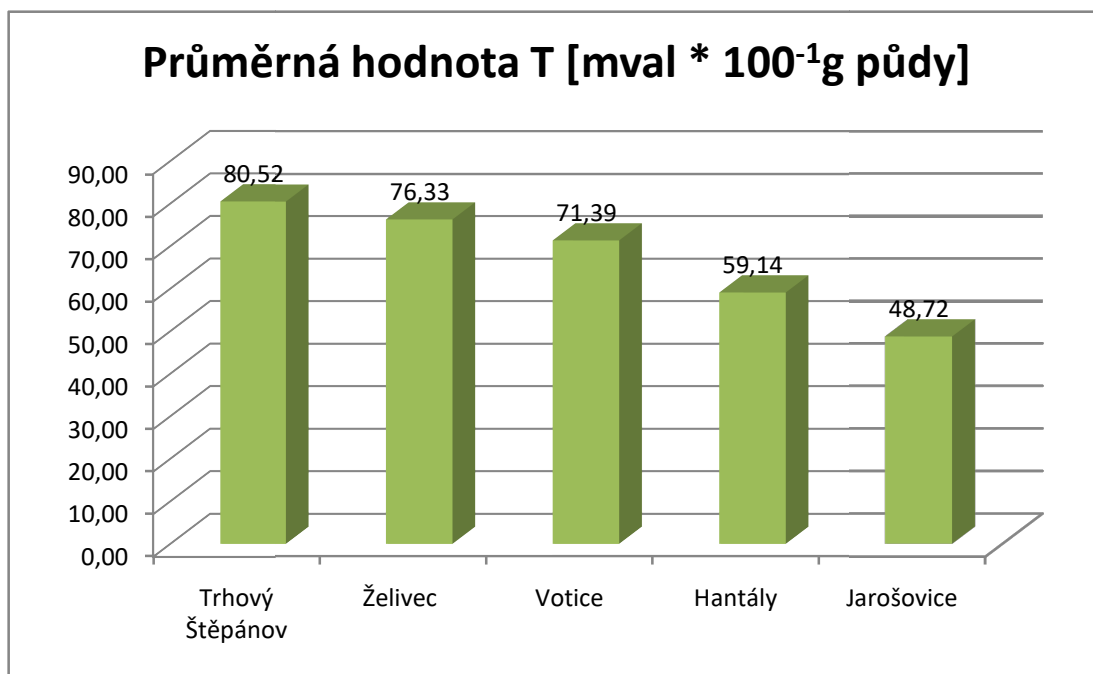
<b>Kompostárna</b>	<b>KVK</b>						<b>Prům. KVK</b>
<b>Jarošovice</b>	48,72	48,72	48,72	48,72			48,72
<b>Votice</b>	62,93	69,02	69,02	69,02	77,14	81,2	71,39
<b>Hantály</b>	49,53	49,53	54,81	58,87	69,02	73,08	59,14
<b>Trh. Štěp.</b>	71,05	75,11	77,14	81,2	89,32	89,32	80,52
<b>Želivec</b>	71,05	73,08	75,11	76,33	81,2	81,2	76,33

Dále bylo provedeno statistické vyhodnocení získaných dat metodou jednofaktorové analýzy a variace (ANOVA). Pro vyhodnocení dat byl využit software Statistica 12 CZ.

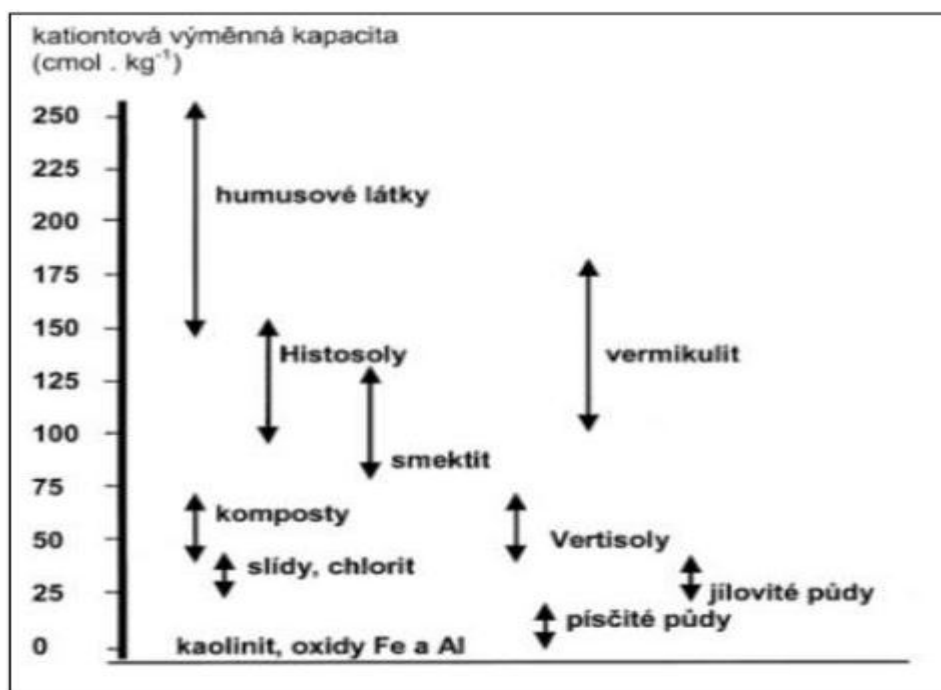
VÁCHALOVÁ a kol. (2014) uvádí, že půdní organickou hmotu (POH) tvoří dvě složky. První je primární organická půdní hmota, která tvoří nezhumifikovanou část POH a je charakteristická větší či menší biodegradabilitou a zanedbatelnou schopností iontové výměny, i když může mít schopnost sorpční. Druhou složkou jsou humusové látky, které mají rozdílné vlastnosti. Těmi jsou nepatrná biodegradabilita a naopak vyhraněná schopnost iontové výměny. To potvrzuje i SOTÁKOVÁ (1982) uvádí, že KVK kationtová výměnná kapacita, označovaná také jako maximální sorpční kapacita T se zvyšuje s vyšším obsahem humusových koloidů v půdním organominerálním sorpčním komplexu. Jak píše VÁCHALOVÁ (2012), obsah humusových látek v kompostu je příčinou jeho vysoké sorpční a iontovýmenné kapacity. Ačkoli všechny uvedené kompostárny využívají prakticky stejnou technologii výroby, byly naměřeny znatelné rozdíly, které jsou způsobené zejména rozdílnou zakládkou a technologickými podmínkami, nicméně všechny komposty vykazují vysokou kvalitu. Průměrné hodnoty kationové výměnné kapacity vyšly u všech testovaných vzorků jako velmi vysoké. Jak uvádí VÁCHALOVÁ (2012), při výrobě kompostu má být kromě hygieny kladen důraz i na vyzrállost kompostu,

