

MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ
AGRONOMICKÁ FAKULTA

DISERTAČNÍ PRÁCE

BRNO 2014

Ing. LUKÁŠ HLISNIKOVSÝ

Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav aplikované a krajinné ekologie



**Agronomická
fakulta**

**Mendelova
univerzita
v Brně**



**Výzkum možností předcházení ukládání biologicky
rozložitelných odpadů na skládky**

Disertační práce

Vedoucí práce:

doc. RNDr. Jana Kotovicová, Ph.D.

Vypracoval:

Ing. Lukáš Hlisnikovský

Brno 2014

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem disertační práci na téma „Výzkum možností předcházení ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

Disertační práce je školním dílem a může být použita ke komerčním účelům jen se souhlasem vedoucího disertační práce a děkana Agronomické fakulty Mendelovy univerzity v Brně.

dne

podpis

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucí mé disertační práce, doc. RNDr. Janě Kotovicové, Ph.D., za rady a podporu při vedení mé disertační práce. Dále děkuji prof. RNDr. Vlastimilu Kubáňovi DrSc, Ing. Bohdanu Stejskalovi, Ph.D., Ing. Mgr. Magdaléně Vaverkové, Ph.D., Ing. Bc. Daně Adamcové, Ph.D. a své ženě PharmDr. Janě Hlisnikovské.

ABSTRAKT

Jednou z možností jak předcházet ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky komunálních odpadů je využití kompostování. Rostoucí zájem o metodu kompostování je doprovázen i zájmem o výrobky s kompostováním úzce spojenými. Na dnešním trhu jsou tak k dostání přípravky, kompostovací aditiva, slibující urychlení procesu kompostování a zlepšení fyzikálně-chemických vlastností kompostu. Vědeckých publikací zabývajících se účinky kompostovacích aditiv je však málo. Cílem této disertační práce bylo ověřit účinky tří různých koncentrací přípravku ProBio ORIGINAL™ (ProBio 1 – 1 l.m⁻³, ProBio 2 – 10 l.m⁻³ a ProBio 3 – 20 l.m⁻³ kompostovaného materiálu) a tří jiných kompostovacích aditiv (Bio P4, Floran biokompostér a Radivit) na teplotu v zakládkách, hodnotu pH, hodnotu elektrické konduktivity, míru úbytku materiálu, na poměr C:N a obsah živin v zakládkách biologicky rozložitelných odpadů. V průběhu experimentu nebyl zjištěn statisticky významný vliv koncentrace přípravku ProBio ORIGINAL™ na teplotu v zakládce, hodnotu pH a elektrické konduktivity. Statisticky významně vyšší míra úbytku materiálu proběhla u koncentrací ProBio 2 a ProBio 3. Poměr C:N byl, v porovnání s referenční zakládkou, u všech tří koncentrací nižší. Aplikace přípravků Bio P4, Floran biokompostér a Radivit se neprojevila statisticky významným navýšením teplot v zakládkách, změnou hodnoty elektrické konduktivity ani úbytkem objemu materiálu. Statisticky významně rozdílné hodnoty pH byly zaznamenány mezi přípravky ProBio 1, Floran a Radivit.

Klíčová slova: biologicky rozložitelné odpady, kompostování, kompostovací aditiva, teplota, pH, elektrická konduktivita

ABSTRACT

One of the ways how to decrease the amount of landfilling biologically degradable wastes is composting. Increasing popularity of composting led to higher demands on market for compost-related products, such as composting additives. Composting additives promise to accelerate composting process and to positively influence physico-chemical properties of compost. The aim of this paper is to discover the effect of three different concentrations of additive ProBio ORIGINAL™ (ProBio 1 – 1 l.m⁻³, ProBio 2 – 10 l.m⁻³ a ProBio 3 – 20 l.m⁻³) and of three other additives (Bio P4, Floran biokompostér and Radivit) on temperature, pH, electrical conductivity, volume of composted material and C:N ratio. No statistically significant influence of three different concentrations of ProBio ORIGINAL™ on temperature, pH or electrical conductivity was revealed, but higher volume decrease was observed with ProBio 2 and 3 if compared with ProBio 1 and control. Rapid decrease of C:N ratio was also discovered between ProBio 1, 2 and 3 and control. Application of additives Bio P4, Floran biokompostér and Radivit have not significantly influenced temperatures in composting piles, values of electrical conductivity or volume of composted material. Statistically significant differences were observed between ProBio 1, Floran and Radivit.

Key words: biologically degradable wastes, composting, composting additives, temperature, pH, electrical conductivity

OBSAH

ABSTRAKT	5
OBSAH.....	7
1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE.....	11
3 LITERÁRNÍ PŘEHLED	12
3.1 Problematika ukládání biologicky rozložitelných odpadů.....	12
3.2 Kompostovací aditiva	16
3.3 Historie kompostování.....	20
3.4 Fyzikální vlastnosti kompostování.....	24
3.4.1 Vlhkost.....	24
3.4.2 Obsah kyslíku	24
3.4.3 Hodnota elektrické konduktivity	25
3.4.4 Teplota	27
3.3.4.1 Průběh teploty	28
3.5 Chemické vlastnosti kompostování.....	30
3.5.1 Poměr C:N	30
3.5.2 pH.....	31
3.5.3 Síra.....	32
3.5.4 Fosfor.....	32
3.6 Mikrobiologie kompostovacího procesu.....	33
3.6.1 Bakterie.....	33
3.6.1.1 Aktinobakterie	34
3.6.1.2 Deinococcus-Thermus	34
3.6.2 Archea.....	35
3.6.3 Houby.....	35
3.7 Zdroj živin a energie v kompostovacím procesu	36
3.7.1 Celulóza	36
3.7.2 Lignin.....	37
3.7.3 Hemicelulózy	38
3.7.3.1 Xylan	38
3.7.3.2 Pektin.....	38
3.7.3.3 Škrob.....	39
3.7.3.4 Chitin	39
4 MATERIÁL A METODIKA.....	40
4.1 Metodika	40

4.1.1. Statistická analýza.....	45
4.2 Materiál.....	45
4.2.1 EM-Farming TM	45
4.2.2 Bio P4.....	47
4.2.3 Floran biokompostér.....	47
4.2.4 Radivit.....	48
5 VÝSLEDKY A DISKUZE.....	49
5.1 Vliv kompostovacích aditiv na teplotu v experimentálních zakládkách.....	49
5.2 Vliv kompostovacích aditiv na pH.....	56
5.3 Vliv kompostovacích aditiv na hodnotu elektrické konduktivity.....	59
5.4 Koncentrace kyslíku v zakládkách.....	64
5.5 Účinek kompostovacích aditiv na míru úbytku materiálu.....	66
5.6 Poměr C:N a změny v koncentracích živin.....	69
5.7 Finanční náklady na kompostovací aditiva.....	71
6 ZÁVĚR.....	73
7 LITERATURA.....	76
8 SEZNAM TABULEK.....	82
9 SEZNAM GRAFŮ.....	83
10 SEZNAM OBRÁZKŮ.....	85
11 PŘÍLOHY.....	86
Příloha č. 1.....	87
Příloha č. 2.....	98

1 ÚVOD

Vysoký podíl biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) ukládaných na skládky odpadů je jedním z nejpálčivějších problémů současného odpadového hospodářství v České republice (Stejskal et al., 2012). V České republice (ČR) se roční průměrná produkce komunálních odpadů (KO) pohybuje na úrovni 3 240 tis. Mg. Značné množství těchto odpadů, zahrnujících i jejich biologicky rozložitelnou složku, se v ČR trvale ukládá na skládky komunálních odpadů. Tento způsob nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (BRO) je spojen s několika aspekty, které negativně ovlivňují životní prostředí i samotné těleso skládky. Doprovodným jevem těchto negativních vlivů trvalého ukládání BRO na skládky komunálních odpadů je nevyužívání možného potenciálu BRO jako zdroje organické hmoty pro zlepšení vlastností zemědělsky využívané půdy, nebo jako zdroje cenných surovin pro farmaceutický průmysl.

Jednou z možností jak předejít trvalému uložení BRO na skládky komunálních odpadů je jejich separace od biologicky nerozložitelných odpadů a jejich smysluplné zpracování a využití přímo v místě jejich vzniku (domácí kompostování), nebo jejich sběr od občanů, kteří danou možnost nemají či nechtějí využít a následné zpracování v komunitních nebo průmyslových kompostárnách.

V posledních letech můžeme ve společnosti sledovat rostoucí zájem o kompostování. Sílicí povědomí o možnostech kompostování a jeho pozitivních aspektech můžeme spatřit v široké nabídce kompostérů, literatury a internetových zdrojů informací a projektů s kompostováním úzce spojených. Velice populární jsou projekty, které organizují obce v ČR i ve světě. Ve Dvoře Králové nad Labem tak např. zastupitelstvo obce zakoupilo dřevěné kompostéry o objemu 1 až 2 m³, které za cca 10 - 20 % nákupní ceny pronajímají občanům obce a po pěti letech používání je občanům odprodají za symbolickou 1 Kč. Vedle snížení množství odpadů, které by byly trvale uloženy na skládky komunálních odpadů, tak mají občané možnost získat kompost, který využijí na své zahradě (zdroj: internetové stránky MÚ Dvora Králové nad Labem).

Společně s rostoucím zájmem o kompostování je spojen i zájem o doprovodné produkty s kompostováním spjatých. Mezi tyto produkty řadíme i kompostovací aditiva.

Kompostovací aditiva se na trhu objevují pod různými jmény (kompostovací aditiva, stimulační přípravky) a všechny pro potenciální zákazníky znějí velice lákavě a zajímavě. Obvykle jsou kompostovací aditiva mixem různých množství mikroorganismů, živin, enzymů a pH vyvažujících sloučenin, které mají podpořit mikrobiální aktivitu v rámci kompostovacího procesu. Propagační materiály vztahující se na kompostovací aditiva slibují, že proces kompostování proběhne lépe a rychleji a že výsledný produkt bude kvalitnější než v situaci bez použití aditiva. Hledání ve vyhledávači Googlu® pomocí klíčových slov „kompostovací akcelerátory“ vygenerovalo mnoho výsledků nabízejících kompostovací přípravky. V Evropském patentovém úřadě je možné nalézt veliké množství patentů na přípravky, slibujících pozitivní účinek na kompostovací proces. V oblasti vědeckých publikací je však informací o účinku kompostovacích aditiv málo (Himanen et al., 2009). Z tohoto důvodu jsem jako cíl své disertační práce zvolil zjištění účinků kompostovacích aditiv na průběh kompostovacího procesu a jejich vliv na fyzikálně-chemické vlastnosti kompostu.

2 CÍL PRÁCE

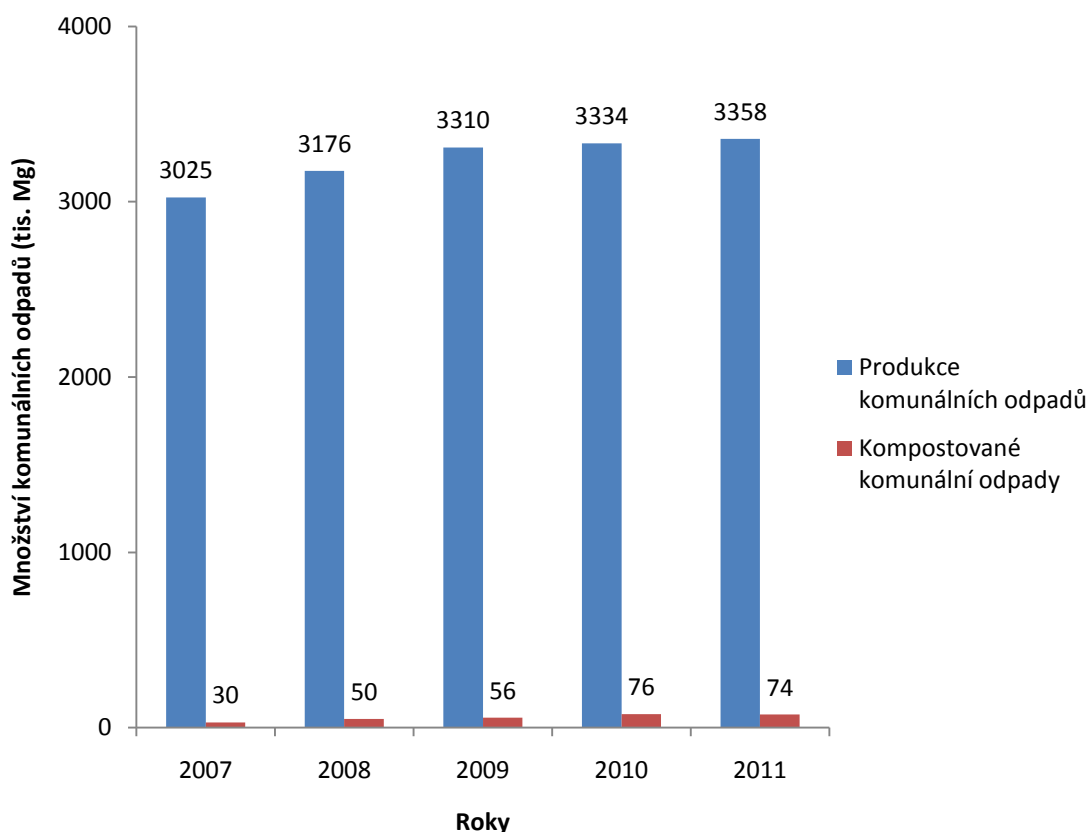
V rámci výzkumu možností předcházení ukládání BRO na skládky komunálních odpadů byly ověřovány možnosti využití kompostovacích aditiv v kompostovacím procesu v podmínkách domácího kompostování. Cílem disertační práce bylo sledovat, zdokumentovat a statisticky vyhodnotit účinek kompostovacích aditiv ProBio ORIGINAL™ na průběh kompostovacího procesu BRO a na fyzikálně-chemické vlastnosti výsledného kompostu. Sledován byl účinek tří rozdílných koncentrací přípravku ProBio ORIGINAL™ na průběh teplot v zakládkách, na míru redukce objemu kompostovaného materiálu, ovlivnění hodnoty pH a elektrické konduktivity, vliv na poměr C:N a na koncentraci živin. Pro možnost porovnání účinku přípravku ProBio ORIGINAL™ s jinými srovnatelnými aditivami, dostupnými na trhu ČR, byly dle shodné metodiky testovány a ověřovány účinky tří dalších kompostovacích aditiv (Bio P4, Floran biokompostér a Radivit) na průběh kompostovacího procesu a fyzikálně-chemických vlastností kompostu.

3 LITERÁRNÍ PŘEHLED

3.1 Problematika ukládání biologicky rozložitelných odpadů

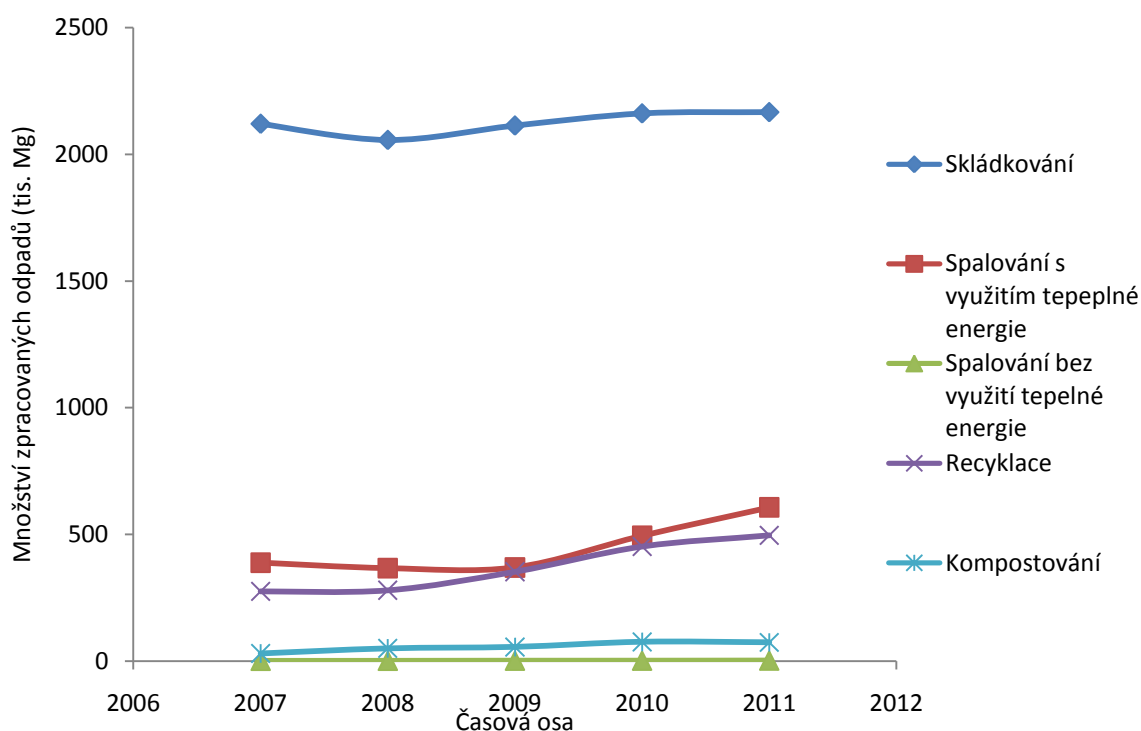
Zákon č. 185/2001 Sb., o odpadech definuje v §33a BRO jako jakýkoli odpad, který podléhá aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Biologický odpad je pak blíže specifikován jako BRO ze zahrad a veřejné zeleně, potravinářský a kuchyňský odpad z domácností, restaurací, stravovacích nebo maloobchodních zařízení a srovnatelný odpad ze zařízení potravinářského průmyslu.

BRO tvoří přibližně 40-50 % (Hřebíček, 2009) z celkového množství komunálních odpadů (dále jen KO) vyprodukovaných v České republice. Na základě podkladů z Českého statistického úřadu (ČSÚ) občané České republiky vyprodukovali v rozmezí let 2007-2011 průměrně 3 240,6 tis. Mg KO ročně (Graf 1).



Graf 1: Produkce KO (tis. Mg) a množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů (tis. Mg) zpracovaných kompostováním v ČR v letech 2007-2011 (Zdroj: ČSÚ, autor: Hlisnikovský)

Biologicky rozložitelných komunálních odpadů (dále jen BRKO) tak v těchto letech vzniklo v průměru 1 296 až 1 620 tis. Mg ročně, z toho bylo v průměru 57,2 tis. Mg zpracováno kompostováním (Graf 1). V porovnání s ostatními technologiemi nakládání s odpady zaujímá kompostování druhou nejméně rozšířenou metodu (Graf 2).



Graf 2: Způsoby nakládání s odpady v ČR v letech 2007-2011 (Zdroj: ČSÚ, autor: Hlisnikovský).

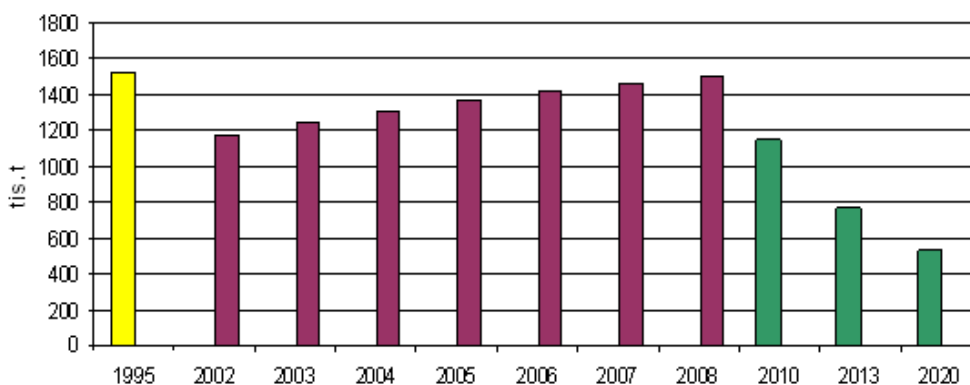
Nejvíce využívaným způsobem nakládání s odpady je v České republice skládkování. Ukládání BRO na skládky komunálních odpadů je však doprovázeno několika negativními vlivy:

- Vyloučení organické hmoty z koloběhu látek. Organické látky obsažené v BRKO jsou jednosměrně přesouvány z místa vzniku (tj. z biologicky aktivních ploch) a trvale ukládány do tělesa skládky.
- Biochemické degradační procesy způsobují úbytek pevné části odpadů i změnu jejich objemu a tak vedou ke zvýšené míře sedání a tvarových změn tělesa skládky i po jejím uzavření a rekultivaci.
- Při biochemických degradačních procesech se v anaerobním prostředí vyvíjí skládkový plyn (směs CO_2 , CH_4 a dalších plyných látek), který je třeba jímat

a zneškodňovat. Když pomineme negativní vliv skleníkových plynů CO₂ a CH₄ na změny klimatických podmínek, je třeba skládkový plyn zneškodňovat z důvodů nebezpečí výbuchu v tělese skládky.

- d) Ukládání BRO na skládky komunálních odpadů trvale znemožňuje jejich využití v jiných odvětvích průmyslu. BRO je totiž potenciálním zdrojem cenných chemických sloučenin, které nacházejí široké uplatnění např. ve farmaceutickém průmyslu (Vlastimil Kubáň, ústní sdělení, 18.02.2010).

Odklonění toku BRKO na skládky komunálních odpadů je ve formě několika dílčích cílů zakotveno v Plánu odpadového hospodářství České republiky. Cílem plánu odpadového hospodářství je, na základě požadavků směrnice Rady 1999/31/EC o skládkách odpadů, snížení maximálního množství BRKO ukládaných na skládky tak, aby podíl této složky činil v roce 2010, resp. 2013 a 2020, nejvíce 75 %, resp. 50 % a 35 % z celkového množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů vzniklého v roce 1995 (Graf 3). Tento cíl se však zatím nedaří plnit.



Graf 3: Množství BRKO vyprodukovaného v roce 1995, skutečné množství vyprodukovaného BRKO (tis. Mg) v letech 2002-2008 a teoretické hodnoty množství BRKO ukládaného na skládky KO v letech 2010, 2013 a 2020 (Zdroj: Ministerstvo životního prostředí ČR).

Z tohoto důvodu je ČR vystavena hrozbě sankcí ze strany Evropské komise, která směrnicí 1999/31/ES o skládkách odpadů požaduje redukcí množství BRKO ukládaných na skládky odpadů.

Možností, jak předejít ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky komunálních odpadů, je několik. Jihomoravský kraj např. vybudoval Integrovaný krajský systém nakládání s odpady. V rámci tohoto projektu kraj zvýšil hustotu sběrných dvorů, podpořil výstavbu kompostáren a bioplynových stanic, rekultivaci staré skládky a nákup nových strojů a zařízení. Další možnost otevřela novela Plánu odpadového hospodářství České republiky z roku 2009, která zpřístupnila finanční prostředky z Operačního programu životního prostředí pro energetické využití odpadů.

Vedle již dříve zmíněného projektu ve Dvoře Králové nad Labem přišlo se zajímavým nápadem představenstvo jedné francouzské obce. Ve vesnici Pincé, v severozápadní Francii, můžete po registraci do programu obdržet dvě slepice. Každá slepice totiž ročně zkonsumuje až 150 kg BRO. K vedlejším pozitivním efektům připočítávají autoři projektu i produkci až 200 čerstvých vajec ročně. Náklady na poskytnuté slepice by měly být navraceny v podobě redukce nákladů na svoz odpadů (BBC online, 2012). Obdobná aktivita proběhla v Belgii v roce 2010. Celkem 50 párů slepic rozdali představitelé města rodinám, které disponovaly dostatečným prostorem pro jejich chov. Cílem tohoto programu byla opět redukce množství BRO a nákladů na odpadové hospodářství obce (BBC online, 2010). Oba dva zmíněné programy se však soustředí na velice důležité aspekty odpadového hospodářství, a to na konkrétního původce odpadů a dále na předcházení vzniku odpadů v místě jeho vzniku.

Další z možností jak odklonit tok BRKO na skládky odpadů a snížit tak jejich ukládané množství představuje kompostování BRO v zahradních kompostérech. Ve Finsku se jako odpověď na požadavky směrnice Rady 1999/31/EC o skládkách odpadů stala separace BRO běžnou praxí. Množství vyprodukovaného BRO činilo ve Finsku v roce 2006 197 tis. Mg, z tohoto množství bylo přibližně 82 % využito. Nejběžnější způsob využití BRO bylo kompostování, ať už v domácích podmínkách, nebo v průmyslových kompostárnách. Rostoucí zájem o problematiku kompostování vedl k nárůstu zájmu občanů o kompostéry společně s kompostováním souvisejících produktů, jako jsou různé příměsi a kompostovací aditiva (Himanen et al., 2009).

3.2 Kompostovací aditiva

V současné době je na trhu České republiky k dostání přibližně 20 přípravků, spadajících do kategorie kompostovacích aditiv. Nesou různá jména, např. kompostovací startéry, akcelerátory nebo urychlovače. Výrobci těchto preparátů garantují pozitivní účinek jejich produktů na průběh kompostovacího procesu, zrychlení mineralizační fáze, snížení uvolňování zápašných látek, vyšší kvalitu kompostu nebo kombinaci těchto účinků. Složení kompostovacích aditiv je založeno na směsi různých bakteriálních kultur, mořských řas, hub, kvasinek, pH pufrů, živin a minerálů, popř. na kombinaci zmíněných složek. Přesné složení, udávající výčet a zastoupení jednotlivých kultur, bývá předmětem výrobního tajemství.

Požizovací ceny kompostovacích aditiv se velice liší. V závislosti na výrobcu, složení, koncentraci a velikosti balení se maloobchodní ceny v ČR pohybují v rozmezí desítek až tisíců Kč. Pro srovnání, ve Finsku se ceny kompostovacích aditiv pohybovaly v roce 2006 v rozmezí od 10 do 50 EUR.m⁻³ BRO (Himanen et al., 2009). V USA se ceny kompostovacích aditiv pohybovaly v 90. letech 20. stol. v rozmezí 1,8–12,3 USD.m⁻³ BRO (Razvi et al., 1996).

