

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

ZJIŠŤOVÁNÍ A POROVNÁVÁNÍ STABILITY KOMPOSTU
POMOCÍ RESPIROMETRU PRO RŮZNÉ TYPY ZAKLÁDEK

Vedoucí diplomové práce: **doc., RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.**

Odborný konzultant práce: **doc., Ing. Antonín Jelínek, CSc.**

Autor diplomové práce: **Bc. Vojtěch Ondráček**

České Budějovice, 2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Vojtěch ONDRÁČEK**
Osobní číslo: **Z12753**
Studijní program: **N4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Agroekologie**
Název tématu: **Zjišťování a porovnávání stability kompostu pomocí respirometru pro různé typy zakládek**
Zadávací katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

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

Cíl práce:

Cílem práce bude porovnat vliv složení zakládek při využití nového respirometru univerzity v jednotlivých fázích výroby při sledování průběhu teplot a času s ohledem na nevhodnější způsob zajištění organické hmoty.


Metodický postup:

1. Sestavit literární přehled o možnostech zjišťování stability organické hmoty v kompostu a nejčastější způsoby její výroby.
2. Sestavit metodiku složení zakládky, měření teplot a měření stability kompostu pro vytvořené komposty.
3. Popsat průběh měření stability kompostu pomocí respirometru.
4. Popsat složení zakládky kompostu.
5. Provést měření stability ve všech fázích výroby kompostu.
6. Zpracovat naměřené výsledky a doporučit nejvhodnější způsob složení kompostu s ohledem na jeho následnou stabilitu.

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 50 stran**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**
Seznam odborné literatury:

Sborník z 2 mezinárodní konference- Biologicky rozložitelné odpady, jejich zpracování a využití v zemědělské a komunální praxi. 25-26.4.2006, Hrotovice. Vydala ZERA-Náměšť nad Oslavou ISBN 80-903548-1-5;
Plíva, P. a kol.: Technika pro kompostování v pásových hromadách. VÚZT, Praha, 2005. ISBN 80-86884-02-3;
Jelínek, A. a kolektiv autorů: Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním kompostováním. VÚZT, Praha, 2002. ISBN 80-238-9749-7.

Vedoucí diplomové práce: **doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky
Konzultant diplomové práce: **doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.**
VÚZT Praha, v.v.i
Datum zadání diplomové práce: **28. ledna 2014**
Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2014**


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

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13 ④
370 05 České Budějovice

L.S.


doc. RNDr. Petr Bartoš, Ph.D.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 20. února 2014

PROHLÁŠENÍ

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

V Českých Budějovicích dne

vlastnoruční podpis autora

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji doc., RNDr. Petru Bartošovi, Ph.D. za vytvoření vhodného pracovního prostředí a ochotu při řešení organizačních záležitostí, dále doc., Ing. Antonínu Jelínkovi, CSc. za odborné vedení při zpracovávání diplomové práce, konzultace, jeho připomínky a návrhy. Též oceňuji spolupráci s Ing. Václavem Vávrou, Ph.D. a Miroslavem Zemanem při získávání údajů pro výzkumnou část práce. Nakonec bych chtěl poděkovat rodině, která mi byla oporou a měla pochopení při magisterském studiu a zpracování diplomové práce.

Abstrakt

Cílem této práce bylo ověřit vhodnost respirometru Ramko 2 pro měření biologické stability v průběhu kompostování v podmínkách katedry zemědělské techniky. Za tímto účelem byly založeny čtyři zakládky s obdobným složením a na nichž se měřila teplota a DRI během všech fází kompostování. Ze zaznamenaných dat byly vytvořeny grafy obou průběhů jednotlivých zakládek a jejich vzájemné porovnání. Z výsledků se posoudila vhodnost pro ověřování biologické stability.

The aim of this work was to verify the suitability of the device Ramko 2 for measuring the biological stability during the composting in terms of the Department of Agricultural Engineering. For this purpose were based four piles four piles with a similar composition and on which were measured temperature and DRI during all stages of composting. From the recorded data was created graphs both processes individual piles and compared with each other. From results assess the suitability for the authentication of biological stability.

Klíčová slova: biologická stabilita, respirometr, kompostování.

Keywords: biological stability, respirometer, composting.

Obsah

1	Úvod.....	8
2	Literární přehled.....	9
2.1	Kompostování	9
2.1.1	Vliv zakládky na kompostování.....	10
2.1.2	Vliv vývoje teploty na průběh kompostování.....	12
2.2	Biologická stabilita	14
2.2.1	Význam stability v praxi.....	14
2.2.2	Metody stanovení biologické stability	15
2.2.3	Popis vybraných metod stanovení stability kompostu.....	16
2.3	Přístroje pro měření množství spotřebovaného kyslíku.....	24
2.3.1	Analytické přístroje firmy Costech	24
2.3.2	CORAMEX RAMKO 2 – adiabatický měřič koncentrace O ₂	26
2.4	Agroekologický aspekt kompostování.....	27
2.4.1	Význam kompostu v managementu obdělávání půd	27
3	Cíl práce	29
4	Metodiky měření.....	30
4.1	Metodika zakládání kompostu	30
4.2	Metodika stanovení vlhkosti kompostu	30
4.3	Metodika stanovení spalitelných látek.....	31
4.4	Metodika měření teploty kompostu	31
4.5	Metodika měření stability kompostu	32
5	Měření kompostů a jejich parametry	34
5.1	Přípravné měření.....	34
5.2	Harmonogram měření	34
5.3	Složení zakládek	35
5.4	Odběry vzorků	36
6	Výsledky a zjištěné parametry	40
6.1	Měření teploty.....	40
6.1.1	Tabulkové zpracování.....	40
6.1.2	Grafické zpracování	42
6.2	Měření vlhkosti	45
6.3	Měření stability	46
6.3.1	Zakládka č. 1	47
6.3.2	Zakládka č. 2	49
6.3.3	Zakládka č. 3	51
6.3.4	Zakládka č. 4.....	53
7	Diskuse a závěr	55
7.1	Diskuse.....	55
7.1.1	Zakládky č. 1 a č. 2	55
7.1.2	Zakládky č. 3 a č. 4	56
7.2	Závěr	59
8	Seznam použité literatury	61
9	Přílohy.....	65

1 Úvod

Výroba kompostu je hlavně chápána jako možnost přetvářet biologicky rozložitelné suroviny (odpady) na kvalitní hnojivo. Současný světový trend, částečně pak i v naší republice, však posuzuje kompostování nejen z hlediska „hnojivářského“, ale i z pohledu vhodné přeměny biologicky rozložitelných odpadů na dále využitelné a pro životní prostředí přijatelné suroviny. (Kalina, 1999)