zejména na stupeň přeměny organické hmoty. Výsledný produkt je dále ovlivněn kvalitou substrátu, obsaženou mikroflórou, ale i dobrými technologickými podmínkami. Podle STOFFELA a KAHNA (2001) a BUTLERA a kol. (2001) je hodnota KVK vyšší, čím je delší doba kompostování, protože organická hmota se pak stává více humifikovanou. LECHNER A SMIDT (2003) pak uvádějí, že složení vstupních surovin má značný vliv na kvalitu organické hmoty. Podle HABARTA (2010) kvalita kompostu je ovlivněna jednak složením vstupní směsi, ale také způsobem zpracování. Nejvyšší průměrnou hodnotu vykazovaly vzorky z kompostárny Trhový Štěpánov, a sice 78,49 mval. 100<sup>-1</sup>g. Lze tedy konstatovat, že kompost z této kompostárny má nejvíce humusových látek a lze i předpokládat vhodný poměr vstupních surovin a optimální zpracování. Následovala kompostárna Želivec s 75,11 mval. 100<sup>-1</sup> g. Průměrná KVK kompostu z kompostárny Votice byla 69,7 mval. 100<sup>-1</sup> g. Jedná se o malou kompostárnu městského typu, která oproti ostatním kompostárnám zpracovává nejméně odpadu, a sice 567 tun ročně. Hantály a Jarošovice pak měly 57,79 mval. 100<sup>-1</sup> g a 48,72 mval. 100<sup>-1</sup> g. Výsledky shrnuje graf č. 19

Graf č. 19 Průměrná hodnota kationové výměnné kapacity



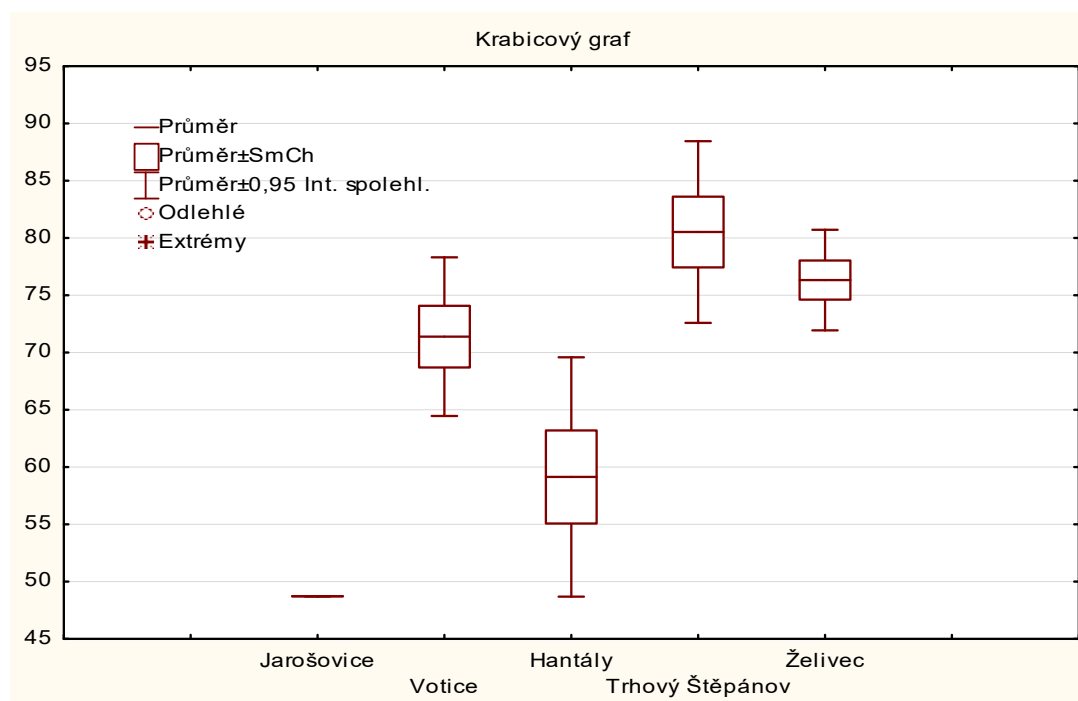
Obrázek č. 17 Kationtová výměnná kapacita při pH 7 u vybraných látek



Zdroj: BRADY a WEILL (1999)

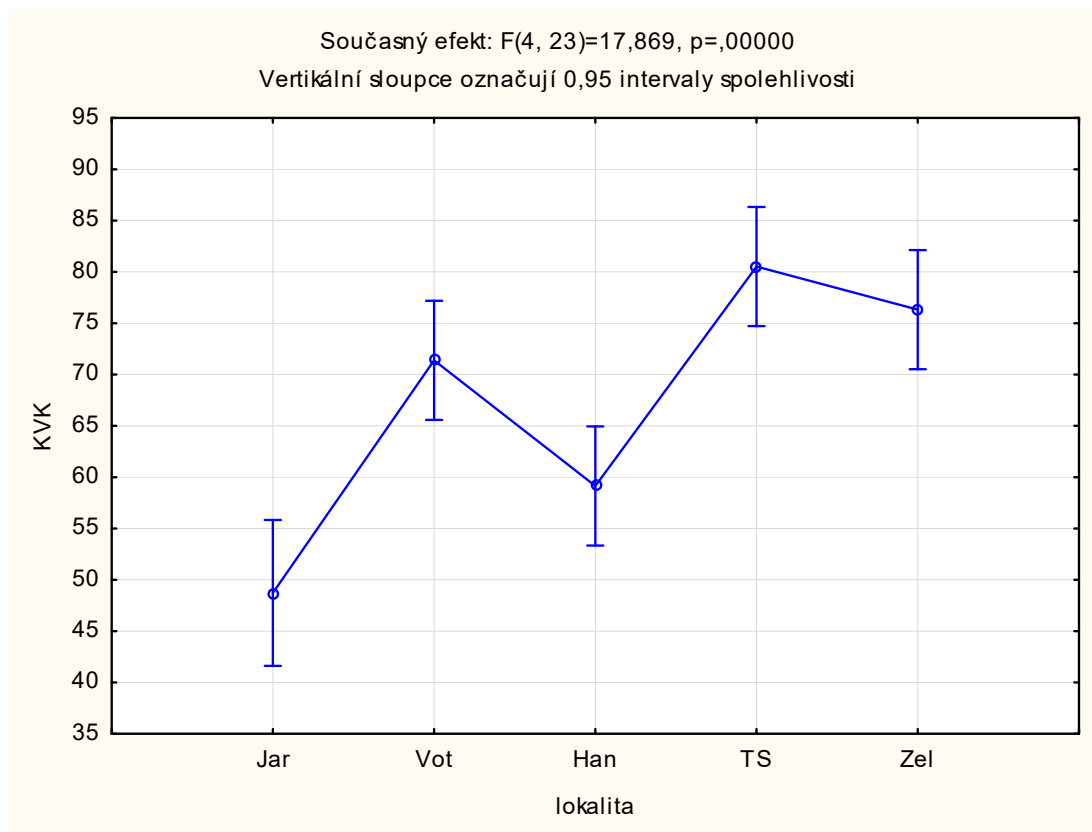
Následující graf zobrazuje průměrnou hodnotu KVK, průměrnou směrodatnou chybu průměru a interval spolehlivosti u jednotlivých měření.