Přestože je nabídka minerálních a biologických kompostovacích aditiv na trhu široká, vědeckých prací, zaměřených na ověření účinků těchto aditiv na průběh kompostovacího procesu a ovlivnění fyzikálně-chemických vlastností výsledného kompostu, je velice málo. Ty, které již existují, neposkytují jednoznačnou odpověď na otázku pozitivního vlivu kompostovacích aditiv na ovlivnění kvality kompostu nebo kompostovacího procesu, naopak, výsledky již provedených experimentů podávají protichůdné výsledky.

Razvi et al. (1996) prezentoval výsledky studie, ve které byl sledován účinek sedmi komerčně dostupných kompostovacích aditiv, orniční půdy a vyzrálého kompostu na průběh kompostovacího procesu. V této studii prokázali, že aplikace komerčně dostupných aditiv nebyla v průběhu kompostování více či méně efektivnější, nežli aplikace kvalitní půdy nebo vyzrálého kompostu. Korhonen (2006) testovala po dobu jedenácti měsíců pět kompostovacích aditiv. Test byl zaměřen na sledování vlivu aditiv na průběh teplot, vlhkosti a uvolňování zápašných látek v pokusných zakládkách. V průběhu testu nebyl prokázán pozitivní vliv přidaných aditiv na průběh teplot v zakládkách.

Plíva et al. (2001) ověřoval účinek šesti přípravků pro stimulaci kompostovacího procesu a potlačení uvolňování zápašných látek. V průběhu čtyřicetidenního testu byla sledována míra produkce a vlhkost amoniaku (NH_3), metanu (CH_4), oxidu uhličitého (CO_2) a oxidu dusíku (N_2O). Výsledkem tohoto experimentu bylo konstatování, že testované přípravky lépe plní funkci potlačování uvolňování zápašných látek, nežli stimulatory pro podporu kompostovacího procesu.

Himanen (2009) provedla laboratorní experiment s dvěma minerálními kompostovacími aditivami, s cílem ověření jejich účinku na průběh kompostovacího procesu a kvalitu kompostu. Přestože byla prokázána určitá pozitiva aplikace těchto aditiv (navýšení hodnoty pH, intenzifikace mineralizační části - prodloužení termofilní fáze), většina aspektů, deklarovaných výrobcí, nebyla v experimentu prokázána.

Iqbal et al. (2010) experimentálně ověřoval účinek anorganického aditiva na kompostování biologicky rozložitelné složky komunálního odpadu. Experiment probíhal 77 dní, a to ve dvou rotačních válcových kompostérech. Testovaným aditivem byla anorganická směs obsahující 5% fosfát, 1% FeSO_4 a 0,63% vápenec.

V průběhu pokusu byl prokázán vliv přidavku anorganického aditiva na rychlejší redukci pH, zapříčiněnou uvolňováním bází fosfátu. Na konci experimentu však nebyly rozdíly v hodnotě pH u obohaceného a referenčního kompostu významné. Obdobná dynamika pH byla sledována při kompostování čistírenských kalů s přidavkem vápence (Wong et al., 2000). Pozitivní vliv aditiva byl zaznamenán na průběh teplot. Obohacený kompostér rychleji dosáhl termofilní oblasti teplot. Rovněž došlo k prodloužení termofilní části kompostovacího procesu. Aplikace přidavku anorganického aditiva zapříčinila rychlejší snížení poměru C:N u kompostovaného materiálu, v porovnání s kompostérem referenčním.

Pozitivní efekt minerálního aditiva byl zaznamenán při sledování koncentrace nitrátů. Mírně alkalické prostředí a postupné uvolňování O_2 , jakožto výsledku degradace CaO_2 , vyhovuje nitrifikačním bakteriím, což vede k vyšší produkci nitrátů (Singh et al., 2007). Iqbal et al. (2010) prokázal vyšší účinnost nitrifikace u kompostování s přidavkem anorganických aditiv. Obdobný efekt na kompostovací proces byl zaznamenán při experimentálním měření vlivu přidavku hydroxidu vápenatého (Himanen et al., 2009).

Kombinace vápence a fosfátů v kompostovacích aditivech se jeví jako velice užitečná pro zlepšení kvality výsledného kompostu. Toto spojení vede k syntéze

fosforylovaných proteinů, které jsou méně náchylné k volatilizaci, než proteiny samotné. Přítomnost fosfátů vede ke konzervaci dusíku, zapříčiněnou potlačením růstu denitrifikačních bakterií a stimulací růstu dusíkových fixátorů (Iqbal et al., 2010). Obdobné výsledky uveřejnila ve své práci i Satisha et al. (2007).

Turan et al. (2008) použil ve svém experimentu jako kompostovací aditivum perlit a zeolit. Oproti referenčnímu vzorku bylo u obohacených kompostérů dosaženo termofilní fáze kompostování. Taktéž byla zjištěna redukce ztrát dusíku v průběhu kompostovacího procesu, neboť přidané minerály snížily volatilizaci dusíku ve formě amoniaku.

V několika experimentech byl prokázán pozitivní účinek minerálních kompostovacích aditiv na snížení mobility těžkých kovů a rizikových prvků. Iqbal et al. (2010) zjistil, že přídavek vápence v množství 0,63 % vsádky rapidně snížil koncentrace Zn, Mn, Pb, Cu a Cd ve vzorcích obohaceného kompostu, v porovnání s referenčním kompostem. Stejně zjištění prezentoval ve své práci i Fang et al. (1999) při kompostování čistírenských kalů společně s vápencem.

Kromě komerčně běžně dostupných kompostovacích aditiv byly provedeny mnohé experimenty s přídavkem kalů z čistíren odpadních vod a elektrárenským popílkem. Přestože jsou tyto materiály nedostupné pro aplikaci v domácích kompostérech, mohou nalézt uplatnění v rámci zlepšení kompostovacího procesu v průmyslových kompostárnách.

Za účelem zlepšení kompostovacího procesu a ovlivnění kvality výsledného kompostu byl ve Finsku proveden test s popílkem, pocházejícím z tamní teplárny (Koivula et al., 2004). Přídavek popílku nikterak neovlivnil akceleraci nárůstu teploty v kompostovacích rotačních válcích, nicméně byl prokázán pozitivní účinek přídavku popílku na dosažení vyšších teplot (až 80°C) v kompostovacích válcích, v porovnání s referenčním vzorkem. Jedním z vysvětlení tohoto jevu je, že přidaný popílek navýšil absorpční schopnost kompostované biomasy. Přidání popílku mělo rovněž kladný efekt na zvýšení dostupnosti kyslíku v biomase, snížení uvolňování zápašných látek (H₂S) v průběhu kompostovacího procesu (obdobu filtrů z aktivního uhlí), zvýšení hodnoty pH, urychlení mineralizační fáze a syntézu huminových kyselin.

Vliv elektrárenského popílku na imobilizaci těžkých kovů z čistírenských kalů experimentálně ověřoval i Lau et al. (2000). V rámci tohoto pokusu byly kompostovány kaly z čistírny odpadních vod společně s různým přídavkem popílku. Ten měl

za následek zvýšení alkality v kompostovací zakládce, způsobující redukcí mobility a vulnerability těžkých kovů.

Gaind et al. (2002) ve svém experimentu zjišťoval optimální poměr přidávaného popílku ke kompostované biomase, s ohledem na získání kvalitního a bezpečného hnojiva. Testovací zakládky obsahovaly přídavky popílku v poměru 10 %, 20 %, 40 % a 60 %. Jedna zakládka sloužila jako referenční. Přídavek 20 % popílku mělo pozitivní dopad na snížení poměru C:N a zvýšení celkového a dostupného P. Vyšší dávky popílku (40% - 60%) nezapříčinily žádné negativní účinky na poměr C:N, ani na mikrobiální společenstva.

Účinek kombinace popílku a kalu z čistíren odpadních vod na ovlivnění kompostu a jím hnojené půdy testoval Hackett et al. (1999). Oba materiály, jsou-li zkombinovány, vykazují vlastnosti, které mají pozitivní účinek na půdu. Čistírenské kaly vykazují neutrální pH, vysokou koncentraci N a relativně dobrý poměr C:N (16:1). Popílek zajišťuje dodání sušiny do kompostovaného materiálu, vhodnou pórovitost zakládky pro lepší aeraci a obsah živin. Jako negativní se v popílku jeví vysoká hodnota elektrické konduktivity, obsah dioxinů a vysoká hodnota poměru C:N. Výsledky experimentu prokazují pozitivní ovlivnění kompostu obohaceného směsí čistírenských kalů a popílku. Tento kompost byl více homogenní, dosáhl lepšího poměru C:N, akceptovatelné hodnoty pH a elektrické konduktivity. Taktéž zaznamenal snížení koncentrace dioxinů ve srovnání s počáteční hodnotou.

3.3 Historie kompostování

Počátky produkce a zpracování BRO jsou spjaty s obdobím neolitické urbanizace, kdy lidé začali osidlovat úrodné delty řek a vytvářet první osady a usedlosti. Došlo ke změně způsobu obživy lovem a sběrem nešlechtěných plodin na zemědělskou produkci, chov a šlechtění hospodářských zvířat a rostlin.

Technologie, která se tenkrát používala pro zpracování odpadů, byla velice jednoduchá, nicméně její principy se používají dodnes. Jednalo se o jámy, vyložené kameny. Tyto jámy byly umístěny obvykle za domy a shromažďovaly se v nich odpady, které lidé produkovali, a následně je využívali na zemědělsky obhospodařovaných pozemcích. První takové jámy byly objeveny ve městech Sumérské civilizace a jejich stáří se datuje do období 4 000 let př. n. l. První civilizace Jižní Ameriky, Indie, Číny a Japonska praktikovaly intenzivní zemědělství a je o nich známo, že zpracovávaly a využívaly rostlinná, živočišná a lidská residua jako hnojiva. Tato residua byla nejdříve uložena do jam a ponechána mikrobiálnímu rozkladu po dlouhou dobu, než byla použita na zemědělskou půdu. Předpokládá se, že obdobný význam měly za vlády Minójsko – Mykénské civilizace v letech 2 700 – 1 200 př. n. l. i jámy objevené před branami měst na ostrovech Kréta a Knóssos. Řím, hlavní město Římského impéria, mělo zavedený organizovaný systém sběru a nakládání s komunálním odpadem. Tento systém byl nutný z důvodu zachování vhodných hygienických podmínek v největším městě té doby (v dobách největšího rozmachu Římské říše měl Řím přibližně 1 650 tis. obyvatel). Sběr odpadu organizovala a zabezpečovala administrativa města. Pro nakládání s odpady byli určeni pracovníci, kteří odpad vyváželi za hranice města, kde ho shromažďovali a popř. používali na zemědělsky obhospodařované půdě. Obdobný systém můžeme nalézt i v pre-renesanční Florencii. Farmáři, kteří ráno přiváželi své produkty na tržiště, odpoledne vyváželi BRO, které následně zpracovávali a aplikovali na své pozemky jako hnojivo. Velice významný pokrok v oblasti kompostování učinil Řád templářských rytířů, jeden z největších a nejvýznamnějších rytířských řádů středověké Evropy, srovnatelný s Řádem německých rytířů a Řádem maltézských rytířů. Řád templářských rytířů se zabýval širokým spektrem aktivit, mimo militantních to byly i činnosti z oblasti bankovníctví a zemědělství. Templáři např. pronajímali mnohdy dříve neobdělávanou půdu zemědělcům, kterou zabrali v oblasti dnešního Španělska po porážení muslimů. Díky dostatečnému finančnímu zabezpečení se mohli zabývat výzkumem v oblasti kompostování. Vypracovali

a zdokumentovali první techniky pro zpracování odpadů, pocházejících z různých zdrojů, pro rozličnou aplikaci na zemědělské pozemky, buďto aby podpořili specifické plodiny, nebo aby zlepšili vlastnosti zemědělsky využívané půdy. Jejich technologický popis kompostování zahrnoval popis přípravy vstupního materiálu s cílem produkce různorodých kompostů, které mohou být použity pro specifické plodiny. Technologická dokumentace dokonce obsahovala požadavky na velikost a délku vstupního materiálu, poměr mezi dřevní hmotou a chlévskou mrvou a vlhkost materiálu. Vedle požadavků na vstupní materiál byly vypracovány a zdokumentovány charakteristiky pro výstupní materiál a pro samotný postup přípravy zakládek s kompostovaným materiálem, včetně jejich šířky, výšky a délky. Zakládky byly v průběhu kompostovacího procesu přikryty půdou, popř. větvemi, aby se zabránilo ztrátám vlhkosti. Byly vypracovány i časové harmonogramy pro jednotlivé materiály a doporučené postupy pro aplikaci daného kompostu určitým zemědělským plodinám. Některé z těchto dokumentů je stále možné nalézt v Madridské Národní knihovně nebo v Národním historickém archívu v Madridu. Tyto poznatky jsou velmi zajímavé, když si uvědomíme, že dnešní znalosti z oblasti mikrobiologie, biochemie a chemie půd byly pro středověkou civilizaci nedostupné. Z dochovaných dokumentů však je zřejmé, že tehdejší lidé disponovali vědomostmi a rozuměli aspektům geologie, biologie půdy a zemědělství (Diaz et al., 2007).

Z novodobé historie kompostování stojí za zmínění období 1925 až 1933. V tomto období učinil významný pokrok Sir Albert Howard (1873 – 1947), anglický botanik a průkopník ekologického zemědělství. Společně s dalšími vědci a spolupracovníky vynalezl kompostovací technologii, známou jako „Indoor process“. Technologie získala své jméno po lokalitě v Indii, kde byla poprvé využita v praxi. Z počátku se touto technologií zpracovávala výhradně chlévská mrva, později byly přidány biologicky rozložitelné odpady, lidské exkrementy, listy, sláma a odpady ze stájí. Technologie spočívala v navrstvení materiálu do hromad, vysokých 1,5 m, popřípadě do speciálních jam, hlubokých 0,6 – 0,9 m. Degradční proces trval šest měsíců nebo i déle a za tuto dobu byl dvakrát překopán z důvodu provzdušnění. Průsaková voda byla zachytávána a recirkulována zpět do zakládky pro udržení optimální míry vlhkosti. Je velice pravděpodobné, že aerobní podmínky byly v zakládkách této technologie udrženy po velice krátkou dobu, a to při začátku kompostovacího procesu a při provádění překopávek materiálu. I přes tuto skutečnost byl „Indore process“ převzat a modifikován a hojně se rozšířil nejen v Indii, ale i v zahraničí (experimenty

a modifikace probíhaly např. v Malajsii, v Jihoafrické republice a na Novém Zélandu). Nejdůležitější modifikací „Indore process“ bylo častější překopávání kompostovaného materiálu za účelem dosažení aerobních podmínek uvnitř zakládky a zvýšení efektivity této technologie. V letech 1950 – 1955 prof. Dr. Clarence G. Gloureke a jeho spolupracovníci z Kalifornské univerzity v Berkeley prováděli rozsáhlý aplikovaný výzkum týkající se aspektů kompostování různorodých materiálů. Jejich výzkum přinesl spoustu důležitých informací ohledně vlivu poměru C:N, teploty a vlhkosti na kompostovací proces, vlivu různých způsobů aerace na rozklad materiálu a taktéž nové poznatky v oblasti využívání mikrobiálních inokulantů (Diaz et al., 2007,).

První intenzivní kompostovací technologie byla vynalezena a patentována v roce 1922 v Itálii Dr. Giovannim Beccarim. Technologie využívala uzavřené boxy (z důvodu zachycení zápašných látek). Boxy byly plněny střešním otvorem a vyklízeny přes vstupní bránu. Prvotní rozklad materiálu probíhal v anaerobních podmínkách, následován finální aerobní fází dozrávání kompostu. „Beccari process“ se uplatnila především v Itálii a Francii, v USA bylo v provozu 5 zařízení (Smith, 1923). Způsob zpracování biologicky rozložitelného materiálu v anaerobním prostředí projevoval výrazné nedostatky, především v emisi zápašných látek při otevření vstupní brány. Technologie byla později modifikována recirkulací plynů a kapalin, uvolněných v průběhu procesu degradace, a zvýšenou aerací procesu, známa jako „Verdier process“. Další modifikace proběhla v roce 1931 Jeanem Bordasem a jejím přínosem byla eliminace anaerobní fáze rozkladu a částečné vyřešení problému se zápachem. Modifikace spočívala v zavedení perforovaného potrubí dovnitř zakládky, čímž došlo k nucené aeraci kompostované hmoty v boxech. Velký přínos přineslo i rozdělení boxu na spodní a vrchní sekci. (Hickman, 2003, Diaz et al., 2007).

První plnohodnotná kompostárna byla v Evropě postavena v roce 1932 v Nizozemsku. Úprava materiálu fungovala na principu „Mannen process“, obdoba „Indore process“. (Hickman, 2003). George Earp-Thomas, vynálezce a vědec v oblasti intestinálních bakterií a mikrobiologie, si v roce 1939 nechal patentovat digestoř pro produkci kompostu v aerobních podmínkách. Digestoř měla podobu sila, uvnitř vybavena několika mřížemi a pluhy, které zajišťovaly pomalou rotací homogenizaci kompostovaného materiálu, a systémem nucené aerace. Hlavní roli v případě této technologie hrály i speciální kmeny bakterií, které taktéž dodávala společnost pana Earp-Thomase (Hickman, 2003).

Velice rozšířenou a oblíbenou technologií kompostování v Evropě i jinde ve světě, byla dánská technologie Dano, vynalezena přibližně ve čtyřicátých letech 20. stol. Technologie byla referována jako kompostovací, nicméně svým způsobem se jednalo spíše o technologii pro přípravu materiálu ke kompostování. Zařízení mělo podobu horizontálního, pomalu rotujícího válce, ve kterém byl materiál provzdušňován, homogenizován a částečně rozdrcen na menší částice. Válec byl vybaven magnetickým separátorem pro separaci železných kovů, které mohly být dále recyklovány. Hlavním účelem tohoto zařízení byla segregace biologického materiálu a redukce jeho velikosti. Výstupní materiál byl připraven ke kompostování kteroukoliv technologií, která byla v té době dostupná. Později v padesátých letech vynalezla společnost Dano mechanický digestoř, Bio stabilizér. Jednalo se o zařízení podobné cementárenské peci. Dlouhý válec, s kapacitou přibližně 100 Mg, umístěný pod mírným sklonem, se otáčel přibližně jednou za pět minut. Jak válec pomalu rotoval, materiál postupně procházel skrz a byl mechanicky narušován abrazí o stěny válce a mikrobiální činností mikroorganismů. Aeraci zajišťovaly vzduchová potrubí, vedena po celé délce válce. Vlhkost materiálu byla udržována na optimální úrovni přidáváním tekuté složky. Teplota ve válci odpovídala po většinu dobu zdržení termofilní oblasti. Doba zdržení materiálu v zařízení byla tři až čtyři dny, v závislosti na druhu zpracovávaného materiálu. Před výstupem prošel zpracovávaný materiál sítím o velikosti ok jeden cm (Diaz et al., 2007, Hickman, 2003).

Výše vyjmenované technologie byly významné, neboť určily směr pro pozdější vývoj v oblasti zpracování biologicky rozložitelného materiálu. Pozdější kompostovací technologie, vynalezené v Evropě či USA, byly více či méně modifikacemi těchto zařízení a s menšími či většími úpravami se využívají v oblasti odpadového hospodářství dodnes.

3.4 Fyzikální vlastnosti kompostování

3.4.1 Vlhkost

Vlhkost kompostovaného materiálu je jedním z nejdůležitějších parametrů, které v procesu kompostování sledujeme. Celková vlhkost v zakládce vychází z obsahu vlhkosti vstupního materiálu, z vody vzniklé jakožto produktu metabolismu mikrobiální složky a z externě dodávané závlahy. Jeden gram mikrobiální složky dokáže vyprodukovat 0,6-0,8 g vody. V aerobních podmínkách dokáže digesce a respirace jednoho gramu organického materiálu generovat přibližně 25 kJ tepelné energie, což je množství dostatečné pro přeměnu 10,2 g vody na vodní páru (Finstein et al., 1986, Zueng-Sang, 2005). Voda je pro dostatečnou mikrobiální aktivitu esenciální prvek a její dostatek je nutný ve všech fázích kompostovacího procesu. Hodnota a průběh vlhkosti v zakládce závisí na druhu zpracovávaného materiálu, na velikosti jeho částic a na použité technologii kompostování. Nízká míra vlhkosti, méně než 30 %, zapříčiní brzkou dehydrataci mikrobiální složky v zakládce a inhibuje celý proces kompostování. Stejný efekt má i vysoká míra vlhkosti, nad 75 %, která zapříčiní vyplnění pórů v zakládce a zhoršené podmínky výměny plynů s prostředím. Tím se mohou v prostředí vyskytnout anaerobní podmínky, vedoucí k produkci zápašných látek a k produkci nekvalitního kompostu. Jako optimální hodnota vlhkosti v zakládce se uvádí 60-70 % (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

3.4.2 Obsah kyslíku

Dostatek kyslíku v zakládce je pro kompostování klíčový prvek. Především v prvních dvou etapách kompostovacího procesu, kdy dochází k hydrolýze jednoduchých organických látek a míra mikrobiální aktivity je nejvyšší. V těchto etapách klesá obsah kyslíku a narůstá koncentrace CO₂.

Kyslík zastává v procesu kompostování několik úloh. Pro aerobní organismy je to konečný akceptor elektronu v respiračním řetězci a je pro ně nepostradatelný. Pro fakultativně aerobní mikroorganismy představuje kyslík výhodnější formu respirace s vyšší energetickou výtěžností a v případě dobrého zásobení volí tyto organismy aerobní respiraci. Pro anaerobní mikroorganismy je kyslík toxický, jelikož způsobuje

zkrat v oxidačně-redukčních procesech uvnitř buňky. Dostatek kyslíku v zakládce tak zabrání fermentaci a anaerobní respiraci mikroorganismů účastnících se kompostování.

Dále je kyslík důležitý pro oxidaci různých organických molekul přítomných v kompostovaném materiálu a ovlivňuje teplotu a vlhkost v zakládce (Zueng-Sang, 2005). Minimální obsah kyslíku v zakládce by měl být 5 %. Pro dosažení tohoto požadavku je nutné zakládku pravidelně překopávat (Diaz et al., 2007)

3.4.3 Hodnota elektrické konduktivity

Jednou ze sledovaných kvantitativních charakteristik kompostu je salinita, měřená pomocí elektrické konduktivity (dále jen EC) (Thompson et al., 2002). Hodnota EC numericky vyjadřuje schopnost vodního prostředí vést elektrický proud. Všeobecně se jedná o parametr s úzkou relací ke koncentraci všech rozpuštěných látek ve vodním prostředí a používá se jako kvantitativní vyjádření koncentrace rozpuštěných solí (Johnsson et al., 2005). Stanovení EC je parametr kvantitativní, protože hodnota EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) nám udává množství rozpuštěných solí ve vzorku, nikoliv jejich exaktní složení. Hodnota EC však může být použita i jako parametr kvalitativní, ale pouze v případě porovnání kompostů, u kterých byl použit stejný vstupní materiál (Akhtar, 2007).

Vysoká úroveň salinity kompostu se může projevit snížením výnosnosti polních plodin, na jejichž pozemcích byl kompost aplikován. K tomuto dojde, jestliže koncentrace solí v oblasti kořenů plodin vzroste na takovou úroveň, kdy tyto kořeny již nejsou schopny čerpat dostatečné množství vody ze směsi půdy a kompostu (Van der Gheynst et al., 2004). Tolerance na koncentraci solí v půdě je ovlivňována podmínkami stanoviště, na kterém je plodina pěstována a plodinou samotnou. Například výnosy fazolí, karotky, hrášku a jahod jsou ovlivněny hodnotou EC půdy od $1 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$. Ječmen, bavlna a pšenice jsou schopny tolerovat i hodnotu EC $8 \text{ mS}\cdot\text{cm}^{-1}$, než je zaznamenán negativní vliv na výnosy (Maas, 1986).

Úroveň salinity v půdě a v kompostu se nejčastěji určuje stanovením EC vodního výluhu vzorku. Ve vědeckých člancích a technických normách můžeme k dnešnímu dni nalézt minimálně 10 způsobů stanovení EC kompostu. Jednotlivé metody se od sebe liší použitím různě předpřipravených vzorků (suchý/mokrý), rozdílným ředícím

poměrem vody a vzorku, rozdílnou dobou míchání a použitím filtrovaného nebo nefiltrovaného vzorku (Johnsson et al., 2005).

Metody používané pro stanovení EC kompostu:

- a) Zředění vzorku s vodou v poměru 7,5:1 (voda:vysušený kompost). Míchání po dobu 16 hodin, filtrace a následné měření EC filtrátu.
- b) Metoda saturovaného média. Smíchání kompostu s destilovanou vodou za účelem získání kaše, poté odstavit po dobu čtyř hodin. Získaný materiál přefiltrovat a následně měřit EC filtrátu.
- c) Mechanicky protřepávat vzorek kompostu s dvakrát destilovanou vodou v poměru 10:1 (voda:vzorek). Vzorek následně odstředit při 10 000 ot.min⁻¹. Následně přefiltrovat přes 0,45µm membránový filtr a měřit EC filtrátu.
- d) Zředit vzorek kompostu s deionizovanou vodou v poměru 5:1 (voda:kompost). Následně měřit EC filtrátu.
- e) Zředit vzorek kompostu s deionizovanou vodou v poměru 5:1 (voda: vysušený kompost). Mechanicky třepat po dobu dvaceti minut a následně měřit EC přímo, nebo měřit EC filtrátu.
- f) Modifikovaná metoda saturovaného média. Smíchat vzorek kompostu s deionizovanou vodou do okamžiku saturace. Následně inkubovat po dobu třiceti minut. Následně vzorek umístit do nylonového vaku a zmáčknutím extrahovat kapalnou složku. Kapalnou složku umístit do odstředivky a odstředit při 10 000 otáčkách za minutu po dobu patnácti minut. Odstředěný vzorek přefiltrovat přes 0,45µm membránový filtr a následně měřit EC filtrátu.
- g) Smíchat kompost s deionizovanou vodou v poměru 1:1,5 (voda:kompost), extrahovat a změřit EC (Sonneveld et al., 1974).
- h) Přesít kompost přes síto s velikostí ok 20 mm, odebrat 60 ml vzorku z podsítné frakce a tento vzorek smíchat s 300 ml deionizované vody. Protřepávat po dobu šedesáti minut při teplotě 22 °C ± 3 °C. Poté nechat filtrovat přes filtrační papír a z filtrátu do jedné hodiny změřit EC.
- i) Přesít kompost přes síto s velikostí ok 40 mm, odebrat 250 ml vzorku z podsítné frakce a tento vzorek smíchat s 1 250 ml deionizované vody. Protřepávat po dobu šedesáti minut při teplotě 22 °C ± 3 °C. Poté nechat filtrovat přes filtrační papír a z filtrátu do jedné hodiny měřit EC.