Úrodnost půdy závisí na obsahu trvalého humusu, který příznivě ovlivňuje vlastnosti půdy důležité pro získání rostlinné produkce. v dobrém fyzikálním, chemickém a biologickém stavu může být půda jen s odpovídajícím množstvím humusových látek. Zvýšení obsahu humusu v půdě je možné pravidelným organickým hnojením. Jde ale o opatření dlouhodobé, neboť jen menší část dodaných organických látek se v půdním prostředí přemění v trvalý humus. Humus je možno připravit i mimo půdní prostředí v kompostech. Při kompostování probíhá přeměna organických látek stejným způsobem jako v půdě, ale můžeme ji technologicky ovládat a získat co největší množství humusu v nejkratším čase. Vyzrálým kompostem dodáváme do půdy již připravený humus, čímž se proces obnovy půdní úrodnosti značně urychlí. (Váňa, 1997)

Dnes jsou zemědělci stále více tlačeni, aby omezili používání pesticidů a začlenili do své výroby nějaký způsob udržitelné ochrany půdy a zajistili vyšší kvalitu plodin. Organické přípravky mohou zlepšit zdraví půdy, působit jako prevence, kontrola a účinný prostředek při potlačování škůdců a nemocí. (ADANI, HABART, 2003)

Je tedy nutné, abychom mohli přesně definovat a stanovit biologickou stabilitu. Ta oceňuje stupeň degradace organické hmoty. Stanovuje aktuální míru, které bylo dosaženo během dekompozičních procesů a reprezentuje hodnotu známé stupnice, což umožňuje tyto dekompoziční procesy srovnávat (Lasaridi and Stentiford, 1996). Je důležité znát stupeň stability organických látek nejen během aerobních biologických procesů, ale také u finálních výrobků, aby bylo možné kontrolovat efektivitu těchto procesů, ohodnotit použitelnost finálních výrobků a také optimalizovat technologii jednotlivých zařízení. (Lasaridi and Stentiford, 1998). Dosažením dobré stability lze také potlačit výskyt chorob rostlin (Iannotti et al., 1993; Müller et al., 1998).

2 Literární přehled

2.1 Kompostování

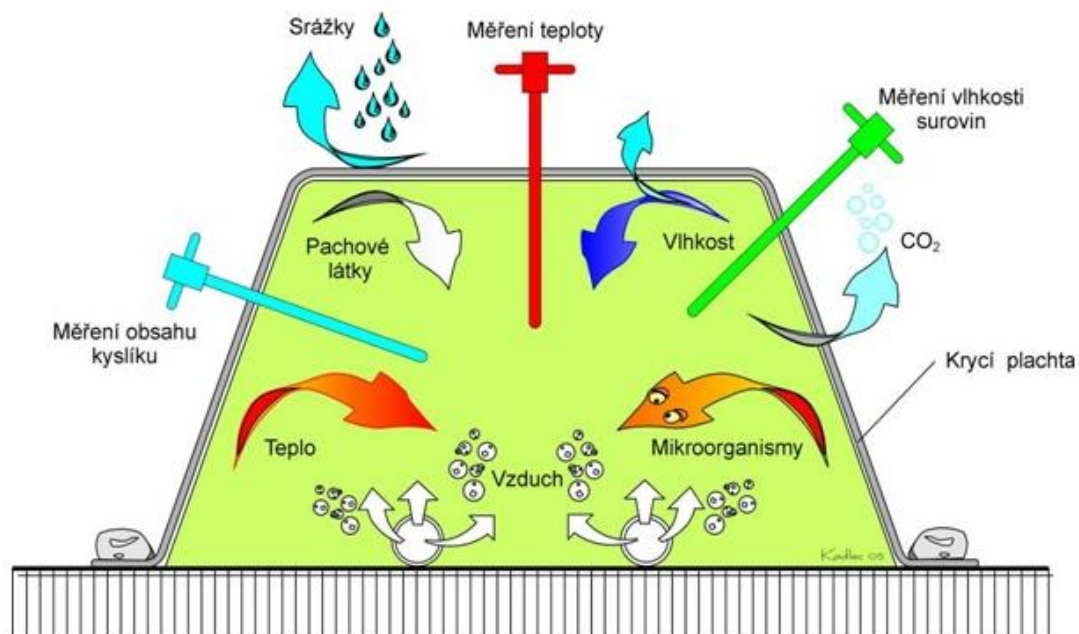
Kompostování je způsob využití biodegradabilních odpadů k výrobě organického hnojiva - kompostu. Přeměnu organické hmoty odpadů na humusové složky při kompostování zabezpečují převážně aerobní mikroorganismy. Jde o analogické procesy jako při přeměně organické hmoty v přírodním prostředí. Úvodní fáze rozkladu polysacharidů, bílkovin a tuků obsažených v odpadech je provázána uvolňováním tepla a zahříváním zrajícího kompostu na teplotu 50 - 65°C. V této fázi se uplatňují též termofilní houby, rozkládající lignocelulózové hmoty. Při těchto hydrolyzáčních procesech se výrazně zvyšuje kyselost substrátu hromaděním organických kyselin. Tato fáze trvá zpravidla 2 - 3 týdny, ale u kompostu s velkým podílem dřevní štěpky až 2 měsíce. (Váňa, 2002)

V následující fázi přeměny teplota klesá na 40 - 45°C, mění se složení mikroorganismů, vznikají humusové látky a ve zrajícím kompostu nelze již poznat původní odpady. V následující fázi dozrávání kompost získává hnědou barvu, molekulární váha humusových látek se zvyšuje a kyselost substrátu klesá. Kompost dosahuje zralosti a přestává být fyto toxický. (Váňa, 2002)

Kvalitní kompost lze vyrobit již za několik týdnů podle druhu použitých komponentů a jejich úpravy. Hlavními vodítky jsou obsah vody, velikost částic, provzdušnění, poměr C : N, popřípadě C : P. Zásada vrstvení – na spod v základce hrubý materiál se širokým poměrem C : N (dřevní či korní štěpka, nebo řezanka z papíru či slámy, sena) pak jemný (travní drť, zelená tráva, seno, slupky brambor, zeleniny a ovoce, zbytky čajů, kávy, odpadky z kuchyně a jídel), střídat vlhký a suchý navzájem. Maximální velikost částic má být 10 cm (vhodné jsou různé drtiče). Vhodné je v první várce přidat urychlovač zrání nebo malé množství vyzrálého kompostu. (Huleš, 2007)

Pro zajištění optimálního průběhu komponovacího procesu je nutné monitorovat určité fyzikálně-chemické, mikrobiologické a chemické vlastnosti zpracovávaných surovin, resp. kompostu, aby na základě znalosti jejich současných hodnot bylo možné v případě jejich odchýlení od hodnot optimálních provést vhodný zásah. Znalost těchto hodnot je důležitá i pro ukončení komponovacího procesu. Mezi zjišťova-

né hodnoty patří měření teploty kompostu, hodnocení vlhkosti kompostu, měření obsahu kyslíku v kompostu, stanovení stability a zralosti kompostu, mikrobiologické hodnocení kompostu a chemické a fyzikální hodnocení kompostu. (viz. obr. 2.1)



Obrázek 2.1 Monitorované hodnoty při kompostování (Paleček, 2011)

Hotový kompost je všestranné statkové hnojivo obsahující všechny druhy rostlinných živin včetně humusových a půdotvorných látek oživených edafonem. Kompost se v současné době vyrábí buď klasickým způsobem na zemědělských a kompostářských závodech, nebo procesem řízeného mikrobiálního kompostování na malých hromadách ve formě tzv. faremního kompostování. (Plíva, Jelínek, 2003)