Graf č. 20 Krabicový graf



Graf č. 21 zobrazuje, že kompost z Jarošovice, u kterého byla naměřena nejmenší KVK, se statisticky průkazně liší od kompostů z kompostáren Votice, Trhový Štěpánov a Želivec. U kompostárny Hantály byla vyhodnocena statisticky průkazná odlišnost od kompostárny Trhový Štěpánov a Želivec.

Graf č. 21 Graf analýzy variace, bod označuje průměrnou hodnotu, úsečky značí 0,95% intervaly spolehlivosti



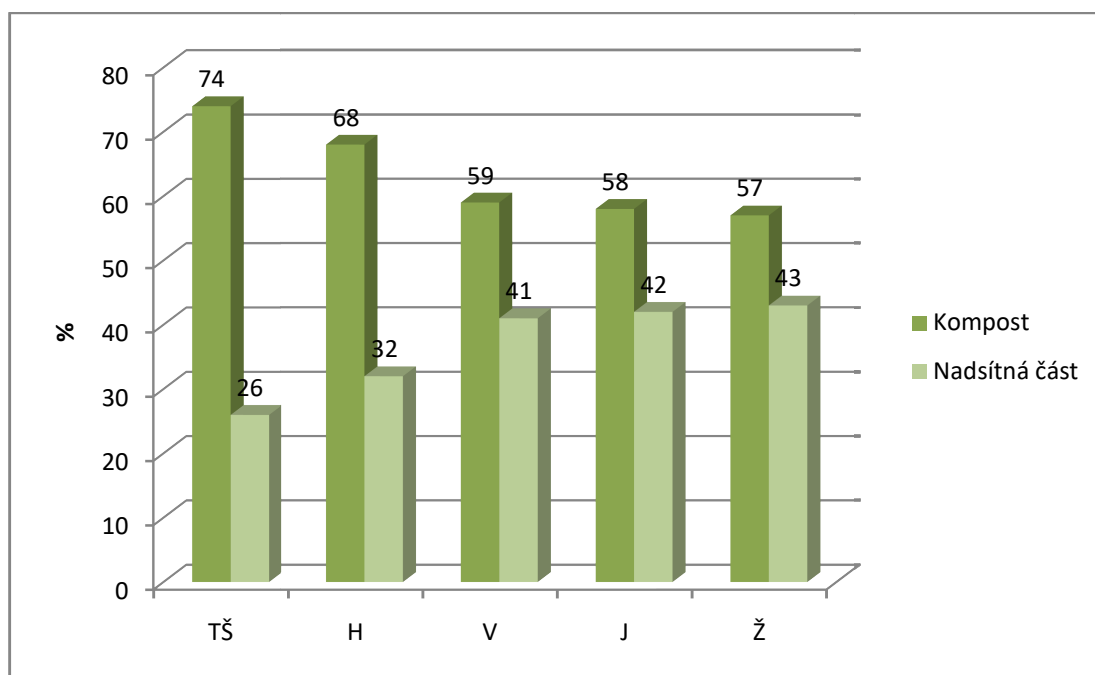
Kompostárna Trhový Štěpánov měla vedle nejvyšší KVK také nejmenší podíl nerozložených částic, konkrétně 26 %. To lze vysvětlit tím, že při výrobě finálního kompostu se používají síta s různými velikostmi ok. Jak uvádí JUNGA a kol. (2015), při výběru velikosti ok hraje roli nejen požadavek zákazníka, ale i stupeň biodegradace. Zvyšujícím se stupněm zetlení totiž stoupá možnost jemnějšího prosetí kompostu. Podíl nerozložených částic kompostárny Hantály byl 32 % a nejvíce měly Votice s 41 %, Jarošovice s 42 % a Želivec s 43 %. Hodnoty shrnuje graf č. 22.

HORÁČKOVÁ (2015) ve své práci uvádí, že množství nadsítné frakce závisí na technologii kompostování, objemu dřevní hmoty v zakládce, kvalitě a složení

vstupních surovin. Dále na vlhkosti prosévaného kompostu, výkonnosti síta a velikosti ok.

Pro čerstvý kompost se používá síto s velikostí ok 0-40/50 mm. Pro vyžrálý kompost pak 0-15/20 mm a pro kompost pro výrobu substrátu síta s velikostí ok 0-10 mm. Jak již bylo zmíněno v kapitole Materiál a metody, při přípravě vzorku pro laboratorní analýzu bylo použito síto s velikostí ok 2 mm. Řada kompostáren po předběžném zetlení prování první hrubé prosévání a prosetá část se pak prodává jako čerstvý kompost. Neprosetá část se vrací zpět ke zkompostování. Častěji se ale prosévá vyžrálý kompost, který je buďto ihned expedován nebo se ve stabilizované formě dále uskladňuje (JUNGA a kol., 2015).

Graf č. 20 Procentuální znázornění kompostu a nerozložených částic



Podle výzkumu BADALÍKOVÉ a kol. (2016) má zapravení kompostu pozitivní význam u všech vlastností půd. Jeho zapravením dochází ke snížení utužení půd, zvýšení její pórovitosti, zlepšení kapilární kapacity a zlepšení vodostálosti půdních agregátů. ŠREFL (2012) pak zmiňuje další pozitiva, jako lepší zpracovatelnost půdy, snížení vodní eroze na svazích a zvýšení sorpční kapacity lehčích půd.

Zvýšení zadržování vody na lehčích půdách a naopak snížení podmáčení a kompatibility jílovitých půd uvádí i TITTARELLI a kol. (2007). To, že kompost zlepšuje fyzikální a chemické vlastnosti půd, potvrzují ve svých pracích i

QUÉDRAOGO a kol. (2001), ADANI a TAMBONE (2005). TITTARELLI a kol. (2007) uvádí, že zapravení kompostu do půdy nejen účinně přispívá ke změně fyzikálně-chemických parametrů půdy, ale i ke zvýšení výměnné kapacity. Dále k lepšímu zadržování vody a zvýšení obsahu organického uhlíku v půdě. Zapravením kompostu došlo podle výzkumu BROWNA a COTTONA (2011) k trojnásobnému nárůstu obsahu půdního organického uhlíku a ke zdvojnásobení mikrobiální aktivity v půdě. LEGROS a PETRUZZELLI (2001) píše, že aplikace kompostu je zdrojem organické hmoty, jejíž obsah v půdě je nízký zejména v oblastech, kde dochází k intenzivnímu hospodaření.

HŮLA a kol. (2012) doporučuje zapravení vyšších dávek kompostu z odpadní biomasy jako opatření ke zlepšení přijímání vody půdou i ke zvýšení jímavosti půdy při intenzivních srážkách. Dále uvádí, že aplikace kompostu snižuje rychlost povrchového odtoku a tím i nižší riziko vodní eroze, zvyšuje retenční schopnost půdy a snižuje její utužení. Konkrétně pak uvádí, že zapravením středních i vyšších dávek kompostu (80, 150 t.ha<sup>-1</sup>) dochází k vyšší kumulaci organické hmoty v půdě a tím lepší infiltraci oproti variantě bez kompostu, a to jak na TTP, tak i na orné půdě. Zlepšení infiltrační a retenční schopnosti potvrzují ve svých pracích i OUATTARAA a kol. (2007) a D'HOSE kol. (2014).