Jak dokazuje počet různých metod, neexistuje žádná uniformita v postupech, která by zabránila „zmatkům“ a záměnám interpretace naměřených hodnot (Van der Gheynst et al., 2004).

Jednou z nejčastěji používaných metod stanovení EC kompostu je metoda „saturovaného média“. Postup přípravy vzorku kompostu probíhá postupným přidáváním deionizované vody ke kompostu až do okamžiku saturace. Saturované médium je následně filtrováno a z filtrátu je přímo měřena hodnota EC. Tato metoda ovšem může mít velice mnoho podob. Různorodost podob vychází z úsudku pozorovatele, ve kterém okamžiku je přesně dosaženo momentu saturace. Existuje několik popisů dosažení tohoto okamžiku, např. „když povrch média jemně září, či světélkuje“, „když se při promíchávání žádná přidaná voda již nevsakuje, ani nezůstává na povrchu“, atd. Na rozdíl od minerálních půd, kompost a jiná výživová média mají vysokou schopnost absorpce vody a okamžik saturace je velice těžké odhadnout, neboť organické částice stále pokračují v pomalé absorpci přidané vody. Je nanejvýš jasné, že reprodukovatelnost této metody je velice obtížná (Van der Gheynst et al., 2004). Přesto se přikláním k názoru, že se tato metoda nejvíce přibližuje reálným přírodním podmínkám a procesům probíhajícím na poli (Rhoades et al., 1996). Z tohoto důvodu je i tato metoda tak rozšířená a používaná. Z příčiny široké škály metod, používaných pro stanovení EC, je v případě publikace výsledků vždy nutné uvést detaily použité metody, např. ředící poměr, doba míchání atd.

3.4.4 Teplota

Kompostování je bio-oxidační mikrobiální degradační proces smíšeného organického materiálu. Jedná se o exotermický proces doprovázený uvolňováním relativně velkého množství energie. Přibližně 40 – 50% této energie může být mikroorganismy využito k syntéze ATP. 50 – 60% energie uniká v podobě tepelné energie do prostředí a zahřívá jej tak až na teplotu 70 – 90°C. Finstein tento proces nazývá „mikrobiální sebevražda“ (Finstein et al., 1980). Rostoucí teplota v základce inhibuje mikrobiální růst a zpomaluje degradační proces kompostovaného materiálu (Diaz et al., 2007).

Existuje několik způsobů dělení organismů dle teploty, při které jsou organismy aktivní. Zueng-Sang (2005) rozděluje mikroorganismy dle teploty do tří tříd:

- a) kryofilní a psychrofilní: 0-25°C,
- b) mezofilní: 25-45°C,
- c) termofilní: >45°C.

K dosažení nejvyšší úrovně biodegradace a maximální mikrobiální biodiverzity je nejvhodnější rozmezí teplot 30-45°C (Finstein et al., 1983, Bertholdi et al., 1983, Stentiford, 1993).

3.3.4.1 Průběh teploty

Teplotní průběh je velice dobrým indikátorem různých etap kompostovacího procesu. S počáteční teplotou okolního prostředí, při které je kompostovaný materiál namíchán, může zakládka v průběhu 2 dnů, v závislosti na skladbě materiálu a okolních podmínkách, dosáhnout termofilní oblasti teplot (45-80 °C). Generovaná tepelná energie vychází z vnitřní části zakládky a růst teploty proto není závislý na dodávání tepelné energie z okolí (Zueng-Sang, 2005).

Na základě teploty se celý proces kompostování obvykle rozděluje do 4 etap, první mezofilní, termofilní, druhá mezofilní a fáze dozrávání.

- a) První mezofilní (startovací) fáze - (25 – 40 °C)

Psychrofilní a mezofilní bakterie, aktinobakterie a houby v této fázi metabolizují lehce rozložitelné organické sloučeniny, především sacharidy a proteiny. Přísun snadno získatelné energie dovoluje mikroorganismům masivní množení. Přestože je počet mezofilních mikroorganismů v prostředí až o tři řády vyšší, než počet termofilních bakterií (Diaz et al., 2007), s blížícím se koncem této fáze se poměr mění ve prospěch termofilních mikroorganismů. V průběhu digesce organických sloučenin totiž dochází k uvolňování velikého množství tepelné energie do okolního prostředí. Rostoucí teplota inhibuje růst populace mezofilních organismů a podmínky prostředí se tak stávají vhodnými pro termofilní mikroorganismy (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

b) Termofilní fáze (35 – 65 °C)

V této fázi kompostovacího procesu se v zakládce vyskytují optimální podmínky pro život a růst termofilních mikroorganismů. Mezofilní mikroorganismy postupně hynou a společně s jinými snadno rozložitelnými živinami z kompostovaného materiálu jsou termofilními organizmy rozkládány za doprovodu jejich množení a uvolňování další tepelné energie. Teplota uvnitř zakládky se v této fázi kompostovacího procesu pohybuje v rozmezí 35 – 65 °C. Přestože je pro termofilní houby kritická teplota uvnitř zakládky přibližně 55°C a pro termofilní bakterie a aktinomycety 65 °C (po překročení kritické hodnoty organismy hynou), může být v kompostované zakládce naměřena i hodnota přesahující 75 °C. Předpokládá se, že za tento finální nárůst teploty již není odpovědná aktivita termofilních mikroorganismů, nýbrž je to následek abiotických exotermních reakcí, ve kterých svou roli sehrávají teplotně stálé enzymy aktinobakterií (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

c) Druhá mezofilní fáze (40 – 25 °C)

Společně se snižující se aktivitou termofilních mikroorganismů, z důvodu vyčerpání snadno dostupných živin, začíná postupně klesat i teplota v zakládce. Kompostovaný materiál je opět kolonizován mezofilními bakteriemi, aktinomycetami a houbami, které se do zakládky dostaly buďto z vnějších prostor, nebo z chráněných míst v zakládce, nebo ze spór (u sporulujících mikroorganismů). Pokud v první mezofilní a v termofilní fázi dominovala digesce jednoduchých sacharidů, proteinů a lipidů, druhá mezofilní fáze je charakteristická digescí škrobu a celulózy. Z toho vyplývá, že i druhové zastoupení mikroorganismů této fáze bude mírně odlišně od mikroorganismů první mezofilní fáze, neboť mikroorganismy této fáze musí být enzymaticky vybaveny pro štěpení celulózy a jiných složitějších sloučenin (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

d) Fáze dozrávání (<25°C)

Tato fáze, která může trvat i několik měsíců, je charakteristická syntézou humino a fulvo kyselin a nízkým stupněm rozkladu kompostovaného materiálu. Jako zdroj energie a živin v této fázi mikroorganismům slouží složité makromolekulární látky, jako je celulóza, lignin a jiné. Původní odpady jsou nerozeznatelné, kompost získává finální zbarvení a charakteristickou vůni (Zueng-Sang, 2005).

3.5 Chemické vlastnosti kompostování

V průběhu kompostování podstupuje biologicky rozložitelný materiál několik na sebe navazujících procesů:

- a) mineralizace,
- b) humifikace a rozklad v procesech aerobní respirace, anaerobní respirace a fermentace.

Ve správně řízeném procesu kompostování se až 50 % biologicky rozložitelného materiálu transformuje na CO₂, H₂O, minerální sole a energii. Přibližně 20 % zbylého materiálu podstoupí úplnou metabolickou transformaci na humusové látky a 30 % látek je rozloženo v aerobních a anaerobních procesech na méně komplexní organické molekuly.

Ztráty biologicky rozložitelného materiálu mohou v průběhu kompostovacího procesu dosáhnout 30-60 %. Faktory, ovlivňující tyto ztráty, jsou technologie kompostování, délka procesu, podmínky aerace v průběhu kompostování, složení zakládky, velikost částic, poměr C:N a průběh teplot (Diaz et al., 2007).

3.5.1 Poměr C:N

Veškeré mikrobiální transformace dusíku, které se vyskytují v přírodě, můžeme nalézt i v procesu kompostování. V kompostování mají nejdůležitější role procesy mineralizace, nitrifikace a asimilace. Asimilace nitrátů a jejich následná konverse

na organický dusík uvnitř mikrobiální buněk jsou velice důležité etapy kompostovacího procesu. Jejich význam spočívá v zabránění ztrát dusíku z kompostovaného materiálu a navrácení zpět do půdy (Diaz et al., 2007).

V průběhu kompostování se množství celkového dusíku velice mění. Mineralizace dusíkatých látek vede k produkci amoniakálního dusíku. Ten, pokud není ihned oxidován nitrifikačními bakteriemi, uniká do ovzduší. Tento proces se nazývá volatilizace a je obvykle zaznamenáván v první mezofilní fázi a v průběhu termofilní fáze kompostování. Poté jeho míra klesá. Proces volatilizace je ovlivněn především poměrem C:N vstupní suroviny (C:N méně než 20), pH (8-9) a vysokými teplotami. K dalším možným ztrátám dusíku může dojít za výskytu anaerobních podmínek v zakládce. V těchto místech dochází k redukci dusíku anaerobními mikroorganismy na molekulární dusík N_2 . Z denitrifikačních bakterií to jsou termofilní, fakultativně aerobní *Bacillus*, nebo mezofilní *Pseudomonas* a *Paracoccus* (Diaz et al., 2007).

Vedle ztrát dusíku dochází v procesu kompostování i k jeho fixaci. Tato fixace probíhá v pozdějších fázích kompostování, neboť fixace dusíku je inhibována vysokou teplotou, mírou pH a přítomností amoniaku. Ze zakládky byly, především v pozdějších fázích kompostování, izolovány mnohé druhy fixátorů dusíku, jako např. *Azospirillum*, *Klebsiella*, *Enterobacter*, *Bacillus* a *Clostridium*.

Přes ztráty dusíku v počátečních fázích kompostování však celkový poměr C:N narůstá, a to z důvodu značných ztrát uhlíku, především ve formě CO_2 .

Jako optimální poměr C:N se u materiálu připraveného ke kompostování jeví poměr 30-35:1. U výsledného kompostu se uvádí optimální hodnota 10-15:1. Hodnota vyšší než 20:1 může mít negativní dopad na úrodu, kde bude kompost aplikován (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

3.5.2 pH

Jakýkoliv biologicky rozložitelný materiál s hodnotou pH 3-11 může být kompostován (Bertoldi et al., 1985). Jako optimální hodnota pH se udává 5,5-8. Bakteriím více vyhovuje pH v neutrální oblasti, houby lépe snášejí mírně kyselé prostředí. Vývoj pH v kompostované zakládce začíná postupným snižováním k hodnotám 5, prostředí se tedy okyseluje. Je to následek aktivity mikroorganismů, které štěpením uhlíkových sloučenin vytváří kyseliny jakožto meziprodukty svého metabolismu. Jakmile

jsou veškeré meziprodukty metabolismu mineralizovány, hodnota pH začíná růst a ke konci procesu dosahuje hodnoty 8-8,5 (Diaz et al., 2007).

V praxi se hodnota pH upravuje velice obtížně. Vysoké hodnoty pH vstupního materiálu, společně s vysokými teplotami v druhé fázi kompostování, mohou navodit vhodné podmínky pro volatilizaci dusíku. Přestože tomuto jevu můžeme zabránit přidáním zásadité látky, jako např. hydroxid vápenatý. Tento krok se příliš nedoporučuje ve snaze zabránit vyšším ztrátám amonného dusíku v pozdějších fázích kompostovacího procesu, v porovnání s mírou ztrát $\text{NH}_3\text{-N}$ v průběhu kompostování bez přidání zásadité látky. Smysluplné se jeví použití přídavku zásadité látky v případě kompostování materiálu s velice nízkým pH, jako jsou např. odpady obsahující ovoce (citrusové plody). V tomto případě se naopak proces hydrolýzy v iniciační fázi kompostování akceleruje (Diaz et al., 2007). Z pohledu fyzikálních vlastností má přídavek vápna, jakožto absorbentu vlhkosti, kladný vliv i na obsah vlhkosti v kompostovaném materiálu.

3.5.3 Síra

Hlavním zdrojem síry v kompostovaném materiálu jsou především dvě aminokyseliny, cystein a methionin. V případě dostatečného zásobení kyslíkem jsou sulfidy oxidovány na sulfáty, ale v případě výskytu anaerobních podmínek povedou metabolické dráhy mikroorganismů k produkci sulfanu. Produkce sulfanu a jiných nežádoucích látek, jako např. dimethylsulfid a methylmerkaptan, vedou ke zvýšení zápašnosti provozu a indikují špatné podmínky kompostovacího procesu (Zueng-Sang, 2005).

3.5.4 Fosfor

Koncentrace fosforu, jakožto prvku esenciálního pro růst plodin, je vedle koncentrace uhlíku a draslíku důležitým parametrem pro stanovení kvality kompostu. Požadovaný poměr C:P u výsledného kompostu je 100-200:1. (Zueng-Sang, 2005). Koncentrace fosforu není v průběhu kompostování ovlivněna volatilizací, naopak jeho koncentrace může v průběhu procesu narůstat (Finstein et al., 1983, Zueng-Sang, 2005).

3.6 Mikrobiologie kompostovacího procesu

Počátky studia mikrobiologie kompostovacího procesu spadají do třicátých let 20. století. V té době proběhly experimenty dokazující, že zahřívání kompostovaného materiálu má na svědomí mikrobiální aktivita (Browne, 1933). Rovněž byly poprvé provedeny výzkumy zaměřené na dynamiku rozvoje mikrobiálních společenstev v kompostovaném materiálu. Od té doby probíhá výzkum mikroorganismů, které se podílejí na kompostovacím procesu. S použitím moderních technologií, jako je analýza DNA a RNA, jsou každý rok objevovány nové mikroorganismy, které svou činností napomáhají koloběhu živin a energie v procesu kompostování.

Mikroorganismy, podílející se na kompostování, můžeme rozdělit do tří skupin na bakterie, archea a houby.

3.6.1 Bakterie

Význam bakterií, které v průběhu kompostování nevytvářejí mycelia, byl dlouhou dobu opomíjen, snad kvůli lepší viditelnosti hub a aktinomycet. V některých případech je však role bakterií, které nevytváří mycelia, mnohem důležitější, např. v počátečních fázích kompostování čistírenských kalů. V tomto případě, pokud je teplota držena pod 60 °C, je více než 40 % pevných látek v prvních sedmi dnech rozloženo téměř výhradně bakteriemi. Nejrozšířenějším rodem je *Bacillus*. V termofilní fázi kompostování, když teplota přesáhne 65 °C, dominuje druh *Bacillus stearothermophilus* (Diaz et al., 2007).

Druhová rozmanitost a aktivita bakterií úzce koreluje s teplotou v kompostovací základce. Miyatake a Iwabuchi (2005) sledovali míru mikrobiální aktivity a rozmanitosti termofilních bakterií v závislosti na teplotě. Nejvyšší aktivity dosáhly bakterie při 54 °C. Při zvyšování teploty k hranici 63 °C se druhová diversita snížila. Při teplotě 66 °C byl zaznamenán opětovný nárůst rozmanitosti i aktivity mikroorganismů. Těmto podmínkám se adaptovaly bakterie rodu *Bacillus* a *Thermus*.

Vedle aerobních bakterií se na procesu kompostování podílí i anaerobní rody bakterií. V průběhu experimentů na agarových substrátech byly zaznamenány výskyty bakterií, které byly v oblasti termofilních teplot schopny redukovat sulfáty.

Bakterie, podílející se na kompostovacím procesu, jsou především: rod *Pseudomonas*, *Methylosinus trichosporium*, *Erythrobacter longus*, *Nitrosospira briensis*, *Escherichia coli*, *Azotobacter chroococcum*, rod *Streptomyces* a rod *Nocardia* (Diaz et al., 2007).

3.6.1.1 Aktinobakterie

Aktinobakterie, kmen grampozitivních bakterií, preferují neutrální až mírně alkalické pH. Díky své enzymatické výbavě jsou schopny čerpat energii a živiny i ze složitých sloučenin, jako jsou chitin a celulóza. Aktinobakterie můžeme, díky tvorbě kolonií, spatřit pouhým okem. Vyskytují se jak v mezofilní, tak i v termofilní fázi kompostování, nicméně nejvhodnější podmínky pro množení aktinomycet nastávají v průběhu druhé mezofilní fáze a ve fázi dozrávání, kdy v kompostovaném materiálu panují podmínky dobrého zásobení kyslíkem a vysoká vlhkost (Diaz et al., 2007).

Mezi aktinobakteriemi, nalezenými v kompostovaném materiálu, byly *Saccharomonospora viridis*, *Streptomyces thermovulgaris*, *Pseudonocardia thermophila*, *Thermomonospora curvata* (Diaz et al., 2007).

3.6.1.2 Deinococcus-Thermus

Jedná se o malý kmen bakterií, do něhož spadají extrémofilní kokovité druhy. Optimální podmínky pro výskyt a rozmnožování tohoto kmene nastávají v oblasti teplot od 40-80 °C, s optimem mezi 65-75 °C. Beffa (1996) uvádí, že počet těchto mikroorganismů v jednom gramu sušiny kompostu může být 10^7 - 10^{10} .

Tento kmen bakterií, známý např. z oblastí geotermálních pramenů, hraje velice důležitou roli v průběhu termofilní fáze kompostovacího procesu.

Z kmene *Deinococcus-Thermus* můžeme v kompostovaném materiálu nalézt rod *Thermus*, nebo *Hydrogenobacter* (Diaz et al., 2007).

3.6.2 Archea

Tuto doménu mikroorganismů můžeme nejčastěji najít v blízkosti extrémních prostředí, jako jsou např. horká vřídla. Jedná se o velice starou a širokou skupinu mikroorganismů, jejíž některé rody v dnešní době průmyslově využíváme např. v technologii bioplynových stanic. Izolace rodů archea z kompostovaného materiálu není velice časté. Od objevení procesu metanogeneze v kompostovacích zakládkách (Cabanas-Vargas et. al, 2005), však zástupci této domény mohou být v kompostovaném materiálu nalezeni, pokud se na ně cíleně zaměříme (Diaz et al., 2007).

3.6.3 Houby

Houby mají v procesu kompostování velice důležitou roli. Jejich výskyt byl zaznamenán ve všech fázích kompostovacího procesu, od první mezofilní, po konečnou fázi dozrávání. Od samotného počátku kompostovacího procesu se houby snaží konkurovat bakteriím v získávání živin a energie ze snadno dostupných substrátů. Vzhledem k delší reprodukční době a vyšším nárokům na kyslík, než mají bakterie, však jejich hlavní úloha nastupuje až v průběhu druhé mezofilní fázi a především pak ve fázi dozrávání (Diaz et al., 2007). Podmínky v těchto posledních fázích jsou pro houby velice příhodné, neboť snadno rozložitelné substráty již byly absorbovány a k dispozici zůstaly pouze složité makromolekulární sloučeniny, především celulóza a lignin. Díky vhodnému enzymatickému vybavení jsou energie a živiny z těchto sloučenin pro houby snadněji přístupné, což jim v porovnání s bakteriemi přináší nesmírnou výhodu.

V průběhu kompostovacího procesu můžeme v zakládce nalézt následující zástupce fylogenetických skupin (Diaz et al., 2007):

- a) Zygomycety: *Mortierella turficola*, *Mucor pusillus*, *Rhizomucor pusillus*.
- b) Askomycety: *Chaetomium elatum*, *Chaetomium thermophilum*, *Thielavia thermophila*.

- c) Bazidiomycety: *Armillaria mellea*, *Pleuritis ostreatus*, *Lentinus lepideus*.
- d) Mitosporické houby: *Aspergillus fumigatus*, *Humicola insolens*, *Thermomyces lanuginosus*.

3.7 Zdroj živin a energie v kompostovacím procesu

Kompostovací proces představuje rozklad BRO prostřednictvím široké škály mikroorganismů a hub. V největší míře jsou v dnešní době kompostovány rostliny a jejich rezidua, zelenina a ovoce. Dále se kompostováním mohou zpracovávat tekuté odpady, jako jsou např. rostlinné oleje a tuky. V menší míře, především v podmínkách domácího kompostování, se mohou v kompostérech objevit živočišné produkty. Obecně řečeno, nejrozšířenějšími kompostovanými odpady jsou odpady rostlinného původu, produkty živočišného původu mají minoritní zastoupení. Z pohledu obsahu dostupné energie a živin jsou odpady živočišného odpadu, v porovnání s rostlinným materiálem, nepoměrně přínosnější.

Vzhledem k tomu, že odpady rostlinného původu zaujímají největší podíl kompostovaných odpadů, uvedu v této kapitole hlavní složky rostlin, které mikroorganismy využívají jakožto zdroj energie a živin.

3.7.1 Celulóza

Jedná se o hlavní stavební prvek rostlinných pletiv. Celulóza je polysacharid, jehož monomerem je β -D-glukopyranóza. Monomery jsou navzájem spojeny β -1,4-glykosydickými vazbami. Stupeň polymerizace je až 40 000 jednotek. Vyskytuje se prakticky v jakémkoliv odpadu, obsahující rostlinný materiál a dřevo (především odpady ze zemědělství, z lesnictví a z údržby městské zeleně).

Rozklad celulózy zajišťují především houby, nicméně i mnohé bakterie a myxomycety dokáží celulózu štěpit za účelem získání energie a živin. V procesu rozkladu celulózy hrají důležitou roli i zástupci mikrofauny, kteří mechanicky naruší strukturu polymerních řetězců. Nejdůležitějšími dekompozitory celulózy jsou houby, obzvláště v případech, kdy se celulóza vyskytuje v kombinaci s ligninem (např. dřevo nebo sláma). Rozkladu celulózy se účastní tři enzymy:

- a) Endo- β -1-4-glukanáza: štěpí β -1,4 vazby uvnitř polymeru, následkem čehož vznikají dlouhé řetězce s volnými konci.
- b) Exo- β -1-4-glukanáza: z volných konců odděluje disacharidy.
- c) β -glukosidáza: exocelulární enzym hydrolyzující disacharidy na sacharid glukózu (Diaz et al., 2007).

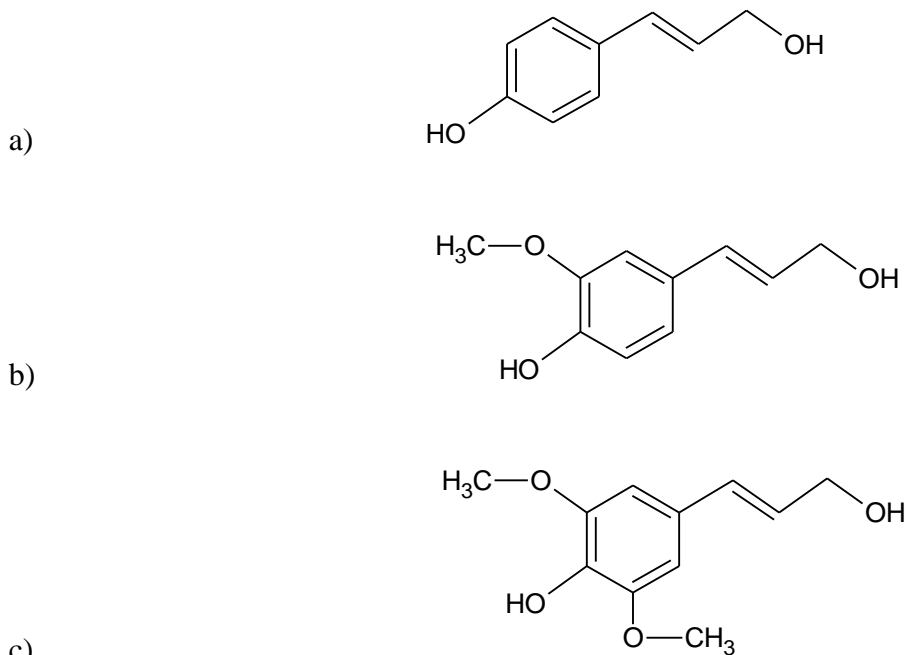
Hlavními dekompozitory celulózy jsou *Chaetomium*, *Fusarium* popř. *Aspergillus*. Vedle hub se na štěpení celulózy podílejí myxomycety (*Cytophaga*, *Polyangium*, *Sorangium*). Z bakterií to jsou především rody *Pseudomonas* (aerobní podmínky) a *Clostridia* (anaerobní podmínky).

3.7.2 Lignin

Oproti celulóze není lignin tvořen dlouhými řetězci určitého monomeru, ale skládá se z kombinace tří alkoholů, nazývaných prekurzory ligninu (p-kumaryl alkohol, koniferyl alkohol a sinapyl alkohol) (Obr. 1). Tyto alkoholy jsou navzájem spojeny pevnými etherovými vazbami a C-C vazbami. Díky těmto silným vazbám, a taktéž díky vazbám mezi ligninem a celulózu, je lignin velice obtížně rozložitelný a jeho rozklad trvá dlouhou dobu. Energetický zisk z digesce ligninu je velice nízký (Diaz et al., 2007, Zueng-Sang, 2005).