2.1.1 Vliv zakládky na kompostování

Základním předpokladem správného kompostování je udržení přiměřené vlhkosti kompostové hromady na počátku a během celého procesu. Tato vlhkost je závislá zejména na pórovitosti zpracovávaného materiálu (čím vyšší pórovitost - tím vyšší vlhkost). Počáteční vlhkost kompostové hromady by měla být vyšší než vlhkost zralého kompostu. Pórovitost se činností mikroorganismů zmenšuje, a tím klesá i potřeba vlhkosti. Prakticky je lépe udržovat vlhkost blíže k nižší hranici potřebného rozmezí, zvýšit ji lze snadno, opačná procedura je však dosti problematická a v některých podmínkách i nemožná. Nadměrná vlhkost zabraňuje přístupu vzdušného kyslíku a aerobní fermentace přechází v anaerobní. (Macourek, 2002)

Pro stanovení surovinové skladby kompostu je podstatným kritériem poměr uhlíku (C) k dusíku (N). Poměr C:N zásadně ovlivňuje intenzitu činnosti mikroorganismů, a tím tedy i dobu zrání kompostu, tvorbu humusových látek a samozřejmě také výslednou kvalitu kompostu. Abychom dosáhli u zralého kompostu C:N v rozmezí 25 - 30:1 (vysoká stabilita a agronomická účinnost), je třeba optimalizovat C:N v čerstvém kompostu v rozmezí 30 - 35:1 (Váňa, 1997). Před započítáním kompostování je tedy potřeba zjistit druhy a množství organických hmot a odpadů, které chceme kompostovat. Dále je nutné odhadem či chemickými rozbory stanovit vlhkost, obsah organických látek jednotlivých hmot a odpadů. Minimální množství fosforu (0,2% P₂O₅ v sušině), které je potřebné k zabezpečení tvorby humusu, je většinou v odpadech a stájových hnojivech zaručeno. (Macourek, 2002)

Na základě zjištěných výše uvedených vlastností kompostovaných materiálů, lze optimalizovat surovinovou skladbu dle následujícího vztahu, nebo pomocí databázaného programu Komposter 2.

$$C:N = \frac{[\%C_1 \cdot m_1 \cdot (1-V_1)] + [\%C_2 \cdot m_2 \cdot (1-V_2)]}{[\%N_1 \cdot m_1 \cdot (1-V_1)] + [\%N_2 \cdot m_2 \cdot (1-V_2)]} \quad (2.1)$$

m_1 = celková hmotnost první suroviny [kg]

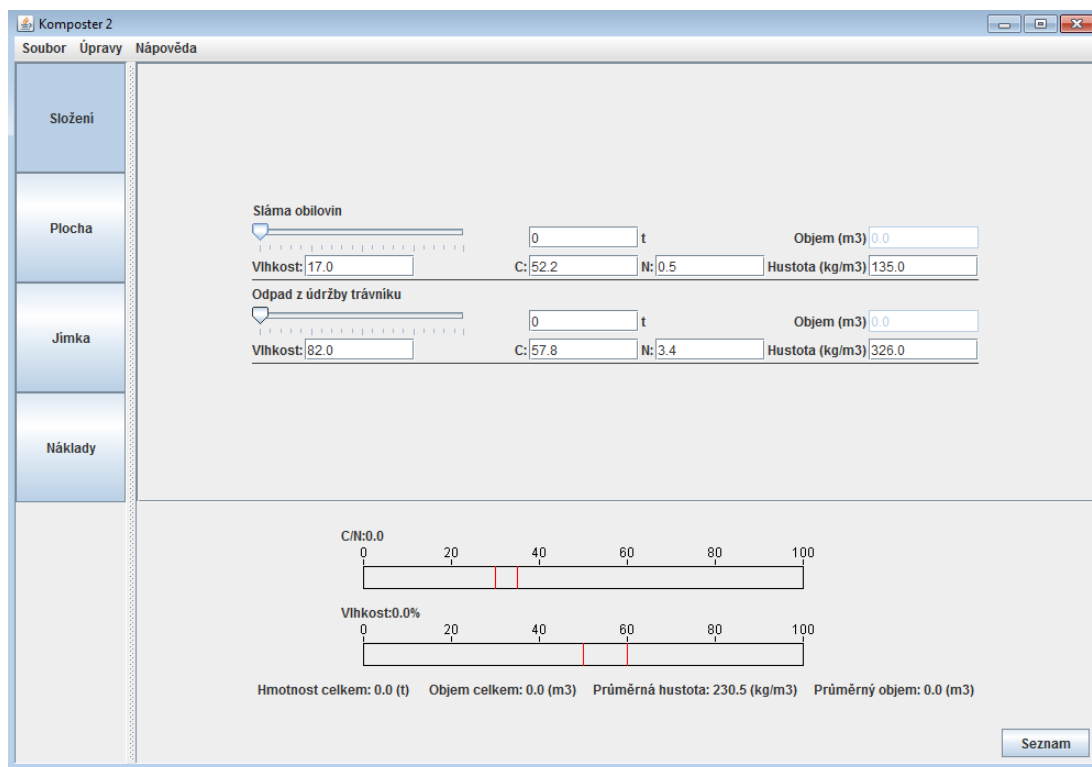
m_2 = celková hmotnost druhé suroviny [kg]

V_1, V_2 = vlhkost surovin 1,2 [%]

$\%C_1, \%C_2$ = procentuální obsahy uhlíku v sušině surovin 1, 2 [%]

$\%N_1, \%N_2$ = procentuální obsahy dusíku v sušině surovin 1, 2 [%]

(Plíva at. al., 2009)



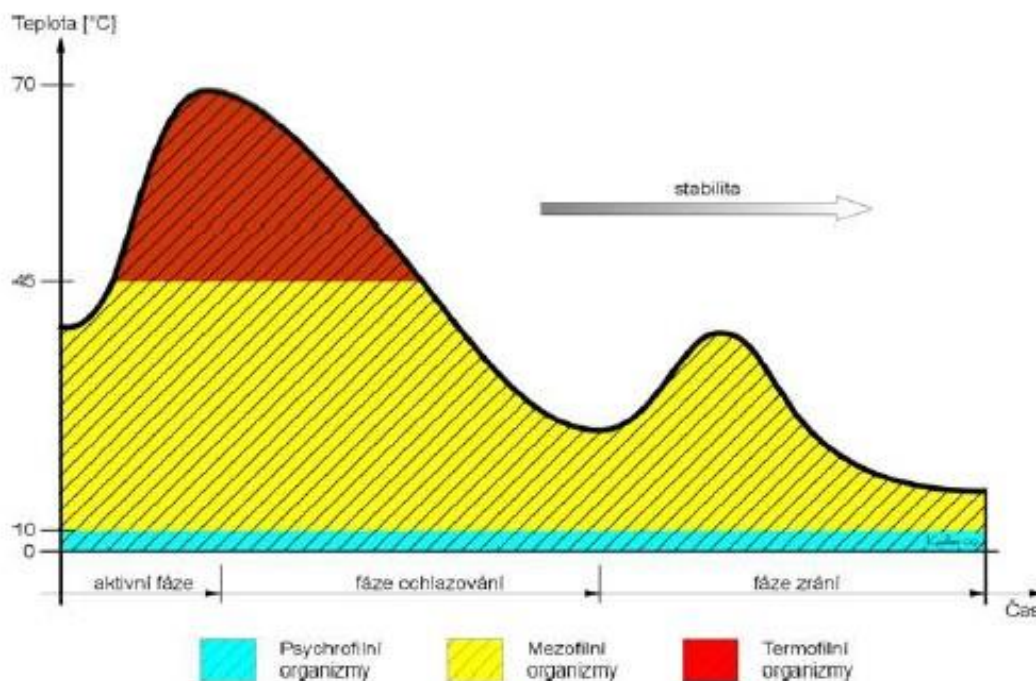
Obrázek 2.2 Komposter 2 program určený pro optimalizaci surovinové skladby