VOPRAVIL a kol. (2010) shrnuje hlavní příčiny degradace zemědělských půd v ČR. Patří mezi ně eroze, kterou je ohroženo přibližně 50 % rozlohy zemědělského půdního fondu. Z toho 40 % je zastoupena eroze vodní a 10 % tvoří eroze větrná. Dalším problémem je utužení půd, kterým je ohroženo rovněž kolem 50% zemědělských půd ČR. Další, neméně závažné jsou ztráta biologické rozmanitosti a tzv. dehumifikace, tedy proces ubývání půdní organické hmoty. Ta je přitom velmi důležitá pro správnou strukturu půdy a zadržování vody. Je proto důležité zvyšovat množství organických látek v půdě, aby docházelo k navrácení a zachování těchto funkcí. Jednou z mnoha možností je právě aplikace kompostu.

## 6 Závěr

Vzhledem k tomu, že kompost z kompostárny Trhový Štěpánov vykazoval nejvyšší kvalitu, lze říci, že používaná technologie je optimální. Vzorek měl oproti ostatním nejvyšší kationovou výměnnou kapacitu, která dosáhla hodnoty 80,52 mval. 100<sup>-1</sup> g, což je hodnota velmi vysoká. Vzorek měl zároveň nejmenší podíl nadsítné frakce, a sice 26 %. To značí vysoký stupeň rozložení a tím umožněné jemnější prosetí. Ostatní vzorky vykazovaly rovněž velmi vysokou KVK, což dokazuje, že se jedná o kvalitní komposty. Druhou nejvyšší hodnotu měla kompostárna Želivec 75,11 52 mval. 100<sup>-1</sup> g, následovaly Votice 69,7 52 mval. 100<sup>-1</sup> g, Hantály 57,79 52 mval. 100<sup>-1</sup> g a Jarošovice 48,72 52 mval. 100<sup>-1</sup> g. Kompost z Jarošovic, u něhož byla naměřena nejmenší KVK, se statisticky průkazně liší od kompostů z kompostáren Votice, Trhový Štěpánov a Želivec. U kompostárny Hantály byla vyhodnocena statisticky průkazná odlišnost od kompostárny Trhový Štěpánov a Želivec. Optimalizaci je možné hledat v získávání většího množství kvalitnějšího a méně znečištěného bioodpadu. Tu by přinesla změna systému sběru bioodpadu, a sice umístění plastových kontejnerů u jednotlivých nemovitostí, místo velkoobjemových kontejnerů. Nezbytným se však stává zapojení obce. Za velmi důležitou lze považovat i osvětu a motivaci občanů ke třídění bioodpadů a zvýšení obecného povědomí o této problematice. Dalším návrhem na optimalizaci by mohla být technologie vermikompostování, se kterou má však již kompostárna negativní zkušenosti a bylo od ní upuštěno.

## 7 Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Druhy odpadů tvořící BRKO, dle Katalogu odpadů

Tabulka č. 2 Cíle snížení BRKO podle POH ČR

Tabulka č. 3 Počet kompostáren v ČR

Tabulka č. 4 Hodnoty poměru C:N u vybraných materiálů používaných při kompostování

Tabulka č. 5 Znaky jakosti průmyslového kompostu

Tabulka č. 6 Limity rizikových prvků v organických a statkových hnojivech se sušinou nad 13% v mg/kg sušiny

Tabulka č. 7 Využitelné výstupy z komponovacích zařízení

Tabulka č. 8 Vybrané kompostárny a jejich kapacita

Tabulka č. 9 Hodnocení maximální iontovýměnné kapacity

Tabulka č. 10 Výpočet T - měření č. 1 Trhový Štěpánov

Tabulka č. 11 Výpočet T - měření č. 2 Trhový Štěpánov

Tabulka č. 12 Výpočet T - měření č. 3 Trhový Štěpánov

Tabulka č. 13 Výpočet T - měření č. 1 Želivec

Tabulka č. 14 Výpočet T - měření č. 2 Želivec

Tabulka č. 15 Výpočet T - měření č. 3 Želivec

Tabulka č. 16 Výpočet T - měření č. 1 Votice

Tabulka č. 17 Výpočet T - měření č. 2 Votice

Tabulka č. 18 Výpočet T - měření č. 3 Votice

Tabulka č. 19 Výpočet T - měření č. 1 Hantály

Tabulka č. 20 Výpočet T - měření č. 2 Hantály

Tabulka č. 21 Výpočet T - měření č. 3 Hantály

Tabulka č. 22 Výpočet T - měření č. 1 Jarošovice

Tabulka č. 23 Výpočet T - měření č. 2 Jarošovice

Tabulka č. 24 Výpočet T - měření č. 3 Jarošovice

Tabulka č. 25 Hodnoty kationové výměnné kapacity jednotlivých měření

Tabulka č. 26 Hodnoty kationové výměnné kapacity po provedení Dean-Dexonova testu



## **8 Seznam grafů**

Graf č. 1 Způsoby nakládání s komunálními odpady v roce 2015 v ČR

Graf č. 2 Produkce komunálních a biologicky rozložitelných odpadů v t/rok v letech 2012-2015

Graf č. 3 Kompostování komunálních odpadů v letech 2006-2015 v t/rok

Graf č. 4 měření č. 1 Trhový Štěpánov

Graf č. 5 měření č. 2 Trhový Štěpánov

Graf č. 6 měření č. 3 Trhový Štěpánov

Graf č. 7 měření č. 1 Želivec

Graf č. 8 měření č. 2 Želivec

Graf č. 9 měření č. 3 Želivec

Graf č. 10 měření č. 1 Votice

Graf č. 11 měření č. 2 Votice

Graf č. 12 měření č. 3 Votice

Graf č. 13 měření č. 1 Hantály

Graf č. 14 měření č. 2 Hantály

Graf č. 15 měření č. 3 Hantály

Graf č. 16 měření č. 1 Jarošovice

Graf č. 17 měření č. 2 Jarošovice

Graf č. 18 měření č. 3 Jarošovice

Graf č. 19 Průměrná hodnota kationové výměnné kapacity

Graf č. 20 Krabicový graf

Graf č. 21 Graf intervalů spolehlivosti

Graf č. 20 Procentuální znázornění kompostu

## **9 Seznam obrázků**

Obrázek č. 1 Fáze během kompostování

Obrázek č. 2 Průběh teploty při kompostování

Obrázek č. 3 Správné měření teploty

Obrázek č. 4 Optimální vlhkost materiálu

Obrázek č. 5 Trhový Štěpánov–hotový kompost

Obrázek č. 6 Trhový Štěpánov – areál kompostárny, vpravo založená pásová hromada, vlevo suroviny