Rozklad ligninu zajišťují především houby. Ve volné přírodě je můžeme spatřit především jako parazity na rostoucích i spadlých dřevinách (*Trametes versicolor*, *Stereum hirsutum*). Některé houby, např. *Pleurotus ostreatus*, dokáží rozkládat zároveň lignin i celulózu (Diaz et al., 2007).

Digesti ligninu umožňují enzymy, které dělíme do funkčních skupin: lignin peroxidázy a mangan peroxidázy. Obě skupiny enzymů se vytváří pouze v případě absence snadněji dostupných živin (Zueng-Sang, 2005).



Obr. 1: Prekurzory ligninu: a) p-kumaryl alkohol, b) koniferyl alkohol, c) sinapyl alkohol.

3.7.3 Hemicelulózy

3.7.3.1 Xylan

Nejvýznamnější mezi všemi hemicelulózami je xylan, který můžeme nalézt ve stéblech slámy, ve výliscích cukrové řepy (až 30 %) a ve dřevě (2-25 %). Skládá se z pentóz (xylóza, arabinóza), nebo z hexóz (glukóza, manóza, galaktóza). Stupeň polymerizace je 30-100. Štěpení xylanu probíhá pomocí enzymu xylanáza, kterým disponují mnohé bakterie i houby (Diaz et al., 2007, Vodrážka, 2007).

3.7.3.2 Pektin

Tento polysacharid kyseliny galakturonové se podílí na stavbě rostlinných pletiv. Vytváří komplexy s celulózą (pektocelulosa) i s jinými polysacharidy (arabinany, galaktany). Jednotlivé složky těchto komplexů jsou spojeny příčnými vazbami vytvářenými kys. fosforečnou a ionty Ca^{2+} a Mg^{2+} . Štěpí se pomocí pektinázy, enzymem velice rozšířeným mezi bakteriemi i houbami (Vodrážka, 2007).

3.7.3.3 Škrob

Škrob patří mezi fyziologicky nejvýznamnější polysacharidy. V rostlinném materiálu se vyskytuje ve formě granulí, uložených v cytoplazmě buněk semen, kořenů, hlíz a listů. Škrob je heterogenní směs dvou polysacharidů: amylosy (20 – 30 %) a amylopektinu (70 – 80 %). Zatímco amylosa je ve vodě rozpustná a její základ tvoří maltosové jednotky, spojené vazbou 1-4 v dlouhé lineární řetězce, amylopektin je ve vodě téměř nerozpustný a má větvenou strukturu, díky vytváření vazeb 1-6 v průměru asi po dvaceti až třiceti glukosových jednotkách (Vodrážka, 2007).

Významné jsou dva typy enzymatického štěpení:

- a) Fosforolýza: koná se pomocí fosforylázy. Probíhá na volných, neredukujících koncích amylosy a zapříčiňuje uvolnění molekuly glukoso-1-fosfátu. Jakmile v řetězci narazí na amylopektinovou vazbu 1-6, štěpení se zastaví, dokud tuto vazbu nerozštěpí amylo-1,6-glukosidáza.
- b) Hydrolýza: probíhá pomocí α -amylázy, která štěpí vazby α -1,4 uvnitř molekuly (Diaz et al., 2007).

3.7.3.4 Chitin

Lineární polysacharid chitin je stavebním materiálem v řiši bezobratlých. Dodává pevnost krunýřům korýšů a želv a krovkám hmyzu. Vedle těchto funkcí je taktéž součástí buněčných stěn některých mikroorganismů, např. plísní *Aspergillus niger*. Má podobnou strukturu jako celulóza, od které se liší pouze tím, že jeho β -D-glukosové stavební jednotky mají místo hydroxylové skupiny na uhlíku C₂ acetylovanou aminoskupinu -NHCOCH₃ (Vodrážka, 2007).

Mnoho hub (např. *Aspergillus*) a bakterií (např. *Flavobacterium*, *Cytophaga*, *Pseudomonas*) může chitin využívat jakožto zdroj dusíku a uhlíku. Rozklad chitinu probíhá pomocí exoenzymů na N-acetylglukosamin, který je absorbován a transformován na formu fruktózy a takto vstupuje do metabolismu sacharidů (Diaz et al., 2007).

4 MATERIÁL A METODIKA

4.1 Metodika

Vliv přípravku na průběh kompostovacího procesu a ovlivnění kvality kompostu byl sledován ve čtyřech kompostérech, každý o objemu 290 dm³. Kompostéry byly umístěny v areálu Mendelovy univerzity v Brně. Celý experiment byl rozdělen do dvou etap.

V první etapě, která trvala od 01.07.2010 do 12.10.2010, byl sledován účinek kompostovacího aditiva ProBio ORIGINALTM v závislosti na jeho koncentraci. Použité koncentrace vycházely z doporučení výrobce a měly hodnoty 1 dm³.m⁻³ (dále jen ProBio 1), 10 dm³.m³ (dále jen ProBio 2) a 20 dm³.m⁻³ (dále jen ProBio 3), což odpovídá množství přípravku 0,29.10⁻³ dm³, 2,9 dm³ a 5,8 dm³. Jako kontrolní varianta sloužila zakládka ve čtvrtém pokusném kompostéru, do které nebylo přidáno žádné kompostovací aditivum (dále jen Ref.) V průběhu této etapy byl sledován vliv aditiva na průběh teploty v jednotlivých zakládkách, na poměr C:N, na úbytek materiálu a na obsah makronutrientů. Kompostovaným materiálem byla čerstvě posečená tráva. Na dno každého kompostéru bylo před přidáním trávy přidáno 20 dm³ kompostu. Kompostovací aditivum bylo rozmícháno ve 20 dm³ vlažné vody, ponecháno 30 minut odstát a poté pomocí rozprašovače rovnoměrně promícháno s kompostovaným materiálem. Před započítáním a po ukončení experimentu byla provedena chemická analýza kompostovaného materiálu. Analýzu provedla akreditovaná laboratoř LABTECH s.r.o. Měření teploty, vlhkosti i úbytku materiálu probíhalo v pravidelných intervalech.

V druhé etapě, která trvala od 14.06.2011 do 01.09.2011 byl ověřován účinek přípravku ProBio ORIGINALTM ve stejných koncentracích jako v předchozí etapě. Sledován byl účinek kompostovacího aditiva na teplotu v zakládce, na úbytek materiálu, na obsah makronutrientů, na pH a elektrickou vodivost materiálu. Kompostovaným materiálem byla čerstvě posečená tráva, smíchána s hoblinami v poměru 3:1. K tomuto kroku bylo přistoupeno z důvodu nevhodného poměru C:N vstupního kompostovaného materiálu v předchozí etapě. Poměr C:N vstupního materiálu byl totiž 15,3:1. V druhé etapě však bylo přistoupeno k modifikaci experimentu a změně poměru C:N vstupního materiálu. Čerstvá travní hmota byla promíchána s hoblinami, jejichž poměr C:N

byl 220:1. Výsledný poměr C:N kompostovaného materiálu tak byl na základě informací z první etapy upraven na hodnotu 31:1. Vedle přípravku ProBio ORIGINAL™ byl experiment rozšířen o tři kompostovací aditiva, která jsou volně dostupná na trhu České Republiky. Tato kompostovací aditiva byla do experimentu přidána z důvodu možnosti porovnání účinku přípravku ProBio ORIGINAL™ s jinými, komerčně dostupnými aditivami. Použity byly přípravky Bio P4, Floran biokompostér a Radivit. V průběhu experimentu byly použity následující dávky kompostovacích aditiv: 10 g přípravku BioP4, 37 g přípravku Floran a 145 g přípravku Radivit (dávkování vychází z návodů pro použití přípravků). Kompostovací aditiva Bio P4, Floran a ProBio ORIGINAL™ byla zpuštěna a promíchána ve 20 l vlažné vody, ponechána 30 minut odstát a poté byla pomocí rozprašovače aplikována na kompostovaný materiál. Přípravek Radivit byl promíchán s 1/3 z celkového množství kompostovaného materiálu, tato směs byla následně přidána ke zbytku kompostovaného materiálu a následně byla celá zakládka zalita 20 l vlažné vody.

Pro kontrolu optimálních podmínek v jednotlivých zakládkách byla pravidelně sledována vlhkost kompostovaného materiálu a koncentrace kyslíku v zakládkách.

V průběhu obou etap byly kompostovací zakládky pravidelně promíchávány z důvodu provzdušnění a optické kontroly.

Míra úbytku materiálu byla měřena svinovacím metrem a představovala rozdíl od hladiny zakládky k vrcholu kompostéru. Hodnoty byly následně převedeny na procentický úbytek materiálu při započetí a ukončení pokusu.

K měření teploty uvnitř zakládky byl v obou etapách experimentu používán zapichovací digitální multiteploměr firmy Testo. Teplota byla měřena přibližně ve střední části spodní třetiny zakládky v kompostéru, kde jsou umístěny aerační průduchy (Obr. 2).



Obr. 2: Zobrazení místa měření teploty v zakládce.

Vlhkost materiálu byla stanovována metodou sušení vzorku do konstantní hmotnosti při teplotě 105 °C. K sušení vzorků se používala sušárna Ecocell 22, umístěná v laboratořích Ústavu aplikované a krajinné ekologie Mendelovy univerzity v Brně.

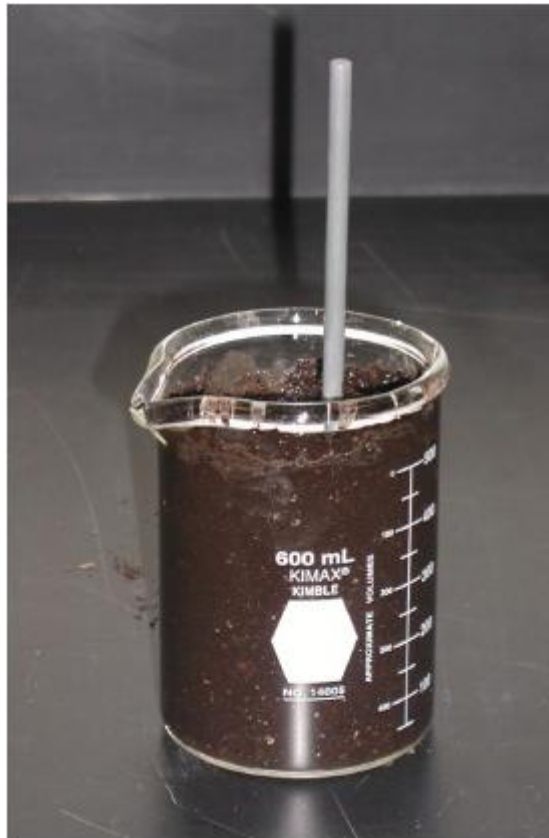
Koncentrace kyslíku v zakládce byla stanovována oxymetrem Greisinger GOX 100. K tomuto účelu byla doktorem Stejskalem sestrojena jednoduchá soustava, sestávající se z přibližně z 1 m dlouhé hadice, připevněné k ocelové výztuži, a z velké plastové injekční stříkačky. Mezi hadičku a injekční stříkačku byla namontována plastová trubice tvaru T, do které bylo instalováno samotné čidlo oxymetru (Obr. 3).



Obr. 3: Soustava pro měření koncentrace O_2 v pokusných kompostovacích zakládkách (Autor: Stejskal).

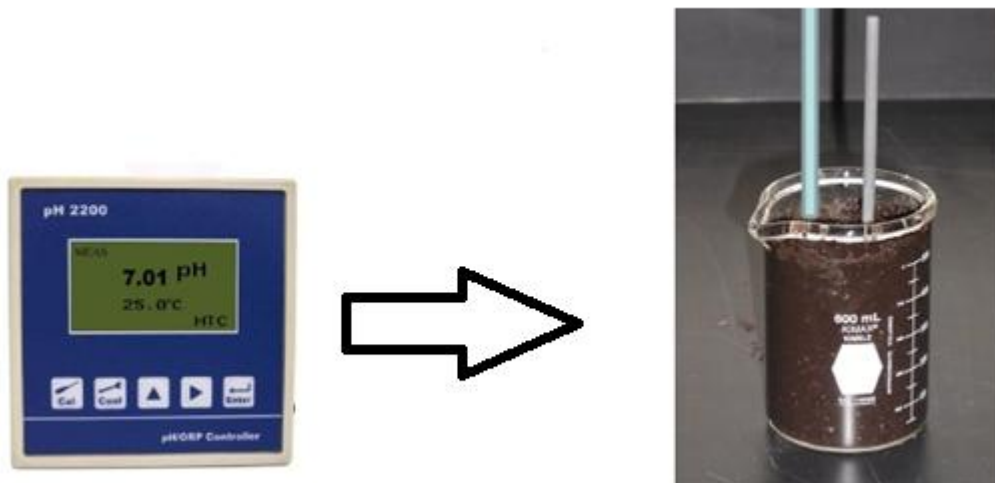
Stanovení hodnoty pH a EC bylo prováděno multimetrem HACH sensION MM 150. K měření pH byl taktéž používán přístroj Voltcraft pH 100 ATC. Měření probíhalo v laboratořích Ústavu aplikované a krajinné ekologie. Oba přístroje byly v pravidelných termínech dle doporučení výrobce kalibrovány standardizovanými roztoky.

Hodnota pH byla stanovena metodou saturovaného media. Při této metodě je vzorek analyzovaného kompostu postupně ředěn destilovanou vodou a promícháván po dobu patnácti minut. Okamžik saturace nastává tehdy, když je vzorek plně nasycen destilovanou vodou a zároveň již ve vzorku není žádná volná kapalina (Want saturation without free water, Mulowney, 2011) (Obr. 4).



Obr. 4: Vzorek kompostu – okamžik saturace (Zdroj: Muldowney, 2011).

V okamžiku dosažení saturace je hodnota pH měřena vodíkovou elektrodou přímo v analyzovaném vzorku (Obr. 5).



Obr. 5: Měření pH (Zdroj: Muldowney, 2011, upravil Hlisenikovský).

EC byla stanovována metodou ředění 1:5. Princip metody spočívá v přidání pětinašobku destilované vody na každý gram sušiny vzorku. Postup stanovení EC začal stanovením sušiny vzorku při teplotě 105 °C v sušárně ECOCELL 22. Po stanovení sušiny bylo ke vzorku analyzovaného kompostovaného materiálu přidáno přesné množství destilované vody. Vzorek byl dobře promíchán a vzniklá disperze byla přemístěna do plastové Büchnerovy nálevky. Büchnerova nálevka byla vsazena do odsávací láhve se skleněnou olivkou. Prostor mezi odsávací láhví a Büchnerovou nálevkou byl utěsněn gumovou zátkou. Odsávací láhev byla napojena na plastovou vodní vývěvu, která byla napojena na vodovodní baterii. Díky podtlaku vznikl filtrát, ze kterého se pomocí multifunkční elektrody stanovila hodnota EC.

Metoda pro stanovení pH a EC vycházela z návodu Zemědělské experimentální stanice v New Jersey (Muldowney, 2011).

Pro vážení vzorků byla používána digitální váha Precisa 4 000 C, umístěna v laboratoři Ústavu aplikované a krajinné ekologie Mendelovy univerzity v Brně.

4.1.1. Statistická analýza

Data získána v průběhu experimentu byla zpracována v programu STATISTICA 10.0 (StatSoft, 2010) a MS Excell. K vyhodnocení účinku kompostovacích aditiv na kvantitativní a kvalitativní parametry kompostovaného materiálu byla použita metoda jednofaktorové analýzy variant (ANOVA). V případě potvrzení statisticky významného účinku kompostovacího aditiva na průběh kompostovacího procesu byla použita post hoc analýza pomocí Tukeyho testu.

4.2 Materiál

4.2.1 EM-FarmingTM

Zkratka EM[®], někdy také „EM Technology“, je akronymem pro „Effective MicroorganismTM“ (efektivní mikroorganismy), a odkazuje na širokou skupinu komerčních mikrobiálních přípravků, které jsou založeny na směsi bakterií mléčného kvašení (*Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus casei*, *Streptococcus lactis*) fotosyntetizujících bakterií (*Rhodospseudomonas palustris*, *Rhodobacter sphaeroides*),

kvasinek (*Saccharomyces cerevisiae*, *Candida utilis*) a jiných mikroorganismů (*Mucor hiemalis*, *Aspergillus oryzae*).

S myšlenkou smíchat a využívat několik různých mikroorganismů přišel na přelomu 70. a 80. let 20. stol. prof. Teruo Higa, který působil na univerzitě Ryuky v Japonsku. Hlavní ideou jeho práce bylo omezení závislosti zemědělských producentů na chemickém průmyslu a snížení množství chemických látek dodávaných zemědělstvím do životního prostředí.

Od té doby se používání EM[®] rozšířilo z oblasti zemědělství i do jiných odvětví. EM[®] našlo využití i v zahradnictví, v oblasti výživy hospodářských zvířat a lidí a v odpadovém hospodářství, především v čistírnách odpadních vod, kompostárnách a bioplynových stanicích.

Pozitivní dopady používání EM[®] dokazují výsledky některých provedených vědeckých studií. Lee a Cho (1992) použili kompost, ošetřený přípravkem „EM-fermented compost“, jako hnojivo na zemědělském pozemku a sledovali jeho účinek na výnosy rýže, pepře a zeleniny. Výsledkem tohoto experimentu byl 16% nárůst výnosu rýže na pozemku ošetřeném tímto kompostem (300 kg kompostu na pozemku o rozloze 1 000 m²). Zajímavého výsledku bylo dosaženo v experimentu s pěstováním pepře. Zatímco 50 % slepého vzorku bylo napadeno houbami rodu *Fusarium*, v případě pozemku, ošetřeného kompostem s přídatkem EM[®], bylo napadeno pouze 2 % rostlin.

Moreira (2010) použil přípravek EM[®] jako aditivum ke kompostování odpadů ze dřevařského a papírenského průmyslu. Testovány byly tři rozdílné koncentrace přípravku, jeden vzorek sloužil jako slepý. Moreira ve výsledcích své práce popisuje zkrácení kompostovacího procesu. Míra zkrácení procesu má přímou závislost na koncentraci aditiva. Kompost taktéž vykazoval lepší fyzikálně-chemické parametry v porovnání se slepým vzorkem.

V první i ve druhé etapě ověřování účinku kompostovacích aditiv byl použit přípravek ProBio ORIGINAL[™], hustá, hnědožlutá kapalina s vůní po zralém ovoci. Výrobek je produkován polskou společností ProBiotics Polska.

Z technického hlediska nevyžaduje aplikace přípravku v podmínkách domácího kompostování žádné speciální technické prostředky a použití je velice jednoduché. V případě použití v podmínkách komunitních a průmyslových kompostáren je vhodné přípravek aplikovat pomocí motorového rozstřikovače. Doporučené množství pro aplikaci na jeden m³ kompostovaného materiálu je 1 až 10 l přípravku, v extrémních

případech až 20 l. Přípravek je možné aplikovat koncentrovaný a posléze doplnit dostatečným množstvím vody za účelem dodání potřebné vlhkosti a rozprostření přípravku v celém objemu kompostovaného materiálu. Druhou možností je přípravek naředit před samotnou aplikací a takto zhotovenou zálivku aplikovat do kompostovaného materiálu, čímž se docílí rovnoměrného promísení kompostovacího aditiva se zakládkou.

Cena přípravku je 15 PLN (přibližně 87 Kč) za 1 dm³. Na 1 m³ kompostovaného materiálu se doporučuje použít 1-20 dm³ přípravku (87-243 Kč na 1 m³). Přípravek je dostupný v baleních od 1 do 20 dm³.

4.2.2 Bio P4

Bio P4 je přípravek určený pro urychlení kompostovacího procesu. Výrobce je společnost BIOPROSPECT s.r.o. Jedná se o prášek hnědožluté barvy. Přípravek se skládá z α -amylázy, enzymů, spadajících do skupiny proteáz a spór bakterií druhu *Bacillus subtilis*.

Cena tohoto přípravku se pohybuje od 67 Kč do 77 Kč za 100 g a toto balení je možné aplikovat až na 3 m³ kompostovaného materiálu (22 Kč až 26 Kč na 1 m³).

4.2.3 Floran biokompostér

Floran biokompostér je přípravek pro urychlení kompostovacího procesu. Výrobce je Druchema, družstvo pro chemickou výrobu a služby. Přípravek je sypká směs nazelenalé barvy, bez zápachu, s hodnotou pH 5,5 - 7. Jak uvádí výrobce, přípravek obsahuje směs enzymů a bakteriálních kultur blíže nespecifikovaných.

Před použitím přípravku Floran je nutné bakterie a enzymy v něm obsažené aktivovat rozmícháním ve vlažné, 30 – 40 °C, nikoliv v horké vodě. 1 – 1,5 polévkové lžíce, což je přibližně 20 – 30 g přípravku, se rozmíchá v 2,5 – 3 l vody a poté se ponechá se 30 min. odležet. Po této době je kompostovací aditivum připraveno k použití. Jedna takto připravená dávka vystačí přibližně na 0,2 m³.

Cena přípravku Floran biokompostér (1 000 g) se pohybuje v rozmezí od 78 Kč do 127 Kč. Balení je možné aplikovat až na 4 m³ organické hmoty (19,5 Kč až 32 Kč na 1 m³).

4.2.4 Radivit

Radivit je přípravek pro urychlení kompostovacího procesu, vyráběný společností W.Neudorff GmbH KG. Jedná se o prášek hnědé barvy zemitého zápachu. Skládá se ze směsi organických materiálů, jílu a humifikačních organismů. Přípravek neobsahuje nebezpečné látky a je volně dostupný na trhu ČR.

Aplikační dávka přípravku Radivit se odvíjí od druhu kompostovaného materiálu. Pro čerstvě posečenou trávu a spadané listí se doporučuje aplikovat 50 g aditiva na 100 dm³ kompostovaného materiálu. Přípravek se promíchá s přibližně 1/3 zakládky a provlhčí. Po 2 až 3 týdnech se kompostovací zakládka opět provlhčí a důkladně promíchá, neboť z důvodu vysokých teplot mohou v zakládce vzniknout přeschlá ložiska. Jak uvádí výrobce, po 6 – 8 týdnech by měl vzniknout vyzrálý hodnotný kompost. V případě kompostování samotného spadaného listí je vhodné listy navrstvit a prosypat přípravkem (30 g m⁻²). Aby se zamezilo odvátí, přikryje se spadané listí již hotovým kompostem, nebo pískem. Pro kuchyňské a zahradní odpady kompostované v kompostérech se doporučuje aplikovat 15 – 20 g aditiva pro jednotlivé vrstvy odpadu.

Přípravek se prodává v ceně 102 – 342 Kč za 1 000 g. Toto množství je možné aplikovat až na dva m³ kompostovaného materiálu (51 – 171 Kč na 1m³).

5 VÝSLEDKY A DISKUZE

5.1 Vliv kompostovacích aditiv na teplotu v experimentálních zakládkách

Producenti kompostovacích aditiv u svých výrobků prohlašují, že jejich aplikace zvýší mikrobiální aktivitu, zkrátí dobu kompostovacího procesu a samotný proces a výsledný produkt, kompost, zkvalitní (Himanen, 2013). Vývoj teploty v průběhu kompostovacího procesu slouží jako indikátor mikrobiální aktivity (Iqbal et al., 2010). Přidání kompostovacích aditiv, které jsou založeny na mikrobiální bázi, by se tak mělo odrazit i v odlišném průběhu teploty v zakládce oproti zakládce bez kompostovacího aditiva, neboť nárůst teploty v průběhu kompostovacího procesu úzce souvisí s aktivitou mikroorganismů zúčastněných kompostovacího procesu BRO. Na základě tohoto faktu jsem pro svůj experiment stanovil hypotézu A, která nepředpokládá rozdíl průběhu teplot mezi zakládkou kompostéru referenčního a zakládkami obohacenými třemi různými koncentracemi aditiva ProBio ORIGINAL™ ($H_0: t_{ref} = t_{a1}, t_{a2}, t_{a3}$). Jako alternativní hypotéza je stanovena situace, při které se průběh teplot mezi zakládkou referenční a zakládkami s přidáním aditivem liší ($H_A: t_{ref} \neq t_{a1}, t_{a2}, t_{a3}$). Dílčím cílem této práce je rovněž zjistit účinek tří různých koncentrací kompostovacího aditiva na průběh kompostovacího procesu. Nulová hypotéza předpokládá, že průběh teploty ve třech zakládkách s přidáním kompostovacím aditivem v různé koncentraci bude shodný ($H_0: t_{c1} = t_{c2} = t_{c3}$). Jako alternativní hypotéza pak je stanovena situace, kdy s rostoucí koncentrací budou teploty v zakládkách vyšší ($H_A: t_{c1} < t_{c2} < t_{c3}$).

Dynamika teploty v jednotlivých zakládkách odpovídala typickému průběhu teplot procesu kompostování BRO. Průběh teploty v jednotlivých kompostovacích zakládkách v průběhu celého pokusu zobrazuje Graf 4. Průměrné teploty v průběhu celého experimentu a v průběhu termofilní fáze zobrazuje Tab. 1 a Graf 5.