2.1.2 Vliv vývoje teploty na průběh kompostování

Pro zajištění optimálního průběhu kompostovacího procesu je nutné monitorovat určité fyzikální, mikrobiologické a chemické vlastnosti zpracovávaných surovin, resp. kompostu, aby na základě znalosti jejich současných hodnot bylo možné, v případě jejich odchýlení od optimálních hodnot, provést vhodný zásah. Mezi zjišťované veličiny patří zejména měření teploty kompostu. (Plíva, 2010)

Teplota je funkcí procesu kompostování a je možné z jejího průběhu určit dobu zralosti kompostu. Výše teploty je dána především aktivitou přítomných mikroorganismů. Průběh teplot lze rozdělit do dvou hlavních částí. První – mezofilní fáze je doprovázena teplotami v rozsahu +10 až +40 °C, druhá fáze – termofilní je charakterizována teplotami nad 40 °C. Poklesne-li teplota kompostu na úroveň teploty okolního prostředí, vypovídá to o útlumu aktivity mikroorganismů, kompost lze považovat za vyzrálý. (Roy, 2013)

Na obr. 2.3 je zobrazen průběh teploty při kompostování v pásových hromadách na volné ploše, kde jsou prováděny technologické překopávky překopávačem kompostu. Každá výrazná odchylka od tohoto trendu signalizuje odchylku od správného trendu kompostovacího procesu.



Obrázek 2.3 Optimální průběh teploty při kompostování; (Autor Amitava Roy 2013)

Na vhodnou výši teploty pro kompostování lze nahlížet ze dvou úhlů pohledu. Tím prvním je optimální teplota pro rozklad organických látek a druhým, neméně důležitým hlediskem je teplota potřebná k likvidaci lidských, živočišných a rostlinných patogenních mikroorganismů, parazitů, případně semen plevelů či larev much. Optimální teplota pro rozklad organických látek je dána především druhem surovin, neboť různé organické materiály se rozkládají při různých teplotách. Většinou je uváděno rozmezí teplot od +50 do +60 °C, někdy i širší rozsah, a to sice od +43 až +65 °C. Výše teplot potřebných k likvidaci nežádoucích patogenních mikroorganismů se liší podle jejich druhu a jsou většinou předepsány příslušnou normou (ČSN 46 5735). Obecně lze konstatovat, že k likvidaci většiny lidských, živočišných i rostlinných patogenů je třeba dosáhnout teploty 55 °C a pro zneškodnění semen plevelů 63°C. Kromě dosažení teploty je nutné zohlednit i dobu, po kterou se v průběhu kompostování teplota udrží. (Roy, 2013)

2.2 Biologická stabilita

Definice kompostu je uváděna podle normy takto: Stabilizovaná, nepáchnoucí, hnědá až černá homogenní hmota, drobtovité až hrudkovité struktury, vzniká aerobním biologickým zráním rozložitelných odpadů, bohatá na humusové látky a rostlinné živiny (ČSN 46 5735).

Z této definice lze usuzovat, že biologická stabilita patří mezi základní vlastnosti kompostů. Proto se tato kapitola literárního přehledu zaměřuje na tuto vlastnost organických materiálů a způsobů jak stabilitu určit.

Názory jednotlivých autorů se různě liší v přesné definici stability, příkladem je kolektiv autorů Adani et al.(2003) kteří uvádí, že biologická stabilita je míra, do jaké mohou látky organického původu podléhat biologickému rozkladu. Je charakterizována jako „vlastnost organických materiálů málo ubývat a zachovávat originální fyzikální a chemické vlastnosti. Pro zemědělskou praxi je nutno uvést zejména tvorbu fyto toxických látek, které vznikají při nedostatečných aerobních podmínkách. U biologicky nestabilních kompostů hrozí také opětovný nárůst patogenních mikroorganismů. Dalším nepříjemným jevem může být tvorba a únik zápašných látek.

Reichlová et al. (1996) uvádí, že stabilizace organických látek neboli zralosti kompostů není v používané normě (ČSN 46 5735) dostatečně deklarována a je v současné době velmi diskutovaný problém. Je to z důvodů neexistence vhodné expresivní metody stanovení tohoto parametru v ÚKZÚZ. Dosud jediný ukazatel zralosti je dán nejvyšší přípustnou teplotou (45°C) při expedování kompostu, která však může být také výsledkem malé vlhkosti nebo nedostatku kyslíku (tzv. fyzikální zralosti).

2.2.1 Význam stability v praxi

Pro různé účely bývá vhodný kompost odlišně zralý (stabilní)- Pokud je kompost vyroben k přímé aplikaci na zemědělskou půdu, nemusí dosahovat takové stability jako kompost, který bude prodáván zabalený v nepropustné plastové folii malospotřebitelům. Během skladování ve folii by se nedokonale zralý kompost dál rozkládal a bez přístupu vzduchu by začal plesnivět, popř. zapáchat. (Plíva at. al., 2006)

V Rakousku a Německu je stabilita používána také jako kritérium, které rozhoduje o tom, zda je možné biologické odpady uložit na skládky či nikoli. Skládkovat lze totiž pouze odpady, které mají vysokou stabilitu a nehrozí u nich další rozklad v tělese skládky, který je nežádoucí. (Plíva at. al., 2006)

Z praxe je ověřeno, že nestabilní suroviny:

- Při nesprávném skladování samovolně zapáchají
- Vytvářejí látky jedovaté pro rostliny, na což jsou citlivé zvláště mladé a klíčící rostliny
- Rychleji uvolňují živiny
- Podporují opětovný rozvoj patogenních mikroorganismů (součástí požadavků na hygienizaci kompostů by tedy měla být také jeho stabilita)

Stabilní (zralé) komposty mají tyto vlastnosti:

- Živiny uvolňují pozvolna, působí i v dalších letech po aplikaci do půdy,
- Díky obsahu humusových látek mají výraznější pozitivní vliv na kvalitu půdy a obsah organické hmoty
- Jsou schopny sorbovat jiné látky a tak optimalizovat složení půdního roztoku,
- I při dlouhodobém skladování bez přístupu vzduchu nezapáchají

2.2.2 Metody stanovení biologické stability

Existuje mnoho metod pro stanovení stability a zralosti kompostu. V této kapitole budou vypsány bodově všechny metody a blíže popsány pouze některé z nich.