Obrázek č. 7 Želivec–pásové hromady

Obrázek č. 8 Želivec–příprava vstupního materiálu

Obrázek č. 9 Želivec - biofiltr

Obrázek č. 10 Jarošovice - síto

Obrázek č. 11 Jarošovice–jímka

Obrázek č. 12 Jarošovice - Hotový kompost

Obrázek č. 13 Titrační souprava s konduktometry

Obrázek č. 14 Promývání vzorků

Obrázek č. 15 Křivka iontovýměnně aktivní hmoty

Obrázek č. 16 Křivka iontovýměnně nevyhraněné hmoty

Obrázek č. 17 Kationtová výměnná kapacita při pH 7 u vybraných látek a nerozložených částic

## 10 Seznam zkratk

**BRO** – biologicky rozložitelný odpad

**BRKO** – biologicky rozložitelný komunální odpad

**CEC** – cation exchange capacity

**ČOV** – čistírna odpadních vod

**ČR** – Česká republika

**ČSN** – česká státní norma

**ČSÚ** – český statistický úřad

**EU** – Evropská unie

**KO** – komunální odpad

**KVK** – kationová výměnná kapacita

**MŽP** – ministerstvo životního prostředí

**OPŽP** – operační plán životní prostředí

**POH** – plán odpadového hospodářství

**POH** – primární organická hmota

**TTP** – trvalé travní porosty

**ÚKZÚZ** – ústřední kontrolní zkušební ústav zemědělský

## 11 Seznam použité literatury

1. ADANI, Fabrizio a Fulvia TAMBONE. Long-term effect of sewage sludge application on soil humic acids. *Chemosphere* [online]. 2005, 60(9), 1214-1221 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2005.02.031. ISSN 00456535. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0045653505002870>
2. ALTMANN, Vlastimil. *Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady* [online]. 2010 [cit. 2017-04-26]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>
3. BALADÍKOVÁ, Barbora, Jaroslava NOVOTNÁ a Lubica POSPÍŠILOVÁ. *Vliv zapravení organické hmoty na půdní vlastnosti a snížení eroze: Uplatněná certifikovaná metodika* [online]. Brno: Zemědělský výzkum, spol. s r. o., Mendelova univerzita v Brně, 2016 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z: [http://www.vupt.cz/content/files/metodiky/Metodika\\_33-16.pdf](http://www.vupt.cz/content/files/metodiky/Metodika_33-16.pdf)
4. BERTOLDI, Marco de, Bert, Paolo SEQUI a Tiziano LEMMES. *The Science of Composting* [online]. Dordrecht: Springer Netherlands, 1996 [cit. 2017-04-09]. ISBN 978-94-009-1569-5. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=5krtCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=composting+book&ots=oNJP-aflk3&sig=rCddaE2g6CGHyBUf8ej0e8UfYhM&redir\\_esc=y#v=onepage&q&f=false](https://books.google.cz/books?hl=cs&lr=&id=5krtCAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA3&dq=composting+book&ots=oNJP-aflk3&sig=rCddaE2g6CGHyBUf8ej0e8UfYhM&redir_esc=y#v=onepage&q&f=false)
5. BHARDWAJ, Poonam a R.K. SHARMA. Vermicomposting efficiency of earthworm species from eastern Haryana. *Journal of Entomology and Zoology Studies* [online]. 2015, 3(3), 191-195 [cit. 2017-04-08]. ISSN 2320-7078. Dostupné z: <http://www.entomoljournal.com/vol3Issue3/pdf/3-3-82.1.pdf>
6. BRADY, C. N. a R. R. WEILL. *The nature and properties of soil*. 12th edition. New Jersey: Prentice Hall, 1999.
7. BROWN, Sally a Matt COTTON. Changes in Soil Properties and Carbon Content Following Compost Application: Results of On-farm Sampling. *Compost Science & Utilization*, [online]. USA: JG PRESS, 2011, 19(1), 88-97 [cit. 2017-04-25]. ISSN 1065-657X. Dostupné z: [http://www.compost.org/CCC\\_Science\\_Web\\_Site/pdf/Orchards/Other/Changes\\_Soil\\_Properties\\_Carbon\\_Content.pdf](http://www.compost.org/CCC_Science_Web_Site/pdf/Orchards/Other/Changes_Soil_Properties_Carbon_Content.pdf)
8. BUTLER, T.A., L.J. SIKORA, P.M. STEINHILBER a L.W. DOUGLASS. Compost Age and Sample Storage Effects on Maturity Indicators of Biosolids Compost. *Journal of Environment Quality* [online]. 2001, 30(6) [cit. 2017-04-

- 25]. DOI: 10.2134/jeq2001.2141. ISSN 1537-2537. Dostupné z: <https://www.agronomy.org/publications/jeq/abstracts/30/6/2141>
9. ČERVENÁ, Kristýna, Barbora LYČKOVÁ, Lucie KUČEROVÁ, Markéta BOUCHALOVÁ a Taťána BARABÁŠOVÁ. *Biologické metody zpracování odpadu: Multimediální učební texty* [online]. VŠB -TU Ostrava, 2017 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://hgfl0.vsb.cz/546/bmzo/pages/index.html>
  10. ČESKÝ STATISTICKÝ ÚŘAD. *Produkce, využití a odstranění odpadů: za období 2015* [online]. Praha: Český statistický úřad, 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/produkce-vyuziti-a-odstraneni-odpadu-2015>
  11. D'HOSE, Tommy, Mathias COUGNON, Alex DE VLIEGHER, Bart VANDECASTEELE, Nicole VIAENE, Wim CORNELIS, Erik VAN BOCKSTAELE a Dirk REHEUL. The positive relationship between soil quality and crop production: A case study on the effect of farm compost application. *Applied Soil Ecology* [online]. 2014, 75, 189-198 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/j.apsoil.2013.11.013. ISSN 09291393. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0929139313002989>
  12. DIXON, Joe Boris., S. B. WEED a Richard C. DINAUER. *Minerals in soil environments* [online]. 2nd ed. Madison, Wis., USA: Soil Science Society of America, 1989 [cit. 2017-04-08]. ISBN 08-911-8787-1. Dostupné z: [https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/pdfs/sssabookseries/mineral\\_sinoile/frontmatter](https://dl.sciencesocieties.org/publications/books/pdfs/sssabookseries/mineral_sinoile/frontmatter)
  13. DOMINGUEZ, J., C.A. EDWARDS a S. SUBLER. A Comparison of Vermicomposting and Composting. *Biocycle* [online]. JG PRESS, 1997, (38), 57-59 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://jdguez.webs.uvigo.es/wp-content/uploads/2016/04/Comparison%20of%20vermicomposting%20and%20composting.pdf>
  14. DOMÍNGUEZ, Jorge, Manuel AIRA a María GÓMEZ-BRANDÓN. Vermicomposting: Earthworms Enhance the Work of Microbes. *Microbes at Work* [online]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2010, , 93 [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1007/978-3-642-04043-6\_5. ISBN 978-3-642-04042-9. Dostupné z: [http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-04043-6\\_5](http://link.springer.com/10.1007/978-3-642-04043-6_5)
  15. DOMINGUEZ, Jorge a Clive A. EDWARDS. *Biology and Ecology of Earthworm Species Used for Vermicomposting in: Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental*. [online]. USA: CRC press, 2011 [cit. 2017-04-27]. ISBN 978-1-4398-0988-4. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=\\_JJ5Cw5BBxEC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=\):+Biology+and+ecology+of+earthworm+species+used+for+vermicomposting&source=bl&ots=gS9SHdANl3&sig=C2Eo1JKysjTgv\\_nruETtpO13H9](https://books.google.cz/books?id=_JJ5Cw5BBxEC&pg=PA27&lpg=PA27&dq=):+Biology+and+ecology+of+earthworm+species+used+for+vermicomposting&source=bl&ots=gS9SHdANl3&sig=C2Eo1JKysjTgv_nruETtpO13H9)