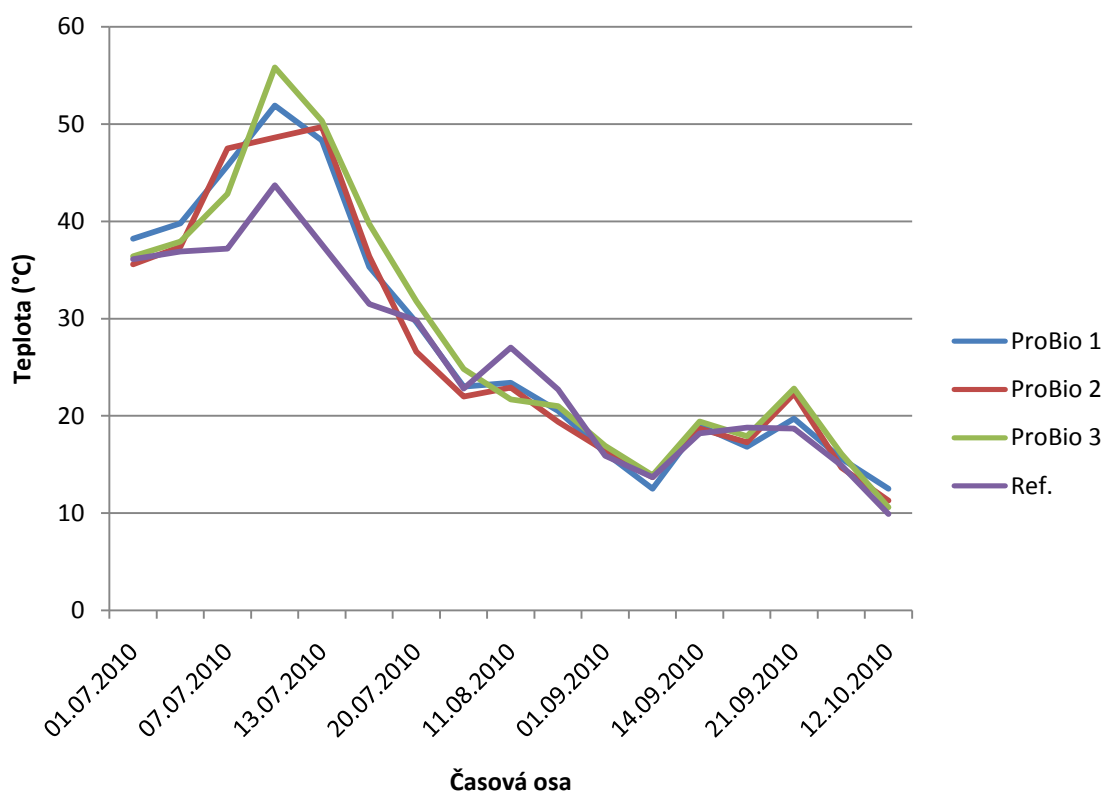
Tab. 1: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v první etapě pokusu (Autor: Hlisnikovský).

	ProBio 1	ProBio 2	ProBio 3	Ref.
t_c	$27,53 \pm 3,18^A$	$27,09 \pm 3,12^A$	$28,22 \pm 3,25^A$	$25,61 \pm 2,47^A$
t_t	$43,2 \pm 2,63^A$	$42,53 \pm 2,74^A$	$43,82 \pm 3,13^A$	$37,17 \pm 1,59^A$

t_c : průměrná teplota v zakládkách za dobu celého experimentu

t_t : průměrná teplota v zakládkách v průběhu termofilní fáze

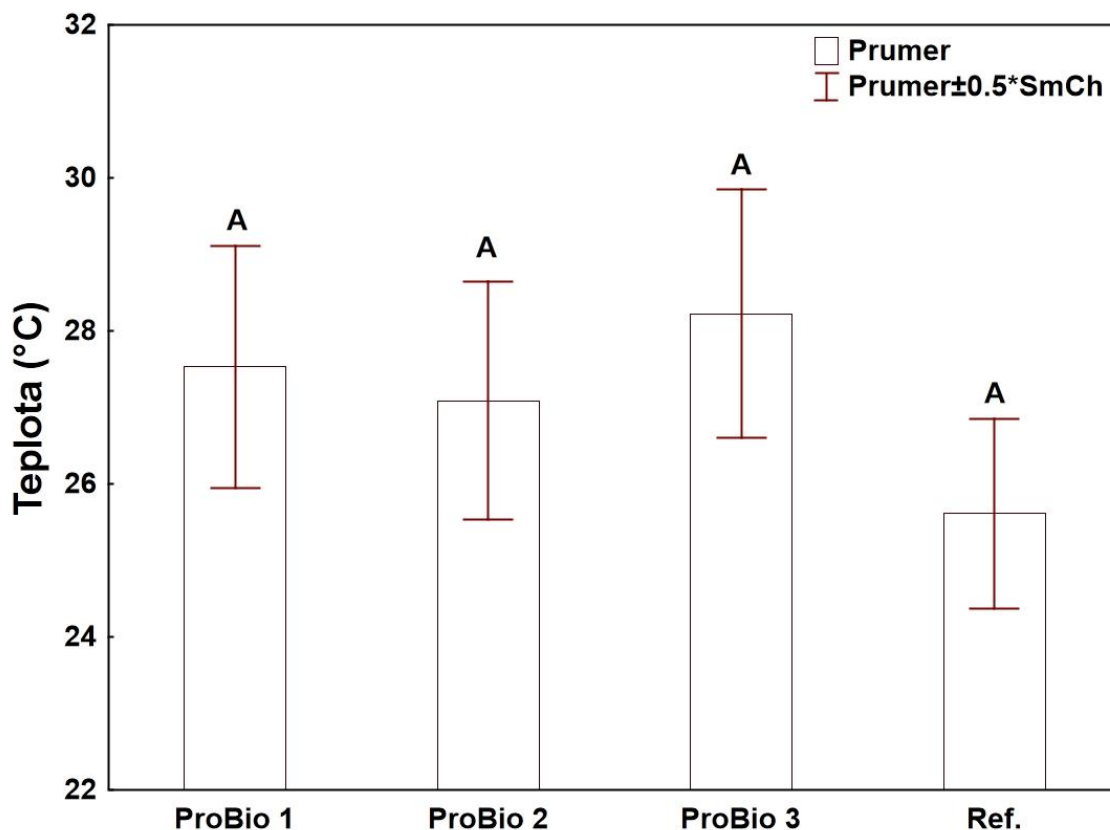
Průměrné hodnoty s chybou střední hodnoty se stejným písmenem (A-horizontálně) nejsou statisticky významně rozdílné.



Graf 4: Průběh teplot v pokusných zakládkách od 01.07.2010 do 12.10.2010 (Autor: Hlisnikovský).

Průběh teplot v jednotlivých zakládkách byl pro kompostovací proces charakteristický. Od druhého dne od započetí pokusu byl zaznamenán postupný nárůst teploty v zakládkách a nástup termofilní fáze. Nejvyšší teploty v průběhu termofilní fáze byly zaznamenány v zakládce ProBio 3 (55,8 °C). Druhé nejvyšší teplotní

maximum v zakládce ProBio 1 (51,9 °C) a třetí v zakládce ProBio 2 (49,7 °C). Nejnižší teplota termofilní fáze byla zaznamenána v zakládce Ref. (43,7 °C).



Graf 5: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v první etapě pokusu. Průměrné hodnoty s chybou střední hodnoty označené shodným písmenem nejsou statisticky významně rozdílné (Autor: Hlisnikovský).

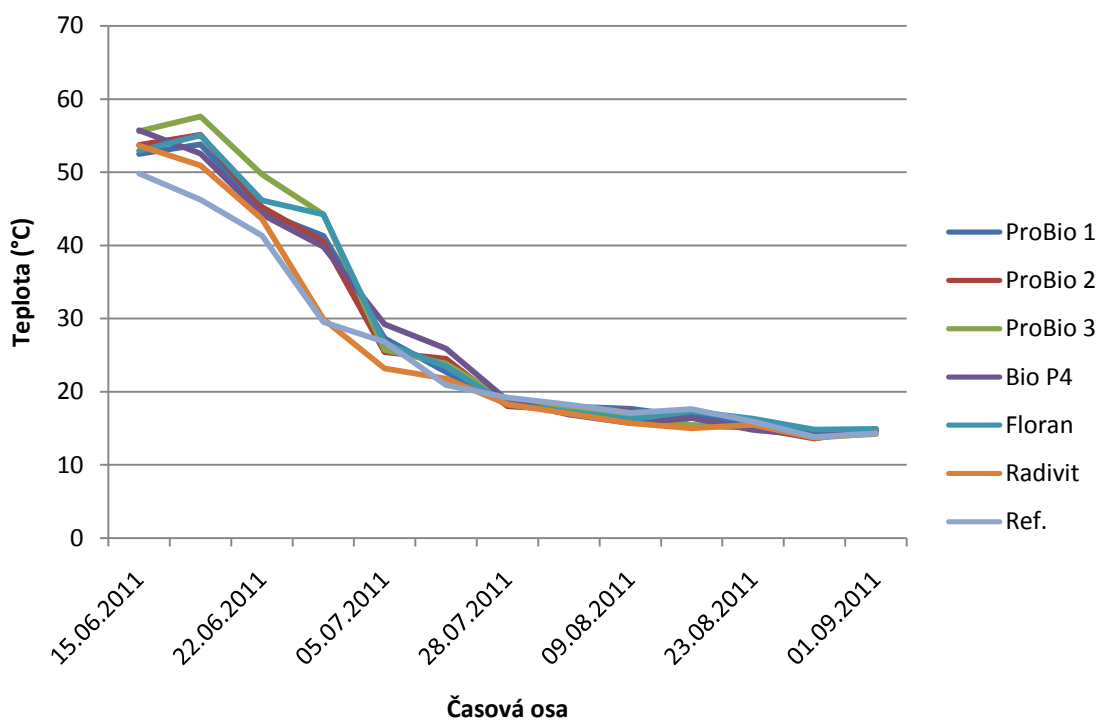
Z naměřených údajů vyplývá, že v zakládkách kompostérů obohacených aditivem ProBio ORIGINAL™ byly teplotní maxima vyšší o 14 % až 28 % v porovnání s Ref. zakládkou. Vyšší teploty se v zakládkách s přípravkem ProBio ORIGINAL™ vyskytovaly i delší dobu. Zatímco v referenční zakládce byla termofilní fáze zaznamenána v průběhu druhého týdne od započetí experimentu a trvala přibližně pět dní, v zakládkách kompostéru obohacených aditivem začala teplota prudce stoupat již třetí a čtvrtý den od započetí pokusu a trvala přibližně 14 dní. Ke srovnání teplot ve všech zakládkách došlo přibližně 20 dní po započetí experimentu, kdy se teploty uvnitř zakládek pohybovaly přibližně na hodnotě 30 °C a následně se průběh teplot ve všech zakládkách vyvíjel podobně, bez významnějších výkyvů.

Ze získaných údajů lze konstatovat, že přidání kompostovacího aditiva se projevilo dosažením vyšších teplot v jednotlivých zakládkách a k prodloužení termofilní fáze kompostovacího procesu. Statistická analýza však mezi referenční zakládkou a zakládkami obohacenými kompostovacím aditivem nezaznamenala v průběhu celého experimentu statisticky významné rozdíly (d. f. = 3, $F = 0,134$, $p = 0,94$). Ani porovnání průběhu teplot v termofilní fázi kompostovacího procesu (období prvních dvou týdnů experimentu) neprokázalo statisticky významný účinek přidání aditiva v různých koncentracích na průběh teplot v jednotlivých zakládkách (d. f. = 3, $F = 1,396$, $p = 0,273$). Na základě těchto výsledků tak není možné zamítnout nulovou hypotézu, přidání aditiva se statisticky významně neprojevilo na zvýšení teploty v jednotlivých zakládkách v průběhu termofilní fáze i v průběhu celého experimentu.

Vliv zvyšující se koncentrace kompostovacího aditiva na průběh teploty v zakládkách nebyl rovněž prokázán. Nejvyšší průměrná ($28,22 \pm 3,25$ °C) i maximální (55,8 °C) teplota sice byla zaznamenána v zakládce ProBio 3, obohacené nejvyšší koncentrací aditiva, nicméně druhá nejvyšší maximální (51,9 °C) teplota byla zaznamenána v zakládce ProBio 1, s nejnižší koncentrací dodaného aditiva. Na základě výsledků statistické analýzy (d. f. = 2, $F = 0,974$, $p = 0,45$) tak není možné zamítnout nulovou hypotézu, rostoucí koncentrace přípravku neměla statisticky významný účinek na průběh teplot v pokusných zakládkách.

V druhé etapě experimentu byl rovněž sledován účinek kompostovacích aditiv na průběh teploty v zakládkách. Společně s aditivem ProBio ORIGINALTM, aplikovaném ve stejných koncentracích jako v etapě 1, byl ověřován účinek na průběh teploty tří dalších kompostovacích aditiv. Obdobně jako v první etapě byly stanoveny dvě hypotézy, porovnávací vliv aditiva na průběh teploty a vliv různých koncentrací přípravku ProBio na průběh teploty v zakládkách BRO. Nulová hypotéza nepředpokládá statisticky významné rozdíly mezi teplotami v referenční zakládce a zakládkami obohacenými kompostovacími aditivy ($H_0: t_{ref} = t_{a1} = t_{a2} = t_{a3} = t_{a4} = t_{a5} = t_{a6}$). Jako alternativní hypotéza byla stanovena situace, kdy teplota v zakládkách s aditivem bude odlišná ve srovnání se zakládkou referenční ($H_A: t_{ref} \neq t_{a1}, t_{a2}, t_{a3}, t_{a4}, t_{a5}, t_{a6}$). Druhá hypotéza předpokládá vyšší mikrobiální aktivitu v zakládce kompostéru zapříčiněnou vyšší koncentrací přidaného aditiva ProBio ORIGINALTM ($H_0: t_{c1} = t_{c2} = t_{c3}$; $H_A: t_{c1} < t_{c2} < t_{c3}$).

Již druhý den po aplikaci kompostovacích aditiv do zakládek došlo ve všech zakládkách, kromě referenční, k rapidnímu nárůstu teploty, přesahující hodnoty 45 °C (Graf 6). Dynamika nárůstu teplot v zakládkách odpovídala typickému průběhu teplot kompostovacího procesu. Nejvyšší maximální teplota ze všech porovnávaných zakládek byla zaznamenána u přípravku ProBio 3, 57,6 °C, a to třetí den po jeho aplikaci. U ostatních přípravků byla zaznamenána teplotní maxima v sestupném pořadí: 55,7 (Bio P4), 55,1 °C (ProBio 2), 55 °C (Floran), 53,8 °C (ProBio 1), 53,6 °C (Radivit) a 49,8 °C (Ref.). Ve všech zakládkách došlo k dosažení maximálních teplot v rozmezí tří dní po aplikaci kompostovacích aditiv. Období výskytu teplot nad 40 °C se mezi jednotlivými zakládkami pohybovala v rozmezí od osmi (Bio P4, Radivit a Ref.) do čtrnácti dní (ProBio 1, 2, 3 a Floran). Po ukončení termofilní fáze kompostovacího procesu byl průběh teplot ve všech pokusných zakládkách bez významných rozdílů a do ukončení experimentu se pohybovaly na shodné úrovni. Průměrné teploty v průběhu celého experimentu i v průběhu termofilní fáze zobrazuje Tab. 2 a Graf 7.



Graf 6: Průběh teplot v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011 (Autor: Hlisnikovský).

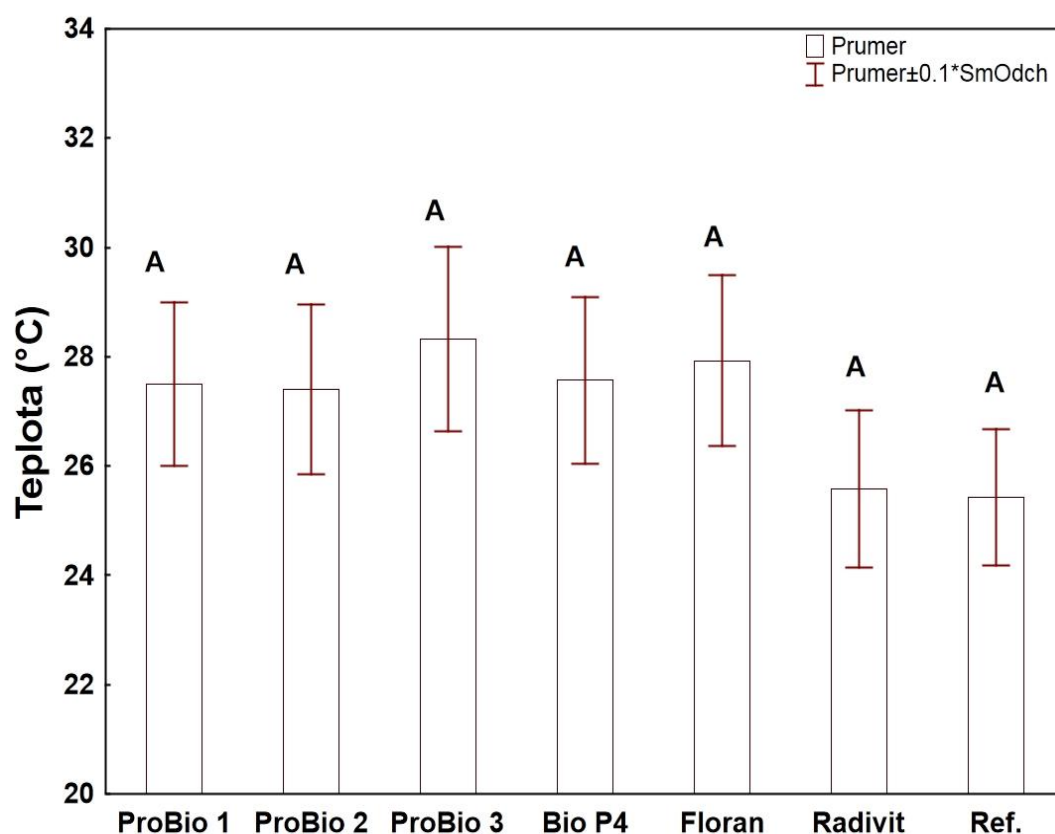
Tab. 2: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v druhé etapě pokusu (Autor: Hlisnikovský).

	ProBio1	ProBio2	ProBio3	Bio P4
t_c	$27,5 \pm 4,15^A$	$27,4 \pm 4,3^A$	$28,33 \pm 4,69^A$	$27,57 \pm 4,25^A$
t_t	$48,5 \pm 3,03^A$	$48,63 \pm 3,48^A$	$51,78 \pm 3,03^A$	$48,05 \pm 3,67^A$
	Floran	Radivit	Ref.	
t_c	$27,93 \pm 4,32^A$	$25,58 \pm 4,00^A$	$25,43 \pm 3,48^A$	
t_t	$49,55 \pm 2,61^A$	$44,5 \pm 5,31^A$	$41,7 \pm 4,42^A$	

t_c : průměrná teplota v zakládkách za dobu celého experimentu

t_t : průměrná teplota v zakládkách v průběhu termofilní fáze

Průměrné hodnoty s chybou střední hodnoty se stejným písmenem (A-horizontálně) nejsou statisticky významně rozdílné.



Graf 7: Průměrné teploty v zakládkách experimentálních kompostérů druhé etapě pokusu za celé období experimentu. Průměrné hodnoty označené shodným písmenem nejsou statisticky významně rozdílné (Autor: Hlisnikovský).

Přestože byly v zakládkách obohacených kompostovacími aditivami zaznamenány vyšší teploty, rozdíly nebyly statisticky významné (d. f. = 6, F = 0,074, p = 0,998). Ani v termofilní fázi nebyly rozdíly mezi zaznamenanými teplotami statisticky průkazné (d. f. = 6, F = 0,794, p = 0,585). Na základě výsledků jednofaktorové analýzy variant není možné zamítnout nulovou hypotézu, přidání kteréhokoliv z kompostovacích aditiv se statisticky významně neprojevovalo na navýšení teploty v kompostovaných zakládkách.

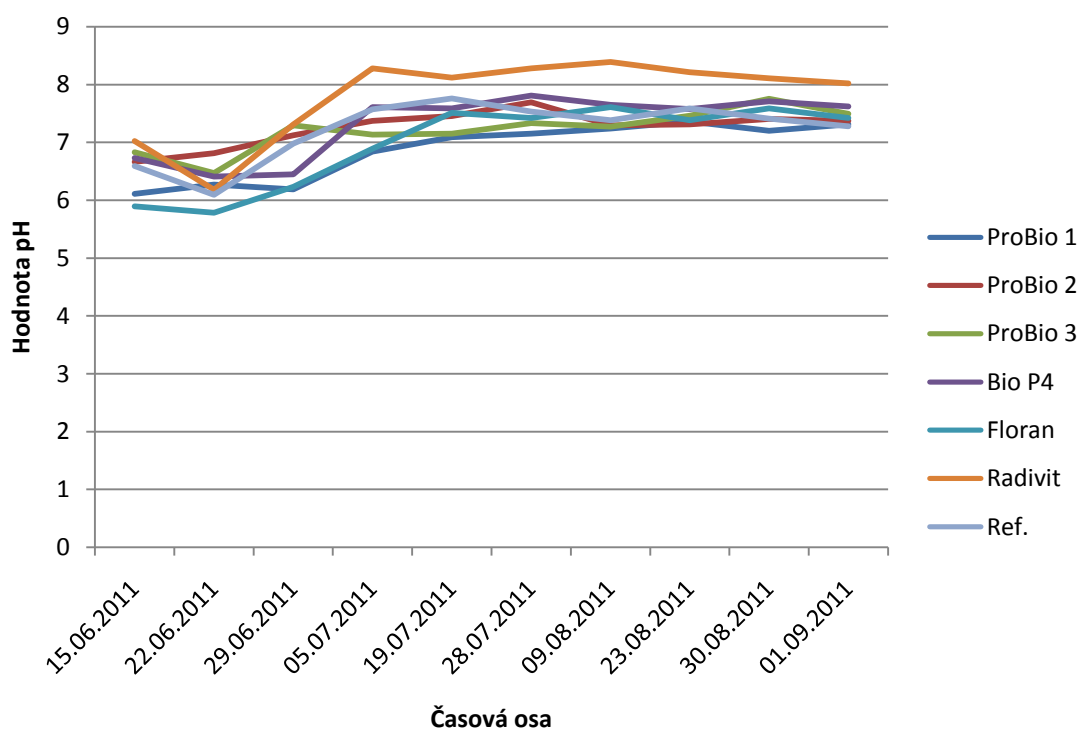
Míra koncentrace přípravku ProBio ORIGINALTM neměla na teplotu po celou dobu pokusu statisticky významný vliv (d. f. = 2, F = 0,014, p = 0,987). Ani v období termofilní fáze se nárůst koncentrace přípravku ProBio ORIGINALTM na teplotách v pokusných zakládkách neprojevovala (d. f. = 2, F = 0,396, p = 0,684). Výsledky experimentu tak neprokázaly vliv rostoucí koncentrace přidaného aditiva ProBio ORIGINALTM na průběh teplot v experimentálních zakládkách.

Vědeckých prací, zabývajících se účinkem kompostovacích aditiv na průběh kompostovacího procesu a výslednou kvalitou kompostu je relativně málo (Himanen, 2013). Jednou z významných v tomto poli je práce od Himanen et al., 2009, která ve svém výzkumu zjišťovala účinek dvou komerčně dostupných kompostovacích aditiv. Všechna testovaná kompostovací aditiva, použita v jejím experimentu, však byla svým složením založena výhradně na minerální bázi. Himanen et al., 2009, ve své práci zaznamenala u jednoho ze dvou kompostovacích aditiv prodloužení termofilní fáze kompostovacího procesu přibližně o týden, u druhého aditiva nebyla v porovnání s referenční zakládkou zaznamenána žádná rozdílnost. Rovněž teploty v zakládkách obohacených minerálními aditivami nebyly statisticky významně rozdílné a aplikace aditiv tak nepřinesly žádný pozitivní efekt na průběh teplot kompostovacího procesu. Výsledky mého experimentu jsou s výsledky od Himanen velice podobné, byť je účinek použitých aditiv postaven na jiném principu. Razvi et al., 1996, ve své práci studoval účinek sedmi komerčně dostupných aktivátorů kompostovacího procesu na posečené trávě a porovnával jejich vliv s orniční půdou a vyzrálým kompostem. Výsledkem experimentu bylo zjištění, že účinek přidaných kompostovacích aditiv nebyl nikterak odlišný od účinku orniční půdy, nebo kompostu. Účinkem pěti ve Finsku dostupných kompostovacích aditiv na teplotu v průběhu kompostovacího procesu se zabývala i Korhonen (2006). Výsledkem jejího experimentu bylo zjištění, že žádné z kompostovacích aditiv nemělo průkazný účinek na vývoj a průběh teploty

v pokusných zakládkách. Iqbal et al., 2010, ve svém experimentu zjišťoval účinek tří kompostovacích aditiv založených na minerální bázi (5% fosfát, 1% FeSO₄, 0,63% vápno). Ve svém experimentu zjistil, že přidání aditiv se projevilo prodloužením termofilní fáze kompostovacího procesu přibližně o týden. Ke konci experimentu však nebyly mezi zaznamenanými teplotami zjištěny žádné statisticky významné rozdíly.

5.2 Vliv kompostovacích aditiv na pH

Na počátku experimentu se hodnota pH vodního výluhu kompostovaného materiálu pohybovala v rozmezí od slabě kyselého (5,89 – Floran) po neutrální s nejvyšší zaznamenanou hodnotou pH 7,02 u kompostovacího aditiva Radivit. Po prvním týdnu pokusu došlo téměř ve všech experimentálních zakládkách ke slabému poklesu hodnoty pH (Graf 8). Tento pokles pH je pro kompostovací proces charakteristický a úzce souvisí s nárůstem mikrobiální aktivity. V průběhu digesce substrátu dochází především díky hydrolýze nízkomolekulárních sacharidů, lipidů a bílkovin k uvolňování extracelulárních enzymů a produktů metabolismu do vnějšího prostředí, čímž dochází k poklesu hodnoty pH kompostovaného substrátu (Akhtar, 2007).



Graf 8: Průběh pH v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011 (Autor: Hlisenikovský).