Metody stanovení biologické stability

1. Respirační a amonifikační testy
2. index fytoxicity (biozkouška, index klíčivosti semen)
3. Samozáhřevný test
4. Poměr humínových kyselin a fulvokyselin
5. Stanovení obsahu celkového organického uhlíku (TOC), obsahu škrobu, teploty a vlhkosti

6. Zvýšení pH (H₂O)
7. index biochemické stability (ISB)
8. snížení pórovitosti
9. pokles objemu stlačením (volume loss giving compaction)
10. Syntéza nových sloučenin a jejich fytoxicita (případně stimulační efekt)

Další autoři uvádí tyto charakteristiky biologické stability

11. SOUR (Lasaridi and Stantiford, 1998)
12. Produkce bioplynu za 21 dní (Binner, 2002)
13. Statický respirační index (SRI) (Scaglia et al, 2000)
14. DRI (Scaglia et al., 2000)

Pro aplikaci uvedených metod existuje řada postupů a přístrojů.

2.2.3 Popis vybraných metod stanovení stability kompostu

Subjektivní metoda

I smyslově lze odhadnout, zda-li se jedná o čerstvou surovinu, či surovinu do jisté míry stabilizovanou. K tomu mohou posloužit následující ukazatele.

Nezralý kompost, spíše čerstvá surovina, má velmi dobře patrnou původní strukturu (je dobře poznat odkud pochází), spíše zapáchá, na dotek může být teplý i horký, z hromady takového kompostu může stoupat i za běžných povětrnostních podmínek vodní pára, na povrchu jednotlivých částic jsou viditelné povlaky hub, většinou nejsou přítomni původní živočichové i přesto, že by do kompostu měli přístup.

Zralý kompost, stabilizovaný, voní po lesní půdě, neměl by zapáchat, lze jen obtížně identifikovat původní vzhled jednotlivých založených surovin, stabilní kompost má teplotu okolí, pouze hlouběji v jádru větší hromady může být mírně teplejší, pokud mají půdní živočichové ke zralému kompostu přístup, s oblibou ho kolonizují, nejsou patrné povlaky hub, kvalitní zralý kompost připomíná zahradnickou zeminu. (Plíva at al.. 2010)

Samozáhřevný test

Samozáhřevný (Dewardův) test měří zvýšení teploty kompostu při standardních laboratorních podmínkách v termonádobě (Dewardově) s dvojími izolačními stěnami (objem 2 litry, vnitřní průměr 100 mm), která zajišťuje pro všechny vzorky stejné podmínky, proto lze jednotlivá měření následně mezi sebou porovnávat. (US EPA, 1996)

Nádoba je naplněna prosetým kompostem (částice menší než 20 mm), který je v případě potřeby navlhčen a vytemperován na laboratorní teplotu. Poté se do nádoby vloží 300 mm dlouhá sonda s teploměrem napojeným na záznamové zařízení. Další teplotní čidlo monitoruje teplotu okolí, která by se však měla pohybovat okolo 20 °C. (Plíva at al., 2006)

Výsledkem testu je rozdíl mezi nejvyšší naměřenou teplotou kompostu a teplotou okolí. Délka testu bývá obvykle jeden den a devět dní.

Tabulka 2.1 Pro určení výsledku samozáhřevného testu dle Plívy at. al (2006)

Zvýšení teploty proti teplotě okolí	Třída stability	Popis stupně vyzrálosti	Charakteristika
<10 C	V	velmi vyzrálý a stabilní	stabilní
10 - 20	IV	průměrně vyzrálý	stabilní
20 - 30	III	stále mírně v rozkladu, aktivní kompost	aktivní
30 - 40	II	nevyzrálý, čerstvý nebo velmi aktivní	aktivní
>40	I	čerstvý, právě smíchané suroviny	nestabilní

Index biologické stability

Tento index je založen na úbytku hmotnosti měřených materiálů v simulovaných podmínkách substrátů v květináči. Známé množství substrátu se vloží do plastového květináče a překryje se černou plastovou fólií, v průběhu pokusu se udržuje substrát stejně vlhký přidávkem vody. Každý měsíc se provádí vážení substrátů vysušených do konstantní vlhkosti. Ztráta hmotnosti organické hmoty se vyjadřuje v procentech a slouží jako ukazatel stability. Pokus trvá 120 dní. (Lemaire, 1997)

Tabulka 2.2 Některé materiály a jejich index biologické stability dle Lemaire (1997)

Druh organického materiálu	Index biologické stability	poměr C/N	ISB (index biochemické stability)
faremní kompost	96,4	10	78
jemný faremní kompost	89,7	10	
hrubý faremní kompost	93,5	13	
kompost z borovicové kůry	97,4	92	60 – 100
jemná lignocelulosa vlákna	96,8	400	
hrubá lignocelulosa vlákna	95,3	400	
hrubé kokosové vlákno	100	220	
německá rašelina Sphagnum	93,4	20 – 40	80 – 100
finská rašelina Sphagnum	85,0	20 – 40	80 – 100
lněný odpad	59,6	110	
obilná sláma	38	80	10 - 30

Metody pro hodnocení mechanicko-biologické úpravy odpadů

Pro potřeby hodnocení produktů mechanicko-biologické úpravy (hodnocení jejich biologické stability) se např. v Rakousku používají metody, které vycházejí z posuzování tří hodnot hodnocených surovin – kompostů podle návrhu rakouské normy ÖNORM, 2002 – za plně stabilizovanou surovinu lze považovat surovinu s hodnotou nižší, než $8,3 \text{ mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ sušiny a částečně stabilizovanou s hodnotou nižší, než $10,8 \text{ mg O}_2 \cdot \text{g}^{-1}$ sušiny.):

- respirační aktivita (AT_4 - Atmungsaktivität) – množství spotřebovaného kyslíku (mg O_2 na g sušiny) v průběhu celého pokusu (4 dny) kromě kyslíku spotřebovaného v lag-fázi,
- množství uvolněného plynu při inkubačním testu (GS_{21} – Gasspendensumme im Inkubations test) – množství uvolněného plynu za 21 dnů testu,

- tvorba plynu při fermentačním testu (GB₂₁-Gas bildung im Gärtest) – množství uvolněného plynu během 21 dnů inkubace.

Příprava vzorků a skladování pro všechny metody je shodná. Vzorek kompostu odebraný dle metodiky se proseje na velikost menší než 20 mm, odstraní se kameny a jiné cizorodé částice a v případě potřeby se vzorek zvlhčí.

Do 48 hodin od odebrání vzorku se ukončí jeho příprava a začíná měření. Vzorek nesmí být více než 24 hod při teplotě vyšší než 4°C, pokud by neměla být podmínka dodržena, musí být vzorek zmražen do 24 hodin od odebrání na -18°C až -22°C. Rozmrazení musí proběhnout šetrně během 24 hodin (maximálně na pokojovou teplotu). Před měřením je optimalizována vlhkost vzorku na 40 – 60 %.