U&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiP3sTMqZXTAhXJvRoKHYC3A6sQ6AEI  
OzAE#v=onepage&q=)%3A%20Biology%20and%20ecology%20of%20earth  
worm%20species%20used%20for%20vermicomposting&f=false

16. DVOŘÁK, Milan a Pavel NOVÁK. *Provozní řád halová kompostárna Želivec*. 2015.
17. ECKSCHLAGER, Karel, Ivan HORSÁK a Zdeněk KODEJŠ. *Vyhodnocování analytických výsledků a metod*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1980. Technický průvodce.
18. ENVIPROJEKT S.R.O. *Provozní řád podle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech: kompostárna Velké Pavlovice*. 2013.
19. FARION, Roman. *Provozní řád kompostárny Trhový Štěpánov*. 2016.
20. GERSHUNY, Grace. *Compost, vermicompost, and compost tea: feeding the soil on the organic farm* [online]. White River Junction, Vt.: Chelsea Green Pub., 2011 [cit. 2017-04-02]. Organic principles and practices handbook series. ISBN 978-1-60358-347-3. Dostupné z:  
[https://books.google.cz/books?id=Xub8aChfFsIC&printsec=frontcover&dq=composting&hl=cs&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=composting&f=false](https://books.google.cz/books?id=Xub8aChfFsIC&printsec=frontcover&dq=composting&hl=cs&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composting&f=false)
21. HABART, Jan. Komposty – významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti: Racionální použití hnojiv - sborník z konference. In: *Racionální použití hnojiv - sborník z konference* [online]. 2010 [cit. 2017-04-26]. ISBN 978-80-213-2006-2. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/komposty-vyznamny-clanek-vyuziti-odpadu-a-zajisteni-pudni-urodnosti>
22. HORÁČKOVÁ, Kristýna. *Návrh způsobu odloučení dřeva z nadsítné frakce kompostáren* [online]. Brno, 2015 [cit. 2017-04-16]. Dostupné z:  
[http://theses.cz/id/cf1y65/zaverecna\\_prace.pdf](http://theses.cz/id/cf1y65/zaverecna_prace.pdf). Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně. Vedoucí práce Bohdan Stejskal.
23. HŘEBÍČEK, Jiří, František PILIAR, Jiří KALINA, Jaromír MANHART a Kamila SOUČKOVÁ. *Projektování nakládání s bioodpady v obcích* [online]. Ministerstvo životního prostředí, 2011 [cit. 2017-03-15]. ISBN ISBN: 978-80-85763-67-6. Dostupné z:  
[http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/projektovani\\_nakladani\\_s\\_bioodpady\\_v\\_obcích.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/projektovani_nakladani_s_bioodpady_v_obcích.pdf)
24. HŮLA, Josef, Barbora BADALÍKOVÁ, Pavel KOVAŘÍČEK, Marcela VLÁŠKOVÁ a Jaroslava BARTLOVÁ. *Úprava fyzikálních vlastností půdy a retenční schopnosti půdy zapravením kompostů z odpadní biomasy: Uplatnění certifikovaná metodika* [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky, v.v.i., Zemědělský výzkum, spol. s r.o., 2012 [cit. 2017-04-18].

ISBN 978-80-86884-68-4. Dostupné z:  
<http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/novinky/metodika2013Hula.pdf>

25. CHATTOPADHYAY, Gunindra. *Use of vermicomposting biotechnology for recycling organic wastes in agriculture*. DOI: 10.1186/2251-7715-1-8. ISBN 10.1186/2251-7715-1-8. Dostupné také z:  
<http://www.ijrowa.com/content/1/1/8>
26. JUNGA, Petr, Tomáš VÍTĚZ a Petr TRÁVNÍČEK. *Technika pro zpracování odpadů II* [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015 [cit. 2017-04-16]. ISBN 978-80-7509-208-3.
27. KALINA, Miroslav. *Kompostování a péče o půdu*. 2. upr. vyd. Praha: Grada, 2004. Česká zahrada. ISBN 80-247-0907-4.
28. KÁRA, Jaroslav, Zdeněk PASTOREK a Antonín JELÍNEK. *Kompostování zbytkové biomasy* [online]. 2002 [cit. 2017-04-26]. ISSN 1801-2655.  
Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>
29. KOTOULOVÁ, Zdena a Jaroslav VÁŇA. *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem* [online]. Praha: Ministerstvo životního prostředí ve spolupráci s Českým ekologickým ústavem, 2001 [cit. 2017-04-08]. ISBN 80-7212-201-0. Dostupné z:  
[http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/prirucka\\_pro\\_na\\_kladani\\_s\\_komunalnim\\_bioodpadem.pdf](http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/prirucka_pro_na_kladani_s_komunalnim_bioodpadem.pdf)
30. KRATOCHVÍLOVÁ, Klára, Miroslav HEROUT a Jiří NETÍK. *Provozní řád kompostárna Jarošovice*. 2015.
31. KROPÁČEK, Ivo a Jan HABART. *Jak správně kompostovat* [online]. In: . Hnutí duha Olomouc, 2007 [cit. 2017-03-05]. Dostupné z:  
<http://olomouc.hnutiduha.cz/data/publications/jak-spravne-kompostovat.pdf>
32. KURAŠ, Mečislav. *Odpady, jejich využití a zneškodňování*. [1. vyd.]. Praha: Český ekologický ústav, 1994. ISBN 8085087324.
33. KURAŠ, Mečislav. *Odpady a jejich zpracování*. Chrudim: Vodní zdroje Ekomonitor, 2014. ISBN 978-80-86832-80-7.
34. KUŽEL, S., LEDVINA R., KOLÁŘ L. Rychlá metoda k stanovení kvality kompostu určením iontovýměnné kapacity kompostové hmoty konduktometrickou titrací. Sborník z vědeckého symposia „EUPRF“. Gmund, 19. - 20. 4. 1996, 101-102.
35. LEGROS, J.P. a G. PETRUZZELLI. The status of Mediterranean soils. In: *Soil and Biowaste in Southern Europe: Report of Rome International*