Po počátečním poklesu hodnoty pH byl zaznamenán její nárůst do oblasti neutrálních hodnot ve všech experimentálních zakládkách a v tomto rozmezí se hodnoty pH pohybovaly až do ukončení experimentu. Jedinou výjimkou byl vývoj v zakládkách obohacenými přípravky Radivit a Bio P4. Porovnáním vývoje pH v zakládkách pomocí analýzy variant byl u kompostovacího aditiva Radivit zjištěn významný rozdíl v porovnání s ostatními pokusnými zakládkami (d. f. = 6, $F = 2,865$, $p < 0,016$). Výsledkem provedené post hoc analýzy podle Tukeyova HSD testu na hodnotě významnosti $\alpha = 0,05$ byla u tohoto aditiva zjištěna statisticky významně vyšší průměrná hodnota pH (7,79) v porovnání s ostatními kompostovacími aditivy. Tyto vyšší hodnoty mohou souviset se složením samotného přípravku Radivit, který obsahuje v porovnání s ostatními aditivy jíl. Obdobný průběh zaznamenala ve svém experimentu i Himanen et al. (2009), která ověřovala účinek dvou kompostovacích aditiv. V jejím pokusu se přídavek kompostovacího aditiva, složeného z jílu, projevil navýšením hodnoty pH až k hodnotě 8,7 a v porovnání s ostatními sledovanými zakládkami se u tohoto přípravku držela hodnota pH ve vyšších hladinách po delší dobu. Wong et al. (2009) popisuje obdobný průběh u kompostování čistírenských kalů společně se zásaditým aditivem.

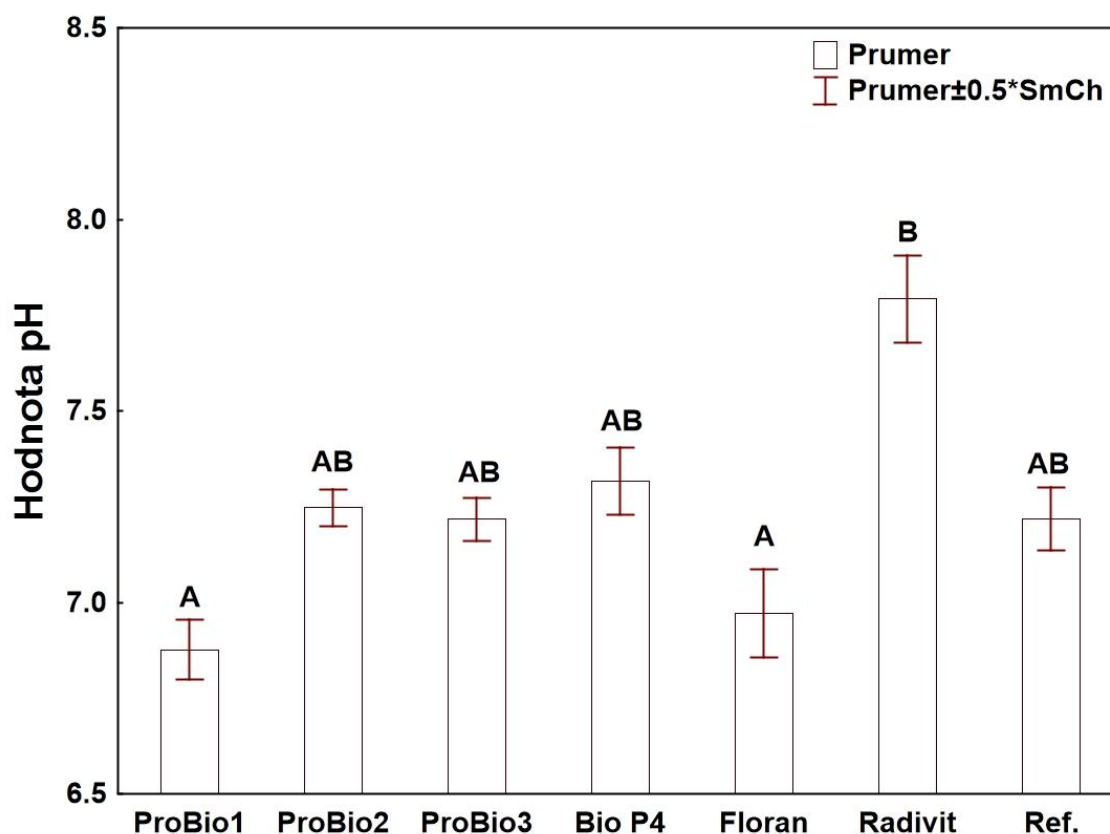
Mezi vyšší hodnotou pH přípravku Radivit a nižšími hodnotami pH zaznamenaných u přípravku ProBio, Floran a u referenční zakládky se pohybuje aditivum Bio P4, u kterého nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl mezi žádnou z obou skupin kompostovacích aditiv.

Ke konci experimentu se hodnoty pH pohybovaly v rozmezí 7,28 (Ref.) až 7,62 (Bio P4). V případě aditiva Radivit činila hodnota pH na konci experimentu 8,02, ke které došlo po postupném dlouhodobém snižování z hodnot 8,28 – 8,39. Na základě výsledků jiných pokusů (Wong et al., 2000, Himanen et al., 2009) lze předpokládat, že v případě pokračování pokusu by i zde hodnota pH postupně klesla do rozmezí neutrálních hodnot, neboť CaO, obsažený v jílu, je po dosažení rovnováhy mezi CO₂ a vlhkostí konvertován na CaCO₃, snižující hodnotu pH substrátu (Adriano et al., 1980). Vliv jednotlivých aditiv na hodnotu pH včetně vyznačení statistických rozdílů jsou zobrazeny v Tab. 3., graficky pak v Grafu 9.

Tab. 3: Vliv kompostovacích aditiv a koncentrací přípravku ProBio ORIGINALTM na hodnotu pH kompostovaného materiálu (Autor: Hlisenkovský).

	ProBio1	ProBio2	ProBio3	Bio P4
pH _{min}	6,11	6,66	6,83	6,41
pH _{max}	7,36	7,69	7,75	7,81
pH _x	6,88 ± 0,16 ^A	7,25 ± 0,1 ^{AB}	7,22 ± 0,11 ^{AB}	7,32 ± 0,17 ^{AB}
	Floran	Radivit	Ref.	
pH _{min}	5,89	6,18	6,09	
pH _{max}	7,61	8,39	7,76	
pH _x	6,97 ± 0,23 ^A	7,79 ± 0,23 ^B	7,22 ± 0,16 ^{AB}	

Průměrné hodnoty s chybou střední hodnoty se stejným písmenem (A-horizontálně) nejsou statisticky významně rozdílné.



Graf 9: Průměrné hodnoty pH v experimentálních zakládkách. Průměrné hodnoty označené shodným písmenem nejsou statisticky významně rozdílné (Autor: Hlisenkovský).

Na základě výsledků statistické analýzy je možné potvrdit statisticky významné ovlivnění hodnoty pH pouze u kompostovacího aditiva Radivit, jehož průměrná hodnota pH byla 7,79 a maximální hodnota pH 8,39. V porovnání s ProBio 1 a přípravkem Floran biokompostér byla hodnota pH statisticky významně rozdílná. Vyšší průměrné i maximální hodnoty pH souvisí se složením tohoto kompostovacího aditiva, které obsahuje jíl. Použití tohoto aditiva by tak mohlo zlepšit poměry zakládek, ve kterých tvoří velký podíl např. spadané listí, jenž mají nižší hodnotu pH a prostředí kompostovacích zakládek okyselují, čímž mohou vytvořit podmínky méně příznivé až nevhodné pro pH citlivé mikroorganismy, podílející se na procesu kompostování.

V porovnání referenční zakládky a ostatními kompostovacími aditivami (mimo ProBio 1 a Radivit) nebyly v průběhu experimentu zaznamenány statisticky významné rozdíly a jejich účinek na hodnotu pH nebyl významný. V porovnání s čerstvě vyzrálým kompostem, pocházejícím z kompostárny v Náměšti nad Oslavou, jsou hodnoty pH všech zakládek, s výjimkou zakládky s přípravkem Radivit, nižší o 0,65 až 1,09 bodů. Průměrná hodnota pH vyzrálého kompostu z kompostárny Náměšť nad Oslavou se v období od 08.06.2011 do 05.10.2011 pohybovala na relativně vysoké úrovni $7,97 \text{ mS.cm}^{-1}$ se směrodatnou odchylkou 0,24 (Stejskal et al., 2012).

5.3 Vliv kompostovacích aditiv na hodnotu elektrické konduktivity

Hodnota EC je určena především sodnými, chloridovými a nitrátovými ionty ve vodném roztoku kompostovaného materiálu (Koivula et al., 2004).

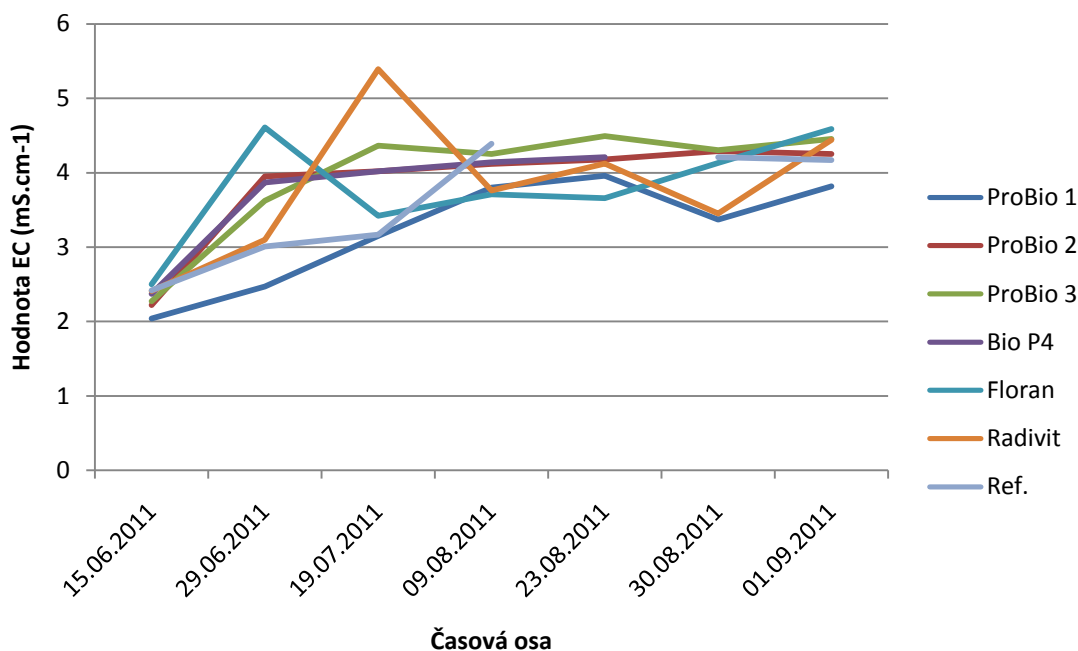
Hodnota elektrické konduktivity vodného roztoku vstupního materiálu byla na počátku experimentu ve všech zakládkách velice podobná a pohybovala se v rozmezí hodnot $2,04 \text{ mS.cm}^{-1}$ u aditiva ProBio 1 po $2,5 \text{ mS.cm}^{-1}$ u aditiva Floran. Po termofilní fázi došlo k nárůstu rozpustných iontů v jednotlivých zakládkách, v měření provedeném o dva týdny později byly zaznamenány hodnoty vyšší o 0,43 až $2,11 \text{ mS.cm}^{-1}$ v závislosti na kompostovacím aditivu. Po dosažení těchto hodnot došlo k určité stabilizaci hodnoty elektrické konduktivity na úrovni přibližně 3,5 až $4,5 \text{ mS.cm}^{-1}$ a v těchto rozmezích se pohybovaly, s mírnými výkyvy přes obě hodnoty, až do ukončení experimentu. Nejnižší hodnota elektrické konduktivity byla zaznamenána u aditiva ProBio1 na počátku experimentu ($2,04 \text{ mS.cm}^{-1}$), nejvyšší pak u aditiva Radivit s hodnotou $5,39 \text{ mS.cm}^{-1}$ přibližně

po pěti týdnech po započetí pokusu. Obdobné výsledky publikovala i Himanen et al., (2009). Průměrné hodnoty elektrické konduktivity experimentálních zakládek jsou zobrazeny v Tab. 4, graficky pak v Grafu 10 a 11.

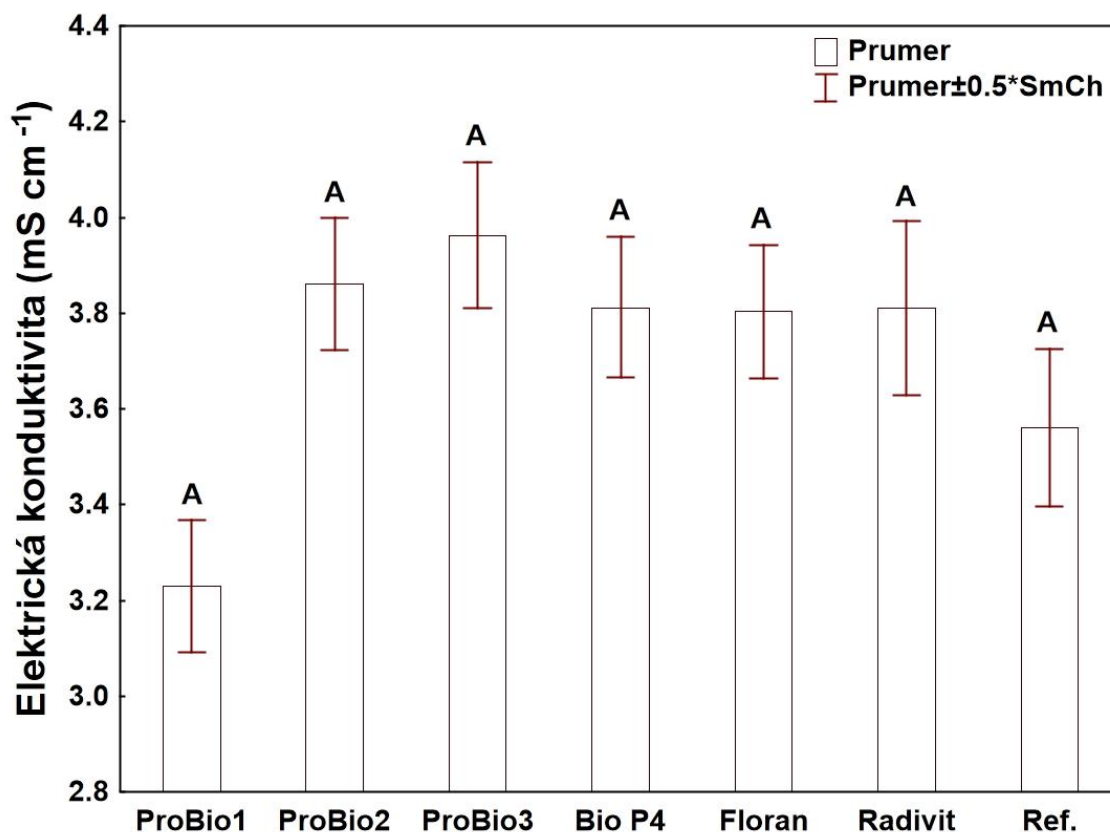
Tab. 4: Vliv kompostovacích aditiv na hodnotu EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) (Autor: Hlisnikovský).

	ProBio1	ProBio2	ProBio3	Bio P4
EC_{\min}	2,04	2,22	2,27	2,37
EC_{\max}	3,96	4,29	4,49	4,26
$EC_{\bar{x}}$	$3,23 \pm 0,28^A$	$3,86 \pm 0,28^A$	$3,96 \pm 0,3^A$	$3,81 \pm 0,29^A$
	Floran	Radivit	Ref.	
EC_{\min}	2,5	2,41	2,42	
EC_{\max}	4,61	5,39	4,39	
$EC_{\bar{x}}$	$3,8 \pm 0,27^A$	$3,81 \pm 0,36^A$	$3,56 \pm 0,33^A$	

Průměrné hodnoty s chybou střední hodnoty se stejným písmenem (A-horizontálně) nejsou statisticky významně rozdílné.



Graf 10: Průběh hodnot EC ($\text{mS}\cdot\text{cm}^{-1}$) v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011 (Autor: Hlisnikovský).



Graf 11: Průměrné hodnoty EC (mS.cm⁻¹) v experimentálních zakládkách. Průměrné hodnoty elektrické konduktivity s uvedenou chybou střední hodnoty označené shodným písmenem nejsou statisticky významně rozdílné (Autor: Hlisnikovský).

Nejvyšší průměrnou hodnotu elektrické konduktivity jsem zaznamenal v zakládce s přípravkem ProBio 3 (3,96 mS.cm⁻¹). Nejnížší hodnotu pak vykazoval vodný roztok zakládky s přidavkem aditiva ProBio 1 (3,23 mS.cm⁻¹), který byl v porovnání s referenční zakládkou nižší o 0,33 bodů.

Z pohledu statistické analýzy nebyly mezi účinky kompostovacích aditiv a referenční zakládkou zjištěny v průběhu celého experimentu významné statistické rozdíly (d. f. = 6, F = 0,678, p = 0,668). Ani porovnání vývoje hodnot EC těsně po ukončení termofilní fáze neprokázalo významné statistické rozdíly mezi zakládkami obohacenými kompostovacími aditivami a zakládkou referenční (d. f. = 6, F = 0,366, p = 0,879). Aplikace kompostovacích aditiv se tak přes prodloužení termofilní fáze nikterak neprojevilo na navýšení koncentrace rozpustných iontů ve vodných roztocích v porovnání s referenční zakládkou, vývoj a obsah rozpustných solí byl ve všech pokusných zakládkách přibližně shodný.

Běžnou nevýhodou kompostu použitého jako hnojivo je snížení schopnosti rostlin přijímat vodu díky příliš vysoké koncentraci solí (Koivula et al., 2004). Jako limitní hodnota elektrické konduktivity se uvádí 4 mS.cm^{-1} (Annon, 1992). Jiní autoři uvádí jako bezpečnou hodnotu elektrické konduktivity 2 mS.cm^{-1} (Turan et al., 2008). Při této hodnotě nebyl pozorován negativní vliv na růst rostlin. Při hodnotách EC 2-4 mS.cm^{-1} je růst rostlin velice citlivých na úroveň salinity mírně inhibován. Tato hodnota salinity je vhodná např. pro zelí, okurky, pepř a brambory. V rozmezí hodnot 4-8 mS.cm^{-1} je růst více rostlin. Tuto hodnotu salinity snášejí např. brokolice, rajská jablka a špenát. Hodnoty 8-16 mS.cm^{-1} jsou inhibující pro většinu pěstovaných rostlin. Tolerantními jsou např. *Asparagus* sp., *Juniperus* sp. a *Beta vulgaris* (Rosen et al., 2008). ČSN 46 5735 tento parametr nebere v potaz a není zařazen mezi sledované veličiny. Ani zahraniční normy, např. francouzská NF U 44 051, belgická „Total quality control system“ nebo kanadská CAN/BNQ 0413-200 (Hogg et al., 2002, Brinton, 2000) tento parametr nesledují. Výjimkou je australská norma AS 4454-1999, která dělí komposty dle hodnoty EC (Tab. 5) a od této hodnoty EC se následně odvíjí doporučené dávkování kompostu v l.m^{-2} .

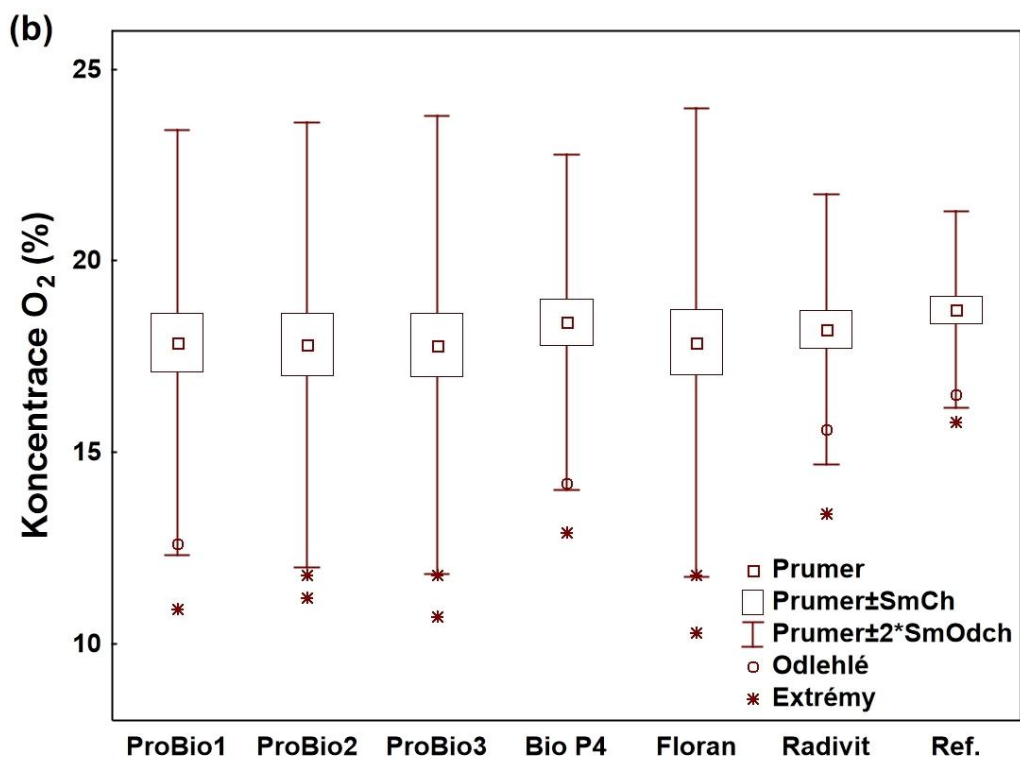
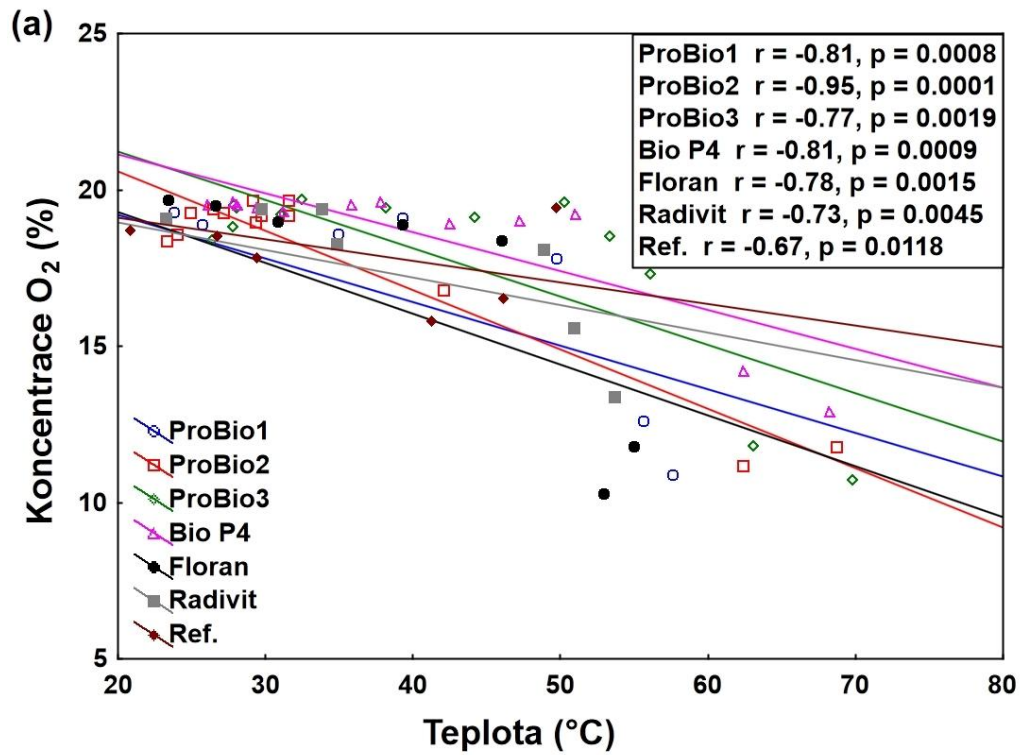
Tab. 5: Maximální množství kompostu ($1.m^{-2}$) aplikovatelného na půdu pro sensitivní a tolerantní rostliny v závislosti na hodnotě EC (Zdroj: AS 4454-1999, upravil Hlisnikovský).

Rozmezí EC ($mS.cm^{-1}$)	Sensitivní rostliny	Tolerantní rostliny
0-1	Neomezeno	Neomezeno
1-2	<15	<60
2-4	<8	<32
4-8	<4	<16
8-12	<2,5	<10
>12	<2	<8

Hodnota elektrické konduktivity nám totiž nepodává přesný popis o koncentraci jednotlivých iontů a z tohoto důvodu je brán spíše jako doplňková informace o kvalitativní charakteristice kompostu. V rámci mého experimentu nepřesáhly průměrné hodnoty elektrické konduktivity žádné pokusné zakládky hodnotu $4 mS.cm^{-1}$ a aplikace kompostovacích aditiv na tento parametr neměla statisticky významný vliv. Obdobné výsledky publikovala Koivula et al. (2004), která rovněž nezjistila významné rozdíly v hodnotách EC mezi zkoušenými kompostovacími aditivami. Podle rakouské normy ÖNORM S 2200 „Gütekriterien für Komposte aus biogenen Abfällen“ (Kritéria kvality pro komposty z biogenních odpadů) má být hodnota konduktivity u surových kompostů $\leq 4 mS.cm^{-1}$. Hodnoty EC všech pokusných zakládek se pohybují hluboko pod průměrnou hodnotou EC vyzrálého kompostu z kompostárny v Náměšti nad Oslavou. Zde byla zaznamenána průměrná hodnota EC $7,83 mS.cm^{-1}$ (Stejskal et al., 2012) a tento kompost představuje vysoké riziko při aplikaci k plodinám bez předchozího ředění.