Stanovení AT₄ se provádí pomocí přístroje Sapromatu, Respiromatu nebo jiného vhodného přístroje při teplotě 20 ± 1 °C. Reakční nádoba přístroje musí pojmut nejméně 30 g upraveného vzorku (max. výška vrstvy 1 cm). V průběhu reakce (více než 4 dny) nesmí být omezen přístup kyslíku, proto musí být podle potřeby dodáván.

Celková doba pokusu se skládá z doby možné lag-fáze a čtyřdenního hodnocení. Během této doby se kontinuálně zaznamenává spotřeba kyslíku nebo uvolňování CO₂ a určují se a sčítají hodinové hodnoty spotřeby kyslíku (mg O₂.g⁻¹ sušiny. h⁻¹). Měření je nutno provádět ve dvou opakováních. (Plíva at. al., 2006)

Respirační aktivita (AT₄)

Je množství spotřebovaného kyslíku v průběhu celého pokusu (4 dny) kromě kyslíku spotřebovaného v lag-fázi (pokud je množství kyslíku lag-fáze větší než 10 % musí se tato skutečnost uvést do dokumentace). Jednotky pro metodu AT₄ se používají v mg O₂.g⁻¹ sušiny za dobu měření. (Binner, 2002)

Produkce bioplynu za 21 dní

Metoda určování množství uvolněného plynu v inkubačním testu (GS₂₁) slouží k určení množství uvolněného plynu za 21 dnů testu (počítají se od konce lag-fáze) při teplotě 35 °C a po naočkování čistírenským kalem. Výsledek je udáván jako průměrná hodnota v litrech standardního plynu na kg sušiny. Jelikož je časově náročná slouží spíše k ověřování jiných metod než k běžnému použití (Binner, 2002).

Specifická míra spotřeby kyslíku (SOUR - specific oxygen uptake rate)

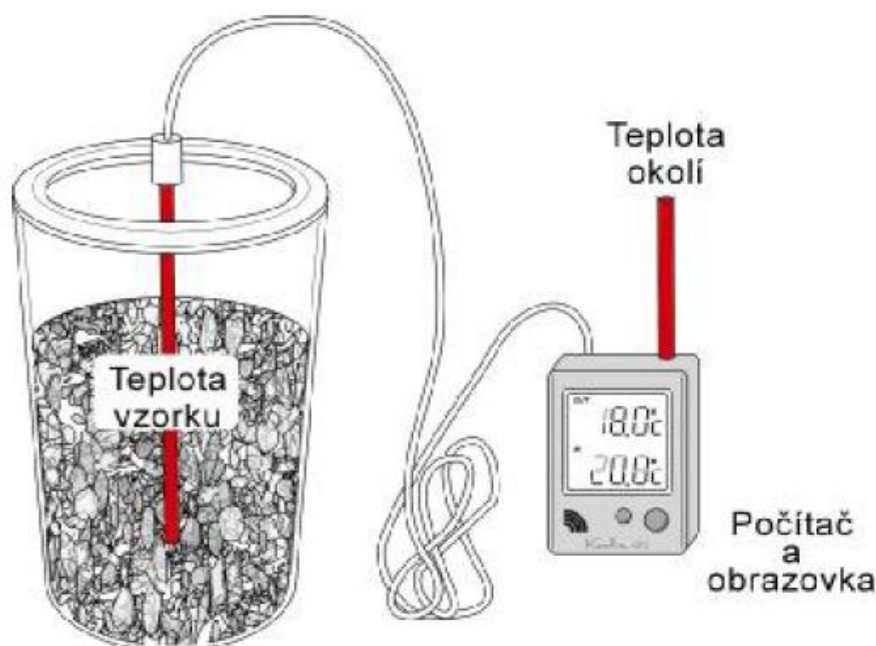
Metoda SOUR sleduje množství rozpuštěného kyslíku (DO) ve vodní suspenzi kompostu a to za podmínek zaručujících optimální mikrobiální aktivitu a maximální rychlost reakce. Metoda používá technologii, která se běžně užívá při měření rozpuštěného kyslíku ve vodě či odpadní vodě.

Součástí soustavy je vodní lázeň, která má teplotu 30°C. Kyslíková sonda je umístěna do jednoduché sklenice se vzorkem tak, aby byl senzor 5-7 cm pod vodní hladinou. Suspenze je stále míchána pomocí magnetického míchadla a periodicky prována pomocí malé akvarijní vzduchové pumpy pro doplnění kyslíku, který byl spotřebován mikroorganismy. Pro dobrou distribuci vzduchu se používá malý akvarijní porézni kámen, který se musí pravidelně čistit, aby se nezanestl.

Postup respirometrického měření obvykle začíná odběrem souborného vzorku 1 - 2 kg z hromady kompostu ihned po jeho překopání. Jeho kvartací se připraví reprezentativní vzorek o hmotnosti 3 – 8 g (záleží na předpokládané aktivitě) a je dále upraven dle metodiky popisovaného postupu.

Každý vzorek kompostu je podroben zkoušce celkem 4x. Je typické, že po počáteční lag-fázi roste několik hodin rychlost spotřeby kyslíku exponenciálně a dosáhne maxima po 2 až 18 hodinách a pak postupně klesá. Zaznamenaná data vyjádřená v mg.l^{-1} jsou analyzována, zpracována a výsledek je udáván v $\text{mg O}_2 \cdot \text{g VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ (hodnota SOUR)

Hodnota SOUR čerstvě založeného kompostu bývá v rozmezí (10–20) $\text{mg O}_2 \cdot \text{g VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, ale může být i vyšší. Dostatečně zpracovaný kompost má po 2 měsících zrání potřebu méně než 3 $\text{mg O}_2 \cdot \text{g VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$. Během dozrávání klesne hodnota SOUR až k hodnotě 1 $\text{mg O}_2 \cdot \text{g VS}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$, což znamená, že kompost je dobře vyzrálý. (Plíva at. al., 2006)



Obrázek 2.4 Schéma aparatury pro zjišťování stability kompostu samozáhřevným testem (Plíva, 2006)

Dynamický respirační index (DRI)

Dynamický respirační test měří okamžitou spotřebu kyslíku, užitého k biochemické oxidaci snadno rozložitelných látek v organických surovinách, při nucené aeraci vzduchu do vzorku. Výsledek tohoto testu je znám jako dynamický respirační index (DRI). (Adani and Tambone, 1998)

Podle účelu analýzy se používají dvě metody určování DRI

- Metoda A potenciální DRI (PDRI)
- Metoda B reálný DRI (RDRI)

Metoda A – Potenciální dynamický respirační index (PDRI)

Respirometrický analýza je provedena na standardizovaném vzorku podle hlavních chemicko-fyzikálních parametrů. Standardizace dává záruku nejlepších podmínek růstu pro aerobní mikroorganismy a vytváří dobré podmínky pro jejich aktivitu, to pak umožňuje měření potenciální aktivity mikroorganismů schopných degradace organických látek

Výsledek potenciální dynamické respirační analýzy je definován jako „potenciální dynamický respirační index“ (PDRI) v jednotkách $\text{mg O}_1 \cdot \text{kg. VS}^{-1}$, (VS = spalitelné látky).