- Conference 18-19 January 2001* [online]. Roma: ANPA, 2002, s. 27-35 [cit. 2017-04-25]. ISBN 88-448-0065-9. Dostupné z: [http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/atti/3439\\_atti\\_2002\\_03.pdf](http://www.isprambiente.gov.it/it/pubblicazioni/atti/3439_atti_2002_03.pdf)
36. LECHNER, P. a E. SMIDT. *Humic acids, a parameter for compost quality – A new approach for a sustainable soil management: 9th International Waste Management and Landfill Symposium*. Sardinia, Italy: CISA, 2003.
37. LIANG, C, K.C DAS a R.W MCCLENDON. The influence of temperature and moisture contents regimes on the aerobic microbial activity of a biosolids composting blend. *Bioresource Technology* [online]. 2002, 2(86) [cit. 2016-05-25]. DOI: 10.1016/S0960-8524(02)00153-0. ISBN 10.1016/S0960-8524(02)00153-0. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0960852402001530>
38. LOCHOVSKÁ, Jitka. *Provozní řád zařízení k využívání odpadů: Kompostárna Votice*. 2016.
39. MARKHAM, Brett L. *The MiniFarming guide to composting* [online]. China: Skyhorse Publishing, 2013 [cit. 2017-04-25]. ISBN 978-1-61608-858-3. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=exTrNwmZbq8C&pg=PT60&dq=composting+C:N&hl=cs&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=composting%20C%3AN&f=false](https://books.google.cz/books?id=exTrNwmZbq8C&pg=PT60&dq=composting+C:N&hl=cs&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composting%20C%3AN&f=false)
40. MISRA, R.V., R.N. ROY a H. HIRAOKA. *On-farm composting methods: Land and water discussion paper* [online]. Roma: Food and Agriculture Organization of the United Nation, 2003 [cit. 2017-03-04]. ISSN 1 7 2 9 - 0 5 5 4. Dostupné z: [https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/65466/398\\_on\\_farm\\_composting.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://vtechworks.lib.vt.edu/bitstream/handle/10919/65466/398_on_farm_composting.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
41. MONROY, Fernando, Manuel AIRA a Jorge DOMÍNGUEZ. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. *Science of The Total Environment* [online]. 2009, 407(20), 5411-5416 [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2009.06.048. ISSN 00489697. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S00489697090006287>
42. NOVÁK, Pavel. *Provozní řád kompostárna Želivec*. 2013.
43. OÚÉDRAOGO, E, A. MANDO a N.P. ZOMBRÉ. Use of compost to improve soil properties and crop productivity under low input agricultural system in West Africa. *Agriculture, Ecosystems* [online]. 84(3), 259-266 [cit. 2017-04-25]. DOI: 10.1016/S0167-8809(00)00246-2. ISSN 01678809. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880900002462>

44. PLÍVA, Petr. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. Praha: Profi Press, 2009. ISBN 9788086726328.
45. PLÍVA, Petr. Kompostárna Želivec - 22/2013. *Komunální technika* [online]. Profi Press, 2013, VII(11) [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: <http://profipress.cz/archiv/komunalni-technika-112013/#page/21>
46. PLÍVA, Petr a kol. *Strojní vybavení kompostovací linky: Metodika pro praxi* [online]. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008 [cit. 2017-04-09]. ISBN 978-80-86884-33-2. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/metodiky/pliva2010.pdf?menuid=672>
47. PLÍVA, Petr a A KOL. *Strojní vybavení kompostovací linky: Metodika pro praxi*. Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. ISBN 978-80-86884-33-2.
48. PLÍVA, Petr, Vlastimil ALTMANN, Aleš HANČ, Květuše HEJÁTKOVÁ, Amitava ROY a Lucie VALENTOVÁ. *Kompostování a kompostárny*. Praha: Profi Press, 2016. ISBN 9788086726748.
49. PLÍVA, Petr, Jan BANOUT, Jan HABART, Antonín JELÍNEK, Mária KOLLÁROVÁ, Amitava ROY a Dana TOMANOVÁ. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu* [online]. Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha, 2006 [cit. 2017-03-04]. ISBN 80-86884-11-2. Dostupné z: [http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/prirucky/p2006\\_01.pdf](http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/prirucky/p2006_01.pdf)
50. PLÍVA, Petr, Stanislav LAURIK a Amitava ROY. *Kompostování biomasy v místě jejího vzniku: Metodický postup* [online]. In: . Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuzt/metodiky/pliva2011.pdf?menuid=682>
51. PLÍVA, Petr a Karolina MAREŠOVÁ. *Sborník přednášek k seminářům "Dejte šanci biodpadu - získejte finanční prostředky z OPŽP": Technika vhodná ke kompostování zemědělských odpadů a biodpadů v obci*. Praha: Ekodomov, 2009. ISBN 978-80-903559-6-5.
52. POKORNÝ, Eduard a Bořivoj ŠARAPATKA. *Půdoznalství pro ekozemědělce*. Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 2003. Příručka ekologického zemědělce. ISBN 8070842954. Dostupné také z: <http://www.digitalniknihovna.cz/mzk/uuid/uuid:9d782be0-eea1-11e2-9923-005056827e52>
53. POONAM, Bhardwaj a Sharma R.K. Vermicomposting efficiency of earthworm species from eastern Haryana. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2015, 2015(3). ISSN 2320-7078.



54. RUDNIK, Ewa. *Compostable polymer materials* [online]. Boston: Elsevier, 2008 [cit. 2017-04-24]. ISBN 978-0-08-045371-2. Dostupné z: <https://books.google.cz/books?id=ZrQwn8XzK1EC&pg=PA92&dq=composting+phase+rudnik&hl=cs&sa=X&ved=0ahUKEwiQ0dyR3rzTAhWibRQKHUd2AfwQ6AEIITAA#v=onepage&q=composting%20phase%20rudnik&f=false>
55. SANDHOFF, H. 1954. *Conductometric determinativ of T value of soil and soil components* [KonduktometrischeBestimmung des T-Wertes von Boden und Bodenbestandteilen]. Zeitschrift für Pflanzenernährung, Düngung und Bodenkunde 67: 24-38
56. SLEJŠKA, Antonín a Jaroslav VÁŇA. *Možnosti využití BRKO prostřednictvím kompostování a anaerobní digesce* [online]. 2004 [cit. 2017-04-26]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-brko-prostrednictvim-kompostovani-a-anaerobni-digesce>
57. SOTÁKOVÁ, Soňa. *Organická hmota a úrodnost' půdy*. Bratislava: Príroda, 1982.
58. STOFFELLA, Peter J. a Brian A. KAHN. *Compost utilization in horticultural cropping systems*. Boca Raton, Fla.: Lewis, 2001. ISBN 978-156-6704-601.
59. ŠANTRŮČKOVÁ, Hana. *Základy ekologie půdy* [online]. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2014 [cit. 2017-04-09]. ISBN 978- 80 -7394- 480 -3. Dostupné z: [http://kbe.prf.jcu.cz/sites/default/files/prednasky/skripta/skripta\\_puda\\_metody\\_final.pdf](http://kbe.prf.jcu.cz/sites/default/files/prednasky/skripta/skripta_puda_metody_final.pdf)
60. ŠREFL, Josef. *Kompost je energie vrácená do půdy* [online]. In: . 2012 [cit. 2017-04-26]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-obnovitelne-zdroje-energie-bioplyn/odborne-clanky/kompost-je-energie-vcacena-do-pudy>
61. TITTARELLI, F., G. PETRUZZELLI, B. PEZZAROSSA, M. CIVILINI, A. BENEDETTI a P. SEQUI. Quality and Agronomic Use of Compost: Chapter 7. In: DIAZ, L.F., M. de BERTOLDI, W BIDLINGMAIER a E. STENTIFORD. *Compost science and technology: Waste management series 8* [online]. 1.: Elsevier, 2007 [cit. 2017-04-18]. ISBN 978-0-08-043960-0. ISSN 1478-7482. Dostupné z: [http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user\\_upload/Daneshkadaha/dbehdasht/markaz\\_tahghighat\\_olom\\_va\\_fanavarihayeh\\_zist\\_mohiti/e\\_book/pasmand/COMPOST\\_SCIENCE\\_AND\\_TECHNOLOGY.pdf](http://ssu.ac.ir/cms/fileadmin/user_upload/Daneshkadaha/dbehdasht/markaz_tahghighat_olom_va_fanavarihayeh_zist_mohiti/e_book/pasmand/COMPOST_SCIENCE_AND_TECHNOLOGY.pdf)