5.4 Koncentrace kyslíku v zakládkách

Jak uvádí Koivula et al. (2004), zvýšená spotřeba O_2 v kompostovacích zakládkách akceleruje kompostovací proces. Přidání mikrobiálních aditiv do zakládky by se tak mělo projevit odlišným průběhem koncentrací kyslíku v pokusných zakládkách. Zásobení O_2 bylo v průběhu experimentu, v důsledku pravidelných překopávek zakládek, dostatečné po celou dobu pokusu, v žádné ze zakládek nedošlo k poklesu koncentrace O_2 pod 5 %, což je udávaná minimální koncentrace O_2 pro úspěšný proces kompostování (Diaz et al., 2007). S nástupem termofilní fáze kompostovacího procesu byl zaznamenán pokles koncentrace O_2 v zakládkách na koncentrace v rozmezí 10,3 % až 12,9 % O_2 u aditiv ProBio 1, 2, 3 a Floran. Nejmenší pokles koncentrace O_2 byl naměřen v zakládce obohacené přípravkem Radivit a v zakládce Ref. kompostéru, koncentrace O_2 se na počátku termofilní fáze propadla v těchto zakládkách na úroveň 14-16 %. Koncentrace O_2 v zakládkách byla ve velice silně negativní vazbě se zaznamenanými teplotami, potažmo s mikrobiální aktivitou, která s teplotou velice úzce souvisí (Graf 12). Po dvou týdnech od započetí pokusu se koncentrace kyslíku v zakládkách ustálily na přibližně stejných hodnotách a pohybovaly se v rozmezí 18 % - 19 %. Na těchto hodnotách se koncentrace kyslíku udržovaly až po dobu ukončení experimentu. Přes tyto rozdílné průběhy v pokusných zakládkách nebyly zaznamenané rozdíly statisticky průkazné (d. f. = 6, F = 0,266, p = 0,951).

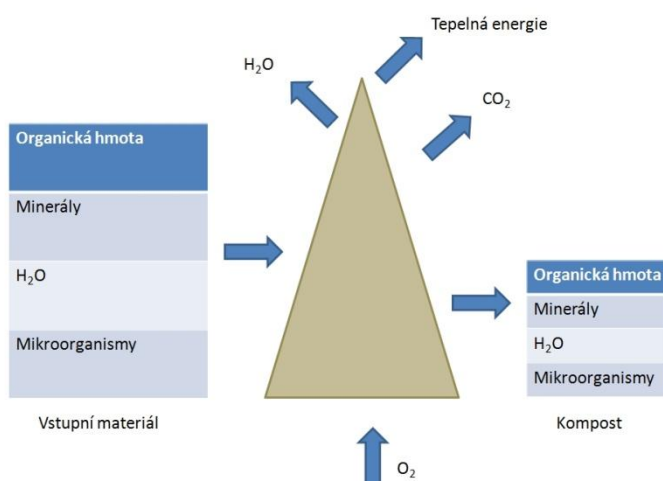


Graf 12: Vztah mezi teplotou (°C) a koncentrací O₂ (%) v zakládkách pokusných kompostérů v závislosti na kompostovacím aditivu (a) a průměrné hodnoty koncentrace O₂ (%) v zakládkách (b) (Autor: Hlisnikovský).

5.5 Účinek kompostovacích aditiv na míru úbytku materiálu

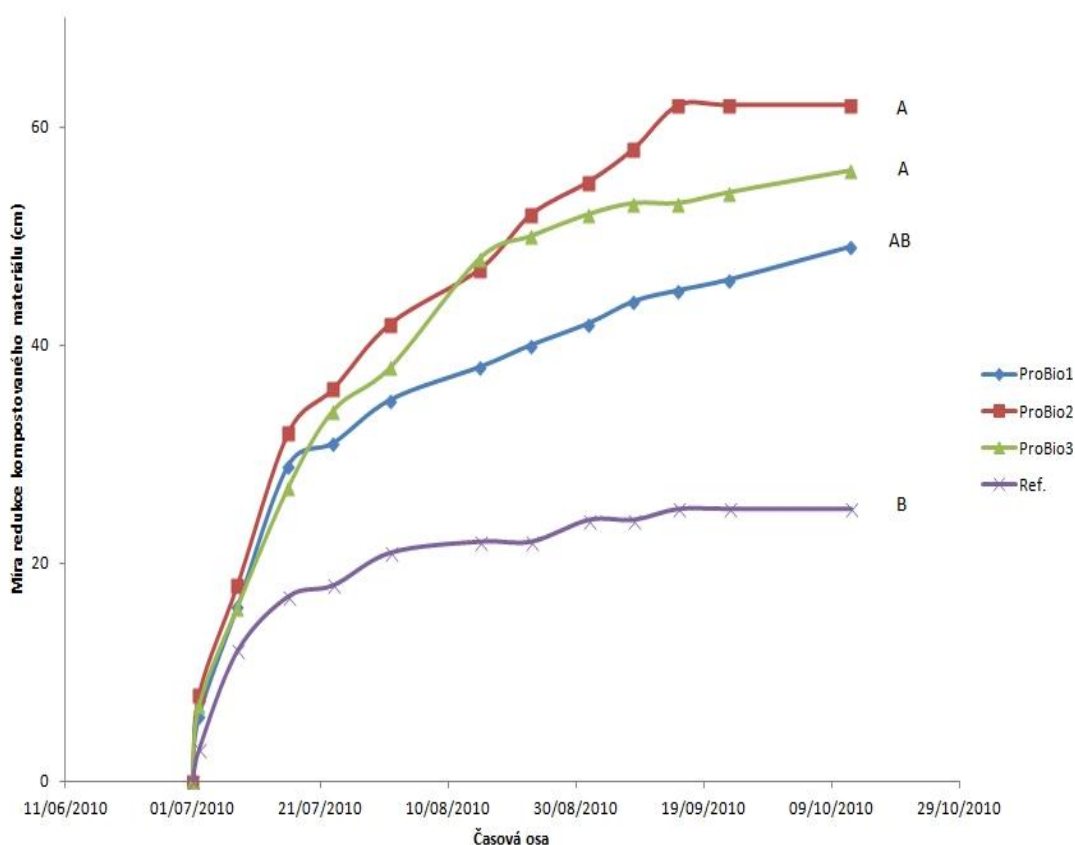
Dodání kompostovacích aditiv do zakládky biologicky rozložitelných odpadů by mělo urychlit a zintenzivnit kompostovací proces, který se vedle vyšších teplot v zakládce projeví taktéž zkrácením kompostovací doby, rychlejším úbytkem kompostovaného materiálu a tím i zkoncentrováním živin ve výsledném kompostu.

V průběhu kompostovacího procesu dochází k rozkladu původního (vloženého) biologicky rozložitelného odpadu za spotřeby vzdušného kyslíku a za uvolnění tepelné energie, vody, oxidu uhličitého a zvýšení měrné hmotnosti kompostovaného materiálu (Obr. 6). Přidání aditiv by se tedy mělo projevit rozdílným průběhem redukce materiálu v jednotlivých zakládkách. Zakládka bez aditiv by měla svůj objem redukovat pomaleji, zatímco zakládka obohacené mikrobiálními aditivami, slibující akceleraci kompostovacího procesu, rychleji. Na základě toho byla postavena nulová hypotéza, nepředpokládající rozdíly mezi mírou redukce u kontrolních a obohacených zakládek ($H_0: R_{\text{Ref.}} = R_{\text{aditiva}}$). Alternativní hypotéza naopak předpokládá, že míra redukce objemu kompostované zakládky obohacené kompostovacími aditivami bude v porovnání s kontrolní variantou rychlejší ($H_A: R_{\text{Ref.}} < R_{\text{aditiva}}$). V první etapě experimentu byla rovněž ověřována účinnost různých koncentrací přípravku ProBio ORIGINALTM na míru redukce objemu ($H_0: R_{\text{ProBio1}} = R_{\text{ProBio2}} = R_{\text{ProBio3}}$; $H_A: R_{\text{ProBio1}} < R_{\text{ProBio2}} < R_{\text{ProBio3}}$).



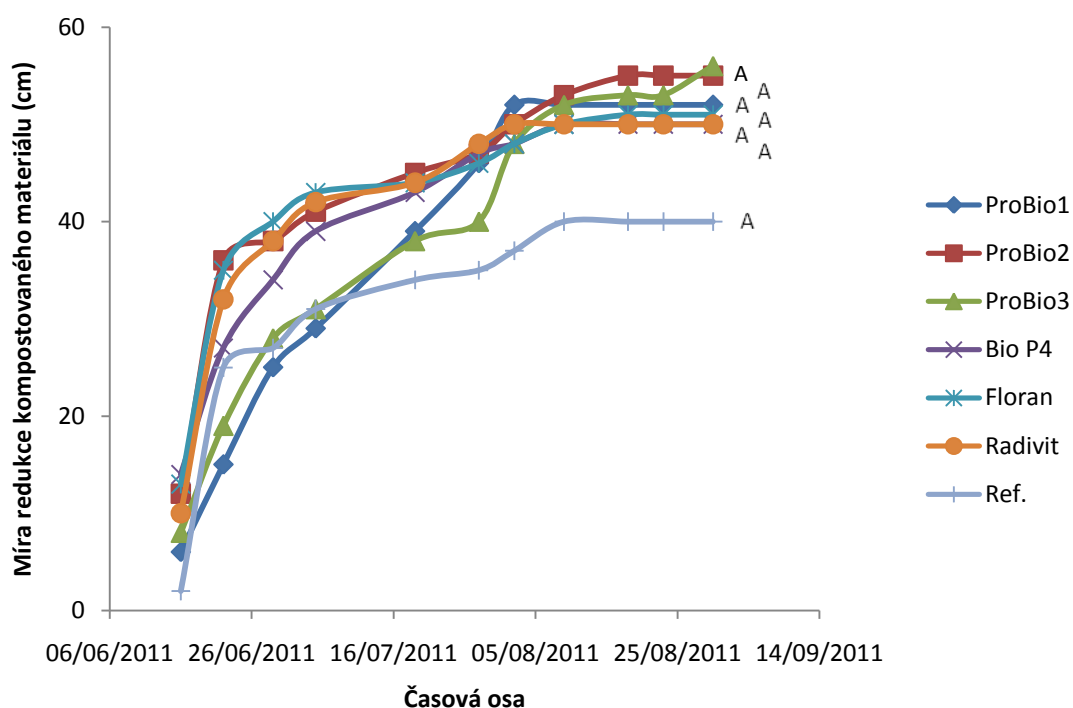
Obr. 6: Schematický popis kompostovacího procesu (Zdroj: Rynk, 1992, upravil: Hlisnikovský).

V první etapě pokusu byla nejnižší míra redukce kompostovaného materiálu zaznamenána u referenční zakládky. V porovnání s počátečním stavem činil úbytek materiálu přibližně 34 %. Nejvyšší míru redukce byla naměřena v zakládce ProBio 2, 83 %, následována zakládkou ProBio 3, 76 % a ProBio1, 66 %. Oproti referenční zakládce byla míra úbytku kompostovaného materiálu v zakládkách ProBio 2 a 3 statisticky významně vyšší (d. f. = 3, $F = 4,57$, $p = 0,007$). Oproti referenční zakládce došlo v kompostérech, s přidavkem kompostovacího aditiva, k očividnému navýšení hustoty materiálu (neměřeno) a změně struktury materiálu, kdy téměř nebylo možné rozeznat vstupní materiál. Oproti tomu referenční zakládka nezaznamenala změnu struktury, po ukončení experimentu bylo možné velice dobře rozeznat vstupní materiál. Grafické znázornění průběhu úbytku materiálu v jednotlivých zakládkách zobrazuje Graf 13. Mezi třemi rozdílnými koncentracemi přípravku ProBio nebyly ve sledovaném parametru zaznamenány statisticky významné rozdíly.



Graf 13: Průběh změny objemu kompostovaného materiálu v první etapě pokusu. Křivky označené stejným písmenem nejsou statisticky významně odlišné na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ (Autor: Hlisnikovský).

Ve druhé etapě experimentu byla největší míra redukce objemu kompostovaného materiálu zaznamenána u zakládky obohacené aditivem ProBio 3. Na konci experimentu byla hladina zakládky přibližně o 74 % nižší v porovnání s počátečním stavem. Nejmenší redukce hladiny byla zaznamenána u zakládky Ref., zde činila míra redukce přibližně 54 % z počátečního stavu. Účinek ostatních kompostovacích aditiv se pohyboval mezi těmito hodnotami. Průběh změn objemu kompostovaného materiálu v závislosti na použitém aditivu je zobrazen v Grafu 14. Přestože byla míra redukce objemu zakládek s přidanými aditivy větší, než u zakládky referenční, statistická analýza nevyhodnotila tyto rozdíly jako významné a nulovou hypotézu o účinku kompostovacích aditiv na míru redukce objemu zakládky tak není možné vyloučit. Aplikace aditiv tak z hlediska statistické analýzy neměla na sledovaný parametr vliv (d. f. = 6, F = 1,07, p = 0,389). Upravení zakládky obohacením o hobliny však, v porovnání s první etapou, pomohlo u referenční zakládky ke zlepšení podmínek kompostovacího procesu. U kompostovaného materiálu došlo ke změně struktury a očividně i k navýšení hustoty (neměřeno), po ukončení pokusu nebylo prakticky rozeznat travní hmotu.



Graf 14: Průběh změny objemu kompostovaného materiálu ve druhé etapě pokusu (Autor: Hlisnikovský).

5.6 Poměr C:N a změny v koncentracích živin

Dle výsledků chemické analýzy byl počáteční poměr C:N u vstupního materiálu 15,3:1. Z technologického hlediska se jedná o poměr pro kompostování relativně nízký, jako optimální poměr se udává rozsah poměru C:N 30-35:1. Poměr však zůstal zachován z důvodu snadné identifikovatelnosti a reprodukovatelnosti experimentu.

V průběhu experimentu došlo k postupnému snížení poměru C:N ve všech experimentálních zakládkách. Na konci experimentu byly v zakládkách obohacených aditivem ProBio ORIGINALTM zaznamenány poměry C:N 8,15:1 (ProBio 3), 8,44:1 (ProBio 2) a 8,82:1 (ProBio 1). Referenční zakládka vykazovala v porovnání se zakládkami s přidávanými aditivami na konci pokusu poměr C:N téměř třikrát vyšší, 21,1:1. Aplikace kompostovacích aditiv se tak projevila snížením poměru C:N v jednotlivých zakládkách, organický materiál byl v těchto zakládkách v průběhu pokusu odbouráván rychleji. Obdobné výsledky publikoval i Gabhane et al. (2012), který ve svém experimentu ověřoval účinnost pěti kompostovacích aditiv.

Diaz et al. (2007) i Zueng-Sang (2005) uvádí jako optimální poměr C:N u kompostu poměr C:N 10-15:1. V tomto experimentu byl dosažený poměr u zakládek s kompostovacími aditivami C:N o něco nižší, s tím že nejnižší poměr C:N u zakládek obohacených aditivem vykazovala zakládka s nejvyšší dávkou kompostovacího aditiva, nejvyšší pak zakládka s nejnižší koncentrací přípravku ProBio.

Jedním z účinků kompostovacího procesu je díky úbytku materiálu v průběhu kompostovacího procesu zkoncentrování živin (Diaz et al., 2007). V počáteční fázi kompostovacího procesu dochází k výrazné mineralizaci organické složky kompostovaného materiálu, následkem čehož dojde ke zkoncentrování složky anorganické (Himanen et al, 2009). Přidání kompostovacích aditiv, jejichž účelem je akcelerace kompostovacího procesu, by se tak mělo kromě vyšší míry úbytku materiálu projevit i navýšením koncentrací živin ve výsledném produktu. V tomto experimentu, při srovnání se vstupním materiálem došlo ke zvýšení koncentrací všech sledovaných prvků (Tab. 6). Výjimkou je pouze koncentrace draslíku v zakládce s přídatkem aditiva ProBio2, kde byla po ukončení pokusu zaznamenána koncentrace o 3 000 mg.kg⁻¹ nižší. Nejnižší koncentrace byly, dle očekávání, zaznamenány v Ref. zakládce, u které byla rovněž zaznamenána nejmenší redukce objemu

kompostovaného materiálu. Závislost mezi koncentrací přípravku ProBio a obsahem živin v zakládkách nebyla potvrzena.

V druhé etapě experimentu byl na základě výpočtu poměr C:N upraven přidáním dřevěných hoblin na hodnotu 31:1. Z důvodu procesní chyby však nejsou výsledky poměrů C:N z druhé etapy dostupné a účinek kompostovacích aditiv na změnu poměru C:N tak nebylo možné vyhodnotit.

Tab. 6: Změny koncentrace živin v průběhu pokusu v závislosti na koncentraci přípravku ProBio ORIGINALTM (Autor: Hlisnikovský).

	Jednotky	Vstupní materiál	ProBio 1	ProBio 2	ProBio 3	Ref.
Ca	mg.kg ⁻¹	16800	34900	45400	49400	25600
Mg	mg.kg ⁻¹	2840	6450	7010	8410	5580
K	mg.kg ⁻¹	30000	37200	27000	40100	37200
P	mg.kg ⁻¹	3390	7570	6820	8560	8270
N	% suš.	2,78	3,89	2,58	2,52	2,02
Sušina	%	18,37	25,68	34,86	34,59	45,55

I v druhé etapě byly v porovnání se vstupním materiálem zaznamenány vyšší koncentrace většiny živin. Obdobné výsledky publikovala i Koivula et al., 2004. Výjimkou byla koncentrace N, která byla ve vstupním materiálu, čerstvě posečené trávě, nejvyšší. V průběhu kompostovacího procesu totiž dochází k nárůstu teploty a hodnoty pH, čímž dochází k nárůstu evaporace amoniaku (Koivula et al., 2004). Nejnižší koncentrace všech živin obsahovala zakládka Ref., s výjimkou koncentrace Ca, kde byla naopak nejvyšší. Zaznamenané změny však vzhledem k hodnotám EC, které se od sebe statisticky významně nelišily, nejsou významné. Výsledné koncentrace živin v zakládkách jsou zobrazeny v Tab. 7.

Tab. 7: Změny koncentrace živin v průběhu druhé etapy v závislosti na použitém aditivu (Autor: Hlisnikovský).

	Jednotky	Vstupní materiál	ProBio 3	Bio P4	Floran
Ca	mg kg ⁻¹	8930	10300	8810	10200
Mg	mg kg ⁻¹	1690	2450	1810	1980
K	mg kg ⁻¹	15700	26500	29800	15900
P	mg kg ⁻¹	2240	3040	2620	2550
N	mg kg ⁻¹	34700	34200	29200	32600
Sušina	%	29,68	39,14	39,64	27,8
		Radivit	Ref.		
Ca	mg kg ⁻¹	10200	10800		
Mg	mg kg ⁻¹	2020	1560		
K	mg kg ⁻¹	23100	12500		
P	mg kg ⁻¹	2660	2280		
N	mg kg ⁻¹	33900	18600		
Sušina	%	21,67	36,47		

5.7 Finanční náklady na kompostovací aditiva

Jednotlivé pořizovací náklady na použité přípravky jsou uvedeny v Tab. 8. Nejlevnějším testovaným přípravkem byl urychlovač kompostování Bio P4. Přípravek se prodává v cenovém rozmezí od 67 do 77 Kč a hmotnost balení je 100 g. Náklady na 1 m³ kompostovaného materiálu se pohybují v rozmezí 22 až 26 Kč.

Druhým nejlevnějším přípravkem byl Floran Biokompostér. Přípravek se prodává v balení o hmotnosti 1 000 g za cenu 78 až 128 Kč a náklady na 1 m³ organického materiálu se pohybují v rozmezí 20 až 32 Kč.

U přípravku Radivit se na náklady na kompostování 1 m³ kompostu pohybují v rozmezí 51 až 171 Kč. Stejně jako přípravek Radivit se prodává v balení o hmotnosti 1 000 g a prodává se v cenovém rozmezí 102-342 Kč.

Nejdražším testovaným aditivem byl přípravek ProBio ORIGINALTM. Cena přípravku se na polském trhu pohybuje okolo 87 Kč za 1 dm³. Pro kompostování 1 m³ se doporučuje použít 1 až 10 dm³ přípravku, což představuje náklady ve výši 87 až 243 Kč (cena 1 dm³ balení je 13 PLN, 10 dm³ balení pak 42 PLN). V ČR se obdobné přípravky řady EM prodávají za cenu přibližně 190 Kč za 1 dm³.

Zmíněné ceny se týkají uvedených konkrétních přípravků. V současné době se na trhu ČR prodává minimálně 17 kompostovacích aditiv. Ceny za přípravky se pohybují v rozmezí od 37 Kč do 2 856 Kč v závislosti na velikosti balení. Náklady na 1 m³ kompostovaného materiálu se pohybují od 30 Kč do přibližně 1 500 Kč.

Tab. 8: Průměrné ceny, doporučené dávky a ceny přípravku na 1 m³ kompostovaného materiálu použitých kompostovacích aditiv (Autor: Hlisnikovský).

Název přípravku	Cena přípravku za balení (Kč)	Doporučená dávka	Cena přípravku na 1m ³ kompostovaného materiálu (Kč)
ProBio ORIGINAL™	87*	1-10 dm ³ 1 m ⁻³ kompostované hmoty	87-243
Bio P4	67-77	100 g m ⁻³ kompostované hmoty	22-26
Floran	78-128	20-30 g na 0,2 m ³ kompostované hmoty	20-32
Radivit	100-342	50 g/100 dm ³ materiálu (tráva+listí) 30 g/m ² materiálu (listí)	51-171

*balení 1 dm³

Ve Finsku, v roce 2006, byly náklady na použití komerčních kompostovacích aditiv 10 až 50 EUR (286-1 430 Kč) na 1 m³ kompostovaného materiálu (Himanen et al., 2009). V USA činily v roce 1996 dodatečné náklady na kompostovací aditiva 1,8 – 12,3 USD (50-340 Kč) na 1 m³ kompostu (Razvi et al., 1996). Korhonen (2006) vyčíslila náklady na používání komerčně dostupných kompostovacích aditiv ve Finsku na 0,1-2,51 EUR na měsíc.

6 ZÁVĚR

V rámci předcházení ukládání BRO na skládky komunálních odpadů je jednou z možných variant nakládání s odpady domácí kompostování, v rámci kterého je možné využít širokou škálu kompostovacích aditiv. Producenti těchto aditiv prohlašují, že aplikace jejich výrobků proces kompostování urychlí, optimalizují a pozitivně ovlivní fyzikálně-chemické vlastnosti kompostu. V rámci své disertační práce jsem v první fázi pokusu ověřoval účinek přípravku ProBio ORIGINAL™ na průběh kompostovacího procesu a vliv na fyzikálně-chemické parametry kompostu v závislosti na jeho koncentraci. Ověřovány byly celkem tři koncentrace přípravku, které vycházely z doporučení výrobce. Ve druhé fázi byla k ověřovanému přípravku ProBio ORIGINAL™ přidána pro možnosti porovnání tři další kompostovací aditiva dostupná na trhu ČR.

Přidání přípravku ProBio se v porovnání s referenční zakládkou projevilo navýšením teplot v experimentálních zakládkách a prodloužením termofilní fáze kompostovacího procesu. Vyšší teploty v zakládkách a jejich delší trvání bylo projevem vysoké mikrobiální aktivity, která se u dvou nejvyšších koncentrací přípravku ProBio (ProBio 2 a ProBio 3) v první etapě pokusu projevila statisticky významně vyšší mírou úbytku objemu kompostovaného materiálu a vyšším zkoncentrováním živin ve výsledném kompostu. Míra úbytku materiálu byla v případě referenční zakládky nejnižší v obou etapách experimentu, nicméně v druhé etapě pokusu nebyly rozdíly v míře objemu vyhodnoceny jako statisticky významné. Také lepší hodnoty poměru C:N v první etapě experimentu, které se pohybovaly v blízkosti optimálního poměru C:N u vyzrálého kompostu (10:1), naznačují, že celý proces probíhal v zakládkách obohacených kompostovacím aditivem ProBio mnohem rychleji. Při optické kontrole finálního produktu bylo možné materiály s přídavkem aditiva jednoznačně odlišit od materiálu referenční zakládky, který nejevil charakteristické vlastnosti kompostu. Zatímco materiál obohacených zakládek bylo možné charakterizovat jako velice vlhký kompost hnědého zbarvení s minimem rozpoznatelných prvků vstupního materiálu, v referenční zakládce byly vstupní materiály velice dobře viditelné a rozpoznatelné a materiál podobný kompostu se vyskytoval sporadicky.

Ze statistického hlediska však nebyl rozdílný průběh teplot v kompostovaných zakládkách vyhodnocen jako významný a není tak možné prohlásit, že přidání kompostovacího aditiva ProBio mělo na teploty v jednotlivých zakládkách vliv. Ani při užším pohledu na termofilní fázi kompostovacího procesu, při kterých byla naměřena teplotní maxima a která trvala u obohacených zakládek přibližně o týden déle, nebyly zaznamenané údaje statisticky významně rozdílné.

Účinek vyšších koncentrací přípravku ProBio na změnu průběhu kompostovacího procesu nebyl rovněž statisticky potvrzen. Teplotní maxima byla ve všech třech kompostovacích zakládkách na srovnatelné úrovni a v zakládce se střední koncentrací aditiva ProBio ORIGINAL™ byla zaznamenána průměrná i maximální teplota dokonce nižší, než v zakládce s nejnižší koncentrací přípravku. Možným vysvětlením může být omezení samotné zakládky, ať už z hlediska objemu kompostovaného materiálu, nebo jeho skladby. Je známo, že kompostovací proces v malém měřítku nedosahuje hodnot průběhu velkoobjemového kompostování. Proto se aplikace velkého množství kompostovacího aditiva v malém objemu kompostovaného materiálu nemusí vůbec projevit a jejich aplikace je tak zbytečně finančně nákladná a bez prospěchu.