Metoda může být použita pro měření biologické stability organické hmoty i pro upravený a neupravený pevný odpad.

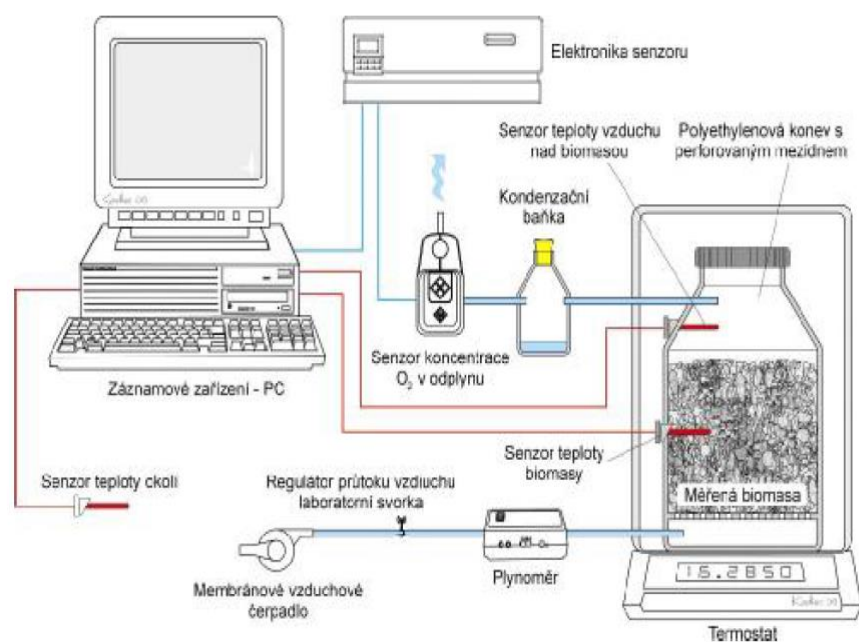
Před vlastním měřením je nutné vzorek připravit ideálně použít vzorek o objemu 5- 50 litrů a jeho standardizace se provádí na následující parametry vlhkost 750 g.kg^{-1} hydraulické retenční kapacity, pH v rozmezí 6,5 až 8,5 a hustotě více jak 650^{-3} .

Pokud je nutná úprava pH, provádí se během vlhčení přidáním kyseliny či zásady.

Je-li hustota vyšší než 650 kg.m^{-3} , upravuje se tento parametr pomocí biologicky inertního strukturotvorného materiálu.

Respirační test se provádí na aerobním respirometru

S kontinuálním průtokem viz obr 2.5



Obrázek 2.5 Aerobní respirometr s kontinuálním průtokem

Typický průběh hodnot při měření dynamického respiračního indexu se dělí na čtyři části:

- lag fáze, která pokud je přítomná, může trvat i několik dní,
- druhá fáze nastává pokud jsou ve vzorku dobré fyzikálně – chemické podmínky podporující rozvoj mikroflóry, zvýšení počtu a aktivity mikroorganismů stoupá v této fázi DRI exponenciálně,

- třetí fáze začíná s postupným úbytkem snadno rozložitelných látek, který časem způsobí rovnováhu mezi množením a hynutím mikroorganismů, v této fázi bývají momentální hodnoty DRI v čase konstantní,
- v poslední fázi probíhá snížení momentálních hodnot DRI, neboť dochází ke zpomalení degradace díky zmenšení množství snadno rozložitelných látek, tato fáze je podmíněna rychlostí hydrolýzy stabilních látek

Vzorek je v zařízení 1 – 4 dny (podle trvání lag fáze), zjištěné hodnoty jsou zaznamenávány v intervalech 2h. Pokud dosahují konstantních či rostoucích hodnot je měření po odečtu posledních 12 hodnot ukončeno.

Po ukončení je určen objem kyslíku spotřebovaný aerobní biologickou aktivitou. Vypočítá se jako průměr 12 okamžitých respirometrických indexů (DRI) během 24 hodin, kdy byla mikrobiální aktivita nejvyšší.

Metoda B – Reálný dynamický respirační index (RDRI)

Tato metoda principem a postupem odpovídá metodě A. Rozdíl je pouze v tom, že se určuje DRI neupraveného vzorek, to znamená, že RDRI odpovídá aktuálním chemicko-fyzikálním vlastnostem vzorku. Výsledek se vyjadřuje v jednotkách $\text{mg O}_1 \cdot \text{kg VS}^{-1}$, (VS = spalitelné látky). (Plíva at. al., 2006)

Stanovení biologické stability v oblasti kompostování

V oblasti kompostování je vhodné si stanovit pro zjednodušení, že pojmy zralost a biologická stabilita jsou shodné veličiny. Následně je stabilita kompostů, základní ukazatel při poměrování efektivnosti dvou a více technologií kompostování. Lze tedy ohodnotit za jakou dobu, jakých investičních a provozních nákladů je danou technologií dosaženo definovaného stupně zralosti, respektive stability. Stabilitu jako srovnávací parametr různých technologií kompostování doporučuje také Stentiford (1993).

2.3 Přístroje pro měření množství spotřebovaného kyslíku

2.3.1 Analytické přístroje firmy Costech

Společnost Costech International byla založena v roce 1986, již od té doby nabízí svým zákazníkům vysoce kvalitní katalyzátory a celou škálu analytických přístrojů přesně dle jejich požadavku, které jsou určeny především pro použití v oboru chemie elementárních prvků a biotechnologie. Od roku 1986 vyvíjí také systémy pro kontrolu průmyslových fermentačních procesů. Již od svého založení firma úzce spolupracuje s národními i mezinárodními vědeckými institucemi. (Lozzi, Habart, 2003)

Respirometr firmy Costech je konstruován ke stanovení biologické stability rozličných biologických materiálů. Stabilita je hodnocena dle dynamického respiračního indexu dle metodiky Di.Pro.Ve (Agronomická fakulta Univerzity Miláno) (Lozzi, Habart, 2003)

V minulosti bylo vypracováno mnoho metod ke stanovení biologické stability. Respirometrické testy hodnotí jak produkci CO₂, tak spotřebu O₂. Dříve se tyto metody používali jen k vědeckým účelům, dnes se však používají také v běžné praxi. Metody hodnotící vývin CO₂ jsou nenákladné, ale víceméně nedokáží rozlišit mezi CO₂ produkovaným aerobně nebo anaerobně, ačkoli oxidace organických látek spotřebuje stejné množství O₂ jako vyprodukuje CO₂. Proto jsou metody hodnotící spotřebu O₂ více využívány. Statické metody měření, kdy nedochází ke kontinuální výměně plynů, mohou výrazně zkreslovat výsledky (především u čerstvých materiálů), protože biomasa může být limitována nedostatečným přísunem kyslíku.