62. TUROVSKIY, I. S. a P.K. MATHAI. *Wastewater sludge processing* [online]. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, 2006 [cit. 2017-04-24]. ISBN 978-0-471-70054-8. Dostupné z: [https://books.google.cz/books?id=DwMWvTki7h8C&pg=PA237&dq=composting+phase+TUROVSKIY+a+MATHAI&hl=cs&sa=X&redir\\_esc=y#v=onepage&q=composting%20phase%20TUROVSKIY%20a%20MATHAI&f=false](https://books.google.cz/books?id=DwMWvTki7h8C&pg=PA237&dq=composting+phase+TUROVSKIY+a+MATHAI&hl=cs&sa=X&redir_esc=y#v=onepage&q=composting%20phase%20TUROVSKIY%20a%20MATHAI&f=false)
63. VÁCHALOVÁ, Radka. *Aerobní zpracování biomasy: studijní texty pro obor "Biotechnologie využití a zpracování fytomasy"*. České Budějovice: Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta, 2012. ISBN 9788073943790.
64. VÁCHALOVÁ, Radka, Vladislav KOLÁŘ, Jana BOROVIČKOVÁ-BATT, Petr KONVALINA a Jan VÁCHAL. *Measurement of quality of primary soil organic matter and humus. BOTHALIA*, Pretoria: Botany Institute, 2014, vol. 44, č. 7, s. 106-116. ISSN 0006-8241.
65. VÁCHALOVÁ, Radka, Ladislav KOLÁŘ a Zlatica MUCHOVÁ. *Primární organická půdní hmota a humus, dvě složky půdní organické hmoty: vědecká monografie*. Nitra: Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre, 2016. ISBN 9788055214672.
66. VAN DER WURFF, André W.G, Jacques G FUCHS, Michael RAVIV a Aad J. TERMORSHUIZEN. *Handbook for Composting and Compost Use in Organic Horticulture* [online]. BioGreenhouse, 2016 [cit. 2017-04-25]. ISBN 9789462577497. Dostupné z: <http://edepot.wur.nl/375218>
67. VÁŇA, Jaroslav. *Kompostování odpadů* [online]. In: . 2002 [cit. 2017-04-26]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>
68. VLČEK, Vítězslav. *Kvalita a zdraví půdy*. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-215-1.
69. VOPRAVIL A KOL., Jan. *Vliv činnosti člověka na krajinu českého venkova s důrazem na vodní režim a zadržování vody v krajině* [online]. Praha: VÚMOP, 2010 [cit. 2017-04-24]. Dostupné z: [http://eagri.cz/public/web/file/176029/Text\\_studie\\_TPS.pdf](http://eagri.cz/public/web/file/176029/Text_studie_TPS.pdf)
70. VRBA, Vladimír a Ludvík HULEŠ. *Humus - půda - rostlina (2) Humus a půda* [online]. 2006 [cit. 2017-04-27]. ISSN 1801-2655. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/humus-puda-rostlina-2-humus-a-puda>
71. WEI, Yunmei, Jingyuan LI, Dezhi SHI, Guotao LIU, Youcai ZHAO a Takayuki SHIMAOKA. Environmental challenges impeding the composting

- of biodegradable municipal solid waste: A critical review. *Resources, Conservation and Recycling* [online]. 2017, 122, 51-65 [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/j.resconrec.2017.01.024. ISSN 09213449. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0921344917300332>
72. WONG, J.W.C., X. WANG a A. SELVAM. Improving Compost Quality by Controlling Nitrogen Loss During Composting. *Current Developments in Biotechnology and Bioengineering* [online]. Elsevier, 2017, , 59 [cit. 2017-04-08]. DOI: 10.1016/B978-0-444-63664-5.00004-6. ISBN 9780444636645. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/B9780444636645000046>
73. ZAUJEC, A., J. CHLPÍK, J. NÁDAŠSKÝ, N. SZOMBATHOVÁ a E. TOBIAŠOVÁ. *Pedológia a základy geológie: Učebnica*. Nitra: SPU, 2009. ISBN 978-80552-0207-5.
74. ZEMÁNEK, Pavel, Patrik BURGR, Mária KOLLÁROVÁ, Karolina MAREŠOVÁ a Petr PLÍVA. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. Praha: VÚZT, 2010. ISBN 978-80-86884-52-3.
75. *Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva*. In: . Dostupné také z: [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_Vyhlaska-2000-474-rostlinnekomodity.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_Vyhlaska-2000-474-rostlinnekomodity.html)
76. Jak splnit povinnost obce. *Www.kompostuj.cz* [online]. 2016 [cit. 2016-05-25]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/jak-splnit-povinnost-obce/>
77. OPŽP. *Www.opzp.cz* [online]. Státní fond životního prostředí, 2015 [cit. 2017-03-15]. Dostupné z: <http://www.opzp.cz/podporovane-oblasti/>
78. *Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*. In: . Dostupné také z: [http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe\\_uplna-zneni\\_zakon-1998-156-hnojiva.html](http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_zakon-1998-156-hnojiva.html)
79. *ZELENÁ KNIHA o nakládání s biologickým odpadem v EU* [online]. In: . Brusel: Komise evropských společenství, 2008 [cit. 2017-04-08]. Dostupné z: [http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009\\_2014/documents/com/com\\_com\(2008\)0811/\\_com\\_com\(2008\)0811\\_cs.pdf](http://www.europarl.europa.eu/meetdocs/2009_2014/documents/com/com_com(2008)0811/_com_com(2008)0811_cs.pdf)
80. *ZERA Databáze kompostáren: Zemědělská ekologická regionální agentura* [online]. [cit. 2017-03-19]. Dostupné z: <http://www.zeraagency.eu/kompostarny/public/>