Ani u dalších kompostovacích aditiv nebyl zaznamenán statisticky významný rozdíl v průběhu teplot v zakládkách. Přestože byly ve srovnání s referenční zakládkou průměrné teploty v obohacených zakládkách minimálně o 2 °C a maximálně pak o 8,5 °C vyšší, nebyly rozdíly statisticky průkazné. Použití kompostovacích aditiv tak nemělo v porovnání s referenční zakládkou na průběh teplot účinek.

Statisticky významná rozdílnost byla v průběhu pokusu zaznamenána u hodnot pH. V porovnání s nejnižší koncentrací přípravku ProBio a s přípravkem Floran se kompostovací aditivum Radivit vyznačovalo statisticky významně vyšší hodnotou pH. I v porovnání s ostatními kompostovacími aditivy byla hodnota pH u přípravku Radivit vyšší, i když statisticky neprůkazně. Vyšší hodnota pH souvisí se složením tohoto aditiva, které obsahuje jíl. Tato vlastnost se dá využít v případě kompostování materiálu s nízkou hodnotou pH, např. listí. Nízká hodnota pH může negativně působit na mikroorganismy citlivé na kyselost prostředí a v konečném důsledku omezit proces kompostování. Přidáním zásaditých aditiv se tak pomůže optimalizovat hodnota pH a tím i celý kompostovací proces.

Hodnota EC nebyla ovlivněna žádným přidaným aditivem a ve všech zakládkách zaznamenala obdobný průběh. S tím úzce souvisí i koncentrace živin v jednotlivých zakládkách. Přestože byla míra zkoncentrování některých živin v zakládkách obohacených aditivou vyšší, nebyly výsledky chemické analýzy jednoznačné, neboť koncentrace některých živin v referenční zakládce byly vyšší, než v zakládkách s přidanými aditivou. Na základě statisticky neprůkazných rozdílů v hodnotách EC tak je možné říci, že přidání aditiva nemělo na míru zkoncentrování živin vliv.

Požizovací náklady testovaných kompostovacích aditiv se pohybují v rozmezí od 20 do 243 Kč na 1 m³ kompostovaného materiálu. Jejich účinek na průběh kompostovacího procesu a ovlivnění fyzikálně-chemických vlastností kompostu je však minimální a v případě porovnání s optimální skladbou kompostovací zakládky (vhodný poměr C:N, pravidelné provzdušňování a zajištění optimální vlhkosti) jejich aplikace nepřináší pro průběh kompostovacího procesu a kvalitu kompostu přidanou hodnotu.

Přínos pro vědu:

- a) Rozšíření možností analytického stanovení kvalitativního parametru kompostu v laboratořích Ústavu aplikované a krajinné ekologie – zavedení metodiky pro stanovení elektrické konduktivity a pH kompostu (rozšíření portfolia bakalářských a diplomových prací, na základě zavedené metodiky byl již vypracován článek, viz Stejskal et al., 2012.

Přínos pro veřejnost:

- b) Rozšíření znalostí o účinku kompostovacích aditiv na průběh kompostovacího procesu.

7 LITERATURA

AKHTAR, M. J., 2007. Assessing compost maturity through: Chemical and biological tests and Plant bioassay. Final report, University of Agriculture, Faisalabad. Dostupné na: http://eprints.hec.gov.pk/3764/1/POST_DOC_RESEARCH_REPORT.pdf

AVNIMELECH, A., BRUNER, M., EZRONY, I., SELA, R., KOCHBA, M., 1996. Stability indexes for municipal solid waste kompost. *Compost Science and Utilization*, 4 (2), 13-20.

Belgium offers chickens to waste-cutting households, 26.02.2010. BBC News. Dostupné na: <http://news.bbc.co.uk/2/hi/europe/8539877.stm>

BLANCO, M., J., ALMENDROS, G., 1995. Evaluation of parameters related to chemical and agrobiological qualities of wheat-straw compost including different additives. *Bioresource Technology* 51, 125-134.

CAMPBELL, A. G., FOLK, R. L., TRIPEPI, R. R., 1997. Wood ash as an amendment in municipal sludge and yard waste composting process. *Compost Science and Utilization* 5, 62-73.

COLÓN, J., MARTÍNEZ-BLANCO, J., GABARRELL, X., ARTOLA, A., SÁNCHEZ, A., RIERADEVALL, J., FONT, X., 2010. Environmental assessment of home composting. *Resources, Conservation and Recycling* 54, 893-904.

ČSN EN 13037. *Půdní melioranty a stimulanty růstu – Stanovení pH*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 12 s.

ČSN EN 13038: 2000. *Půdní melioranty a stimulanty růstu – Stanovení elektrické konduktivity*. Praha: Český normalizační institut, 2000. 12 s.

ČSN EN 13040: 2008. *Půdní melioranty a stimulanty růstu – Příprava vzorků pro chemické a fyzikální zkoušky, stanovení obsahu sušiny, vlhkosti a objemové hmotnosti laboratorně zhutnělého vzorku*. Praha, 2008. 20 s.

DIAZ, L. F., BERTOLDI, M., BIDLINGMAIER, W., STENTIFORD, E., 2007. *Compost Science and Technology*. Oxford, počet stran 364.

FANG, M., WONG, J., W., C., MA, K., K., WONG, M., H., 1999. Co-composting of sewage sludge and coal fly ash: nutrient transformation. *Bioresource Technology* 67, 19-24.

French village Pince to hand out chickens to cut waste, 28.03.2012. BBC News. Dostupné na: <http://www.bbc.co.uk/news/world-europe-17540287>

GREBUS, M., E., WATSON, M., E., HOITINK, H., A., J., 1994. Biological, Chemical and Physical Properties of Composted Yard Trimmings as Indicators of Maturity and Plant Disease Suppression. *Compost Science and Utilization* 1 (2), 57-71.

GUERRA-RODRÍGUEZ, E., VÁZGUEZ, M., DÍAZ-RAVIÑA, M., 2003. Dynamics of the co-composting of barley waste with liquid poultry manure. *J. Sci. Food Agric.*, 83, 166–172.

HANSEN T., L., JANSEN, K., C., SPLIID, H., DAVIDSSON, Å., CHRISTENSEN, T., H., 2007. Composting of source-sorted municipal organic waste collected in Danish cities. *Waste Management* 27, 510-518.

HENDL, J., 2004. *Přehled statistických metod zpracování dat*. Praha: Portál.

HIMANEN, M., HÄNNINEN, K., 2009. Effect of commercial mineral-based additives on composting and compost quality. *Waste Management* 29, 2265-2273.

HIMANEN, M., HÄNNINEN, K., 2011. Composting of bio-waste, aerobic and anaerobic sludges – Effect of feedstock on the process and quality of compost. *Bioresource Technology* 102, 2842-2852.

HŘEBÍČEK, Jiří: Prognóza nakládání s biodegradabilním odpadem v ČR do roku 2020. *Biom.cz* [online]. 2009-05-13 [cit. 2013-10-01]. Dostupné z WWW:

<<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/prognoza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020>>. ISSN: 1801-2655.

IQBAL M., K., SHAFIG, T., HUSSAIN, A., AHMED, K., 2010. Effect of enrichment on chemical properties of MSW kompost. *Bioresource Technology* 101, 5969-5977.

JELÍNEK, A., KOLLÁROVÁ, M. Monitorování průběhu kompostovacího procesu. Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha, Česká republika. Dostupné na: <http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/clanky/zivotniprostredi/0412kompomonitor.pdf?menuid=159>

JOHNSON, L., NILSSON, S., I., JENNISCHE, P., 2005. Desk study to assess the feasibility of a draft horizontal standard for electrical conductivity. Literární review. Dostupné na: http://www.ecn.nl/docs/society/horizontal/hor15_ph.pdf

JVANDERGHEYNST, J., S., PETTYGROVE, S., DOOLEY, T., M., ARNOLD, K. A., 2004. Estimating Electrical Conductivity of Compost Extracts At Different Extraction Ratios. *Compost Science & Utilization*, Vol. 12, No. 3., 202-207.

KALAMDHAD, A., S., KAZMI, A., A., 2009. Effects of turning frequency on compost stability and some chemical characteristics in a rotary drum composter. *Chemosphere* 74, 1327-1334.

KARPÁLEK F., 2000. *Základy bakteriologie*. Nakladatelství Karolinum, Univerzita Karlova v Praze, Praha, počet stran: 241.

KHALIL, A., DOMEIZEL, M., PRUDENT, P., 2008. Monitoring of green waste composting process based on redox potential. *Bioresource Technology* 99, 6037-6045.

KOIVULA, N., RÄIKKÖNEN, T., URPILAINEN, S., RANTA, J., HÄNNINEN, K., 2004. Ash in composting of source-separated catering waste. *Bioresource Technology* 93, 291-299.

KOLLÁROVÁ M., PLÍVA, P., JELÍNEK, A., ČEŠPIVA, M., 2004. Vliv biotechnologických přípravků na průběh kompostovacího procesu a produkci plyných emisí z kompostovacího procesu. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, Česká republika.

KORHONEN, A, 2006. Comparative test of compost accelerators. Työtehoseuran raportteja ja oppaita 29 [ve finštině, abstrakt v anglickém jazyce]. Dostupné na: <http://www.tts.fi/tts/julkaisut/files/tr29.pdf>

LANIER HICKMAN, H., 2003. *American alchemy: the history of solid waste management in the United States*. ForesterPress, Santa Barbara, Kalifornie, počet stran: 597.

LASARIDI, K., PROTOPAPA, I., KOTSOU, M., PILIDIS, G., MANIOS, T., KYRIACOU, A., 2006. Quality assessment of compost in the Greek market: The need for standards and quality assurance. *Journal of Environmental Management* 80, 58-65.

LAU, S., S., S., FANG, M., WONG, J., V., C., 2001. Effects of Composting Process and Fly Ash Amendment on Phytotoxicity of Sewage Sludge. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology* 40, 184-191.

LÓPEZ M., SOLIVA, M., MARTÍNEZ-FARRÉ, F., X., FERNÁNDEZ, M., HUERTA-PUJOL, O., 2010. Evaluation of MSW organic fraction for composting: Separate collection or mechanical sorting. *Resources, Conservation and Recycling* 54, 222-228.

MAHMOUD E., EL-KADER, N., A., ROBIN, P., AKKAL-CORFINI N., EL-RAHMAN, L., A., 2009. Effects of Different Organic and Inorganic Fertilizers on Cucumber Yield and Some Soil Properties. *World Journal of Agricultural Sciences*, 408-414.

Podpora domácího kompostování, 09.09.2013. Oficiální webové stránky města Dvůr Králové nad Labem. Dostupné na: <http://www.mudk.cz/cz/mesto/zivotni-prostredi/cista-obec/podpora-domaciho-kompostovani-mate-zajem-o-komposter/>

PAPADIMITRIOU, E., K., CHATJIPAVLIDIS, I., BALIS, C., 1997. Application of composting to olive mill wastewater treatment. *Environmental Technology* 18, 101-107.

PLÍVA, P., JELÍNEK, A., DĚDINA, M., 2011. Kompostování odpadní biomasy při využití různých startovacích přípravků a při různé skladbě kompostované zakládky. Výzkumný ústav zemědělské techniky, Praha, Česká republika.

RICHARD T., L., HAMELERS, H., V., M., VEEKEN, A., SILVA, T., 2002. Moisture relationships in composting processes. *Compost Science & Utilization*, Vol. 10, No. 4, 286-302.

RYNK R., 1992. *On-Farm Composting Handbook*. Northeast Regional Agricultural Engineering Service Pub. No. 54. Cooperative Extension Service. Ithaca, N.Y. 1992

SÁNCHEZ-MONEDERO, M., A., URPILAINEN, S. T., CABAÑAS-VARGAS, D., D., KAMILAKI, A., STENTIFORD, E., I., 2002. Assessing the stability and maturity of compost at large-scale plants. Dostupné na: <http://www.bvsde.paho.org/bvsaidis/mexico26/xii-iv-001.pdf>

SPIERSE, T., M., FIETJE, G., 2000. Green waste compost as a component in soilless growing media. *Compost Science and Utilization* 8, 19-23.

STEJSKAL, B., TOMAN, F., DIVIŠ, J., KNOTEK., J., 2012. Sledování pH a konduktivity kompostu z kompostárny CMC Náměšť, a.s. *ACTA ENVIRONMENTALICA UNIVERSITATIS COMENIANAE*, Vol. 20, Suppl. 1, 115-118

THOMPSON, W., LEEGE, P., MILNER, P., WATSON, M., 2002. *Test Methods for the Examinations of Compost and Composting*. The US Composting Council, US Government Printing Office.

TOGNETTI, C., MAZZARINO, M., J., LAOS, F., 2007. Improving the quality of municipal organic waste kompost. *Biorsource Technology* 98, 1067-1076.

TURAN N., G., ERGUN, O., S., 2008. Improving the Quality of Municipal Solid Waste Compost Using Expanded Perlite and Natural Zeolite. *Clean – Soil, Air, Water* 36, 330-334.

VODRÁŽKA Z., 2007: *Biochemie*. Nakladatelství Academia, Praha. Počet stran 506.

WATSON M., E. Testing Compost. The Ohio State University. Dostupné na: <http://ohioline.osu.edu/anr-fact/0015.html>

WONG, J. V. C., FANG, M., 2000. Effects of lime addition on sewage sludge composting process. *Water Research* 34, 3691-3698.

ZUENG-SANG, CH., BEJOSANO-GLORIA, CH., 2005. Compost production: a manual for Asian farmers. Food and Fertilizer Technology Center for the Asian and Pacific Region, počet stran: 73.

8 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v první etapě pokusu.....	49
Tab. 2: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v druhé etapě pokusu.....	53
Tab. 3: Vliv kompostovacích aditiv a koncentrací přípravku ProBio ORIGINAL™ na hodnotu pH kompostovaného materiálu.....	57
Tab. 4: Vliv kompostovacích aditiv na hodnotu EC (mS.cm ⁻¹).....	59
Tab. 5: Maximální množství kompostu (l.m ⁻²) aplikovatelného na půdu pro sensitivní a tolerantní rostliny v závislosti na hodnotě EC.....	62
Tab. 6: Změny koncentrace živin průběhu pokusu v závislosti na koncentraci přípravku ProBio ORIGINAL™.....	70
Tab. 7: Změny koncentrace živin v průběhu druhé etapy pokusu v závislosti na použitém aditivu.....	71
Tab. 8: Průměrné ceny, doporučené dávky a ceny přípravku na 1 m ³ kompostovaného materiálu použitých kompostovacích aditiv.....	73

9 SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: Produkce KO (tis. Mg) a množství biologicky rozložitelných odpadů (tis. Mg.) zpracovaných kompostováním v ČR v letech 2007-2011.....	12
Graf 2: Způsoby nakládání s odpady v ČR v letech 2007-2011.....	13
Graf 3: Množství BRKO vyprodukovaného v roce 1995 (tis. Mg), skutečné množství vyprodukovaného BRKO (tis. Mg.) v letech 2008-2008 a teoretické hodnoty množství BRKO ukládaného na skládky KO v letech 2010, 2013 a 2020 (tis. Mg)	14
Graf 4: Průběh teplot v pokusných zakládkách od 07.07.2010 do 02.10.2010.....	49
Graf 5: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů v první etapě pokusu.....	50
Graf 6: Průběh teplot v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011.....	52
Graf 7: Průměrné teploty (°C) v zakládkách kompostérů ve druhé etapě pokusu.....	53
Graf 8: Průběh pH v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011.....	55
Graf 9: Průměrné hodnoty pH v pokusných zakládkách.....	57
Graf 10: Průběh hodnot EC (mS.cm ⁻¹) v pokusných zakládkách od 15.06.2011 do 01.09.2011.....	59
Graf 11: Průměrné hodnoty EC (mS.cm ⁻¹) v pokusných zakládkách.....	60
Graf 12: Vztah mezi teplotou (°C) a koncentrací O ₂ v zakládkách pokusných kompostérů v závislosti na aditivu (a) a průměrné koncentrace O ₂ v zakládkách.....	64
Graf 13: Průběh změny objemu kompostovaného materiálu v první etapě pokusu.....	67

Graf 14: Průběh změny objemu ve druhé etapě pokusu.....68

10 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Prekurzory ligninu: a) p-kumaryl alkohol, b) koniferyl alkohol, c) sinaperyl alkohol.....	38
Obr. 2: Zobrazení místa měření teploty v zakládce.....	42
Obr. 3: Soustava pro měření koncentrace O ₂ v pokusných kompostovacích zakládkách.....	43
Obr. 4: Vzorek kompostu – okamžik saturace.....	44
Obr. 5: Měření pH.....	44
Obr. 6: Schematický popis kompostovacího procesu.....	66
Obr. 7: Pokusné kompostéry.....	98

11 PŘÍLOHY

Výsledky chemické analýzy



LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722

zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 5584/2010



L 1147

Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ustav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: rostlina

Datum příjmu: 1.7.2010
Odběr provedl: Zákazník

Datum ukončení analýzy: 12.7.2010

Č. vzorku B5052
Označení vzorku rostlinný materiál

Parametr	jednotka	č.vzorku:		Identifikace zkušební metody	Akr
		B5052	NM		
Sušina původního vzorku (105°C)	%	18,37	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Sušina laboratorního vzorku (105°C)	%	92,98	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Spalitelné látky	% suš.	85,2	10%	GRA 04A: ČSN EN 12879, ČSN 465735	A
celkový dusík	% suš.	2,78	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
C:N		15,3		Výpočet: ČSN 465735	N
Vápník	mg/kg suš.	16800	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg suš.	2840	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg suš.	30000	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg suš.	3390	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Kadmium	mg/kg suš.	<0,29		ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Měď	mg/kg suš.	11,8	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Olovo	mg/kg suš.	<2,93		ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Zinek	mg/kg suš.	60,4	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Rtuť	mg/kg suš.	0,0258	20%	AAS 06-07: ČSN 757440	A

Poznámka:

Pro stanovení kovů byl vzorek po spálení v peci při 450°C mineralizován kyselinou dusičnou.
Sušina lab. vzorku byla stanovena po vysušení a rozemletí vzorku, neodpovídá sušině původního vzorku.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilitním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
26.7.2010



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147



L 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8510/2010

Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: nezařazen

Datum příjmu: 18.10.2010
Odběr provedl: Zákazník

Datum ukončení analýzy: 25.10.2010

Č. vzorku **Označení vzorku**
B8395 rostlinný materiál, vzorek č. 1

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8395	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	25,68	10%	GRA 03A:ČSN 720102	A
Sušina laboratorního vzorku (105°C)	%	92,38	10%	GRA 03A:ČSN 720102	A
Spalitelné látky	% suš.	65,7	10%	GRA 04A:ČSN EN 12879, ČSN 465735	A
Dusík celkový	% suš.	3,89	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
pH		7,65		ECH 01B: ČSN 465735	A
C:N		8,44		Výpočet: ČSN 465735	N
Vápník	mg/kg suš.	34900	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg suš.	6450	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg suš.	37200	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg suš.	7570	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení kovů byl vzorek extrahován lučavkou královskou dle ISO 11466.
Sušina lab. vzorku byla stanovena po vysušení a rozemletí vzorku, neodpovídá sušině původního vzorku.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezí stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
29.10.2010



Kle
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: nezařazen

Datum příjmu: 18.10.2010
Odběr provedl: Zákazník

Datum ukončení analýzy: 25.10.2010

Č. vzorku **Označení vzorku**
B8397 rostlinný materiál, vzorek č. 3

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8397	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	34,86	10%	GRA 03A:ČSN 720102	A
Sušina laboratorního vzorku (105°C)	%	93,93	10%	GRA 03A:ČSN 720102	A
Spalitelné látky	% suš.	45,5	10%	GRA 04A:ČSN EN 12879, ČSN 465735	A
Dusík celkový	% suš.	2,58	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
pH		8,25		ECH 01B: ČSN 465735	A
C:N		8,82		Výpočet: ČSN 465735	N
Vápník	mg/kg suš.	45400	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg suš.	7010	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg suš.	27000	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg suš.	6820	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení kovů byl vzorek extrahován lučavkou královskou dle ISO 11466.
Sušina lab. vzorku byla stanovena po vysušení a rozemletí vzorku, neodpovídá sušině původního vzorku.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezí stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.
Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilitním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
29.10.2010


ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: nezařazen

Datum příjmu: 18.10.2010
Odběr provedl: Zákazník

Datum ukončení analýzy: 25.10.2010

Č. vzorku B8398
Označení vzorku rostlinný materiál, vzorek č. 4

Parametr	jednotka	č.vzorku:		Identifikace zkušební metody	Akr
		B8398	NM		
Sušina původního vzorku (105°C)	%	34,59	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Sušina laboratorního vzorku (105°C)	%	72,25	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Spalitelné látky	% suš.	41,1	10%	GRA 04A: ČSN EN 12879, ČSN 465735	A
Dusík celkový	% suš.	2,52	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
pH		9,07		ECH 01B: ČSN 465735	A
C:N		8,15		Výpočet: ČSN 465735	N
Vápník	mg/kg suš.	49400	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hofčík	mg/kg suš.	8410	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg suš.	40100	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg suš.	8560	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení kovů byl vzorek extrahován lučavkou královskou dle ISO 11466.
Sušina lab. vzorku byla stanovena po vysušení a rozemletí vzorku, neodpovídá sušině původního vzorku.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace: "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
29.10.2010



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
 Ústav aplikované a krajinné ekologie
 Zemědělská 1
 613 00 Brno

Analyzovaný materiál: nezařazen

Datum příjmu: 18.10.2010
Odběr provedl: Zákazník

Datum ukončení analýzy: 25.10.2010

Č. vzorku B8399
Označení vzorku rostlinný materiál, vzorek č. 5

Parametr	jednotka	č.vzorku:		Identifikace zkušební metody	Akr
		B8399	NM		
Sušina původního vzorku (105°C)	%	21,36	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Sušina laboratorního vzorku (105°C)	%	92,44	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Spalitelné látky	% suš.	69,2	10%	GRA 04A: ČSN EN 12879, ČSN 465735	A
Dusík celkový	% suš.	3,04	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
pH		7,08		ECH 01B: ČSN 465735	A
C:N		11,4		Výpočet: ČSN 465735	N
Vápník	mg/kg suš.	35200	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg suš.	5400	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg suš.	28600	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg suš.	7550	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení kovů byl vzorek extrahován lučavkou královskou dle ISO 11466.
 Sušina lab. vzorku byla stanovena po vysušení a rozemletí vzorku, neodpovídá sušině původního vzorku.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
 Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
 Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
 29.10.2010



Kleclová
 ing. Renata Kleclová
 vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8349/2011



Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku **Označení vzorku**

B8388 vzorek č. 8

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8388	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	29,68	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	34700	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	8930	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg	1690	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	15700	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	2240	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8348/2011



Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku Označení vzorku

B8387 vzorek č. 7

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8387	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	39,14	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	34200	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	10300	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg	2450	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	26500	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	3040	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8346/2011



Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku **Označení vzorku**
B8385 vzorek č. 5

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8385	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	39,64	10%	GRA 03A: ČSN 720 102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	29200	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	8810	20%	JCP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg	1810	20%	JCP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	29800	20%	JCP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	2620	20%	JCP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8344/2011



Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku **Označení vzorku**
B8383 vzorek č. 3

Parametr	jednotka	č.vzorku:		Identifikace zkušební metody	Akr
		B8383	NM		
Sušina původního vzorku (105°C)	%	27,80	10%	GIRA 03A:ČSN 720102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	32600	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	10200	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Hofčik	mg/kg	1980	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	15900	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	2550	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření k=2 a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Keery
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8345/2011



L 1147

Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ustav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku Označení vzorku

B8384 vzorek č. 4

Parametr	jednotka	č.vzorku: B8384	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Sušina původního vzorku (105°C)	%	21,67	10%	GRA 03A: ČSN 720102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	33900	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	10200	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Hořčík	mg/kg	2020	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	23100	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	2660	20%	ICP 04A: ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezi stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.

Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.

Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Renata Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

LABTECH s.r.o., Polní 23/340, 639 00 BRNO, tel.: 511 110 722



zkušební laboratoř akreditovaná ČIA č. 1147

PROTOKOL O ZKOUŠCE č. B 8347/2011



Strana: 1
Stran celkem: 1

Zákazník: Mendelova univerzita v Brně
Ústav aplikované a krajinné ekologie
Zemědělská 1
613 00 Brno

Analyzovaný materiál: kompost

Datum příjmu: 25.10.2011

Datum ukončení analýzy: 1.11.2011

Odběr provedl: Zákazník

Č. vzorku Označení vzorku

B8386 vzorek č. 6

Parametr	jednotka	č.vzorku:		Identifikace zkušební metody	Akr
		B8386	NM		
Sušina původního vzorku (105°C)	%	36,47	10%	GRA 03A:ČSN 720102	A
Dusík celkový	mg/kg suš.	18600	10%	VOL 11A: ČSN 465735, ČSN EN 13342	A
Vápník	mg/kg	10800	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Hofčik	mg/kg	1560	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Draslík	mg/kg	12500	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A
Fosfor celkový	mg/kg	2280	20%	ICP 04A:ČSN EN ISO 11885	A

Poznámka:

Pro stanovení obsahu živin (P,K) a kovů byl vzorek vyloučen metodou dle Mehlich III.

Nejistota měření (NM) je definována jako rozšířená nejistota měření na hladině významnosti 95% s koeficientem rozšíření $k=2$ a nezahrnuje nejistotu odběru. Nejistota je vyjádřena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledků pod spodní a nad horní mezí stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní operační postupy (SOP). Zkoušky s uděleným flexibilním rozsahem akreditace jsou označeny FRA 1 (typ 1) a FRA 2 (typ 2). Akreditované zkoušky provedené v jiné laboratoři jako subdodávky jsou označeny SA, neakreditované SN.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených předmětů uvedených výše.
Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, např. správního charakteru a státního odborného dozoru.
Tento protokol může být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laboratoře.

Protokol vystaven:
3.11.2011



Kleclová
ing. Renata Kleclová
vedoucí Zkušební laboratoře Brno

Obr. 7: Pokusné kompostéry.