Toto je překonáno použitím dynamických metod, kdy dochází ke kontinuální aeraci, biomasa má trvalý přísun potřebného kyslíku (koncentrace kyslíku je udržována na optimální úrovni, což je >14 %), a také jsou odváděny odpadní plyny metabolismu biomasy (především CO₂). Použitím této metody můžeme hodnotit spotřebu kyslíku v kterémkoli okamžiku během procesu biologické stabilizace (kompostování). Vzduch prochází regulátorem průtoku a plynoměrem, pak jde do samotného reaktoru, kde prochází zvolna biomasou. Při tom dochází ke spotřebě kyslíku mikrobiální činností. Z reaktoru proudí vzduch do kondenzační nádoby, kde se vysráží vodní

pára, která by mohla ovlivňovat přesnost měření. Po kondenzaci je vzduch veden pomocí hadiček do elektrodového boxu, kde probíhá měření koncentrace. (Lozzi, Habart, 2003)

Respirometr lze využít k analýzám pro stanovení biologické stability nebo k ohodnocení produktů biologického vysoušení. Během měření jsou téměř věrně napodobeny podmínky odpovídající reálným velkokapacitním provozům, proto je možno respirometr použít také k porovnání stávajících technologií a dokonce i pro projektování nových zařízení.

Respirometr dodává do biomasy proměnlivý průtok vzduchu, který může být nastaven manuálně nebo automaticky - množství proudícího vzduchu je regulováno v závislosti na spotřebě kyslíku.

Všechna naměřená data jsou plně automaticky zaznamenávána a pohodlně lze převádět do formátu programu Excel TM.

Respirometrem firmy Costech lze měřit širokou škálu biologických materiálů (komunální odpad, kompost, biologicky vysušený odpad apod.). Celé měření je velmi jednoduché.

Respirometr je nabízen ve dvou verzích:

- Pro kontrolu kvality a stability lze doporučit model 3022 (obr. 2.3). Tato verze je vybavena elektrodami k měření O₂ a také k měření teploty výstupního plynu. Dále lze měřit teplotu přímo uvnitř biomasy. Pracovní objem reaktoru je 25 litrů a průtok plynu lze regulovat v rozpětí 10 - 500 litrů za hodinu. Všechny údaje jsou převáděny z elektrody přímo do počítače a speciální software data jednak zaznamenává, ale hlavně vyhodnocuje, přímo v reálném čase se na monitoru znázorňuje aktuální údaj dynamického respiračního indexu.
- Vědecká verze (respirometr 3021). Tento model je vybaven systémem pro měření (O₂, CO₂, a teploty). Pracovní objem je až pro 100 litrů vzorku, což dovoluje pracovat s různorodějšími materiály a zabezpečí lepší homogenitu. Také průtok vzduchu má větší kapacitu (20 - 1 000 litrů za hodinu).

Software k oběma modelům se skládá z hlavního okna, kde se zobrazují všechny aktuálně měřené hodnoty v reálném čase, dále si obsluha může nechat kdykoli zobrazit všechny zaznamenané hodnoty buď v číselné nebo grafické podobě. Ve čtvrtém okně tohoto softwaru je možno nastavit různé funkce a vlastnosti celého respirometru. (Lozzi, Habart, 2003)



Obrázek 2.6 Respirometr 3021

2.3.2 CORAMEX RAMKO 2 – adiabatický měřič koncentrace O₂

Společnost CORAMEXEXPORT s.r.o. se od svého založení v roce 1998 zaměřuje jako na jednu ze svých základních aktivit, na kompletní zpracování a dodávku technologických celků. Zprvu se jednalo zejména o kafilerní technologie a to jak v rámci ČR, tak i mimo ni. V současné době společnost rozšířila své aktivity a směřuje své cíle v oblasti ekoenergie. Navazuje tak na bohaté zkušenosti v oblasti kafilerních technologií a s využitím termotlaké hydrolýzy na svých bioplynových stanicích se zároveň řadí na špičku v tomto oboru. (Coramexport, 2014)

RAMKO 2 firmy CORAMEX je respirometr, určený ke stanovení aktivity bioodpadů (kompostů) Tělo respirometru je vyrobeno z vysoce kvalitní nerezové oceli, aby byla zaručena dostatečná tuhost, odolnost a životnost. Systém RAMKO 2 má jednoduché ovládání přes dotykovou obrazovku a je vybaven USB rozhraním, pro snadný přenos dat a jejich manipulaci.

Měření DRI v systému RAMKO 2 probíhá na principu prohánění vzduchu měřeným substrátem a na základě spotřeby kyslíku se provádí úprava množství vhaňného vzduchu do respirometru.

Při měření SRI v systému RAMKO 2 není proháněn vzduch měřeným, ale sleduje se pouze úbytek kyslíku v čase v uzavřené nádobě.



Obrázek 2.7 Respirometr Ramko 2 (Převzato z http://www.coramexport.cz/data/ramko2_cz.pdf, 2014)

2.4 Agroekologický aspekt kompostování

2.4.1 Význam kompostu v managementu obdělávání půd

Využívání kompostu v zemědělství představuje způsob, jak udržet nebo obnovit kvalitu půdy díky vynikajícím vlastnostem humifikovaných organických složek obsažených v kompostu. Mezi hlavní výhody využívání kompostu patří zlepšení

úrodnosti půdy, struktury a pórovitosti půdy, vododržnosti, hnojivá hodnota kompostu obsahujícího dusík, fosfor, draslík, vápník a další živiny, zvýšení mikrobiální biomasy a aktivity mikrobiální populace a potlačení výskytu chorob rostlin.

Nejde jen o ekologicky vhodný způsob nakládání s odpady, ale výsledný produkt, kompost s organickou hmotou přeměněnou na humusové látky, omezuje půdní erozi a vyplavování živin z půdy do vod. (Kalina, 2004)

Například ekologičtí farmáři nevyužívají syntetická hnojiva a pesticidy, ale snaží se o podporu ekologických procesů, které zlepšují výživu rostlin, a současně chrání půdu a vodní zdroje. Udržení a zlepšování kvality a úrodnosti půdy patří mezi základní požadavky ekologického zemědělství (Nařízení EU č. 2092/91).

I když se ekologičtí farmáři snaží o udržení uzavřeného koloběhu živin na svých farmách, existují v ekologickém zemědělství i takové farmy, jako jsou například farmy bez chovu zvířat nebo zelinářské farmy, na kterých je obtížné udržovat obsah humusu v půdě. Pro takové farmy, a dále i pro farmy, na kterých nelze napravit deficit některých živin pomocí agrotechnických opatření, jako je například zelené hnojení nebo použití jetelovin a luskovin, může být využití kompostu z biologického odpadu o vysoké kvalitě schůdnou alternativou.

Nejdůležitější výhodou využívání kompostu je zvýšení obsahu organické hmoty v půdě. Početné experimenty dokazují, že pravidelné hnojení kompostem vede ke zřetelnému zvýšení obsahu humusu v půdě. Rozumné aplikování kompostu (kolem 6-7 t . ha⁻¹ . rok⁻¹ v sušině) je obvykle postačující pro udržení hladiny humusu v půdě. Pravidelné hnojení kompostem zvyšuje množství organismů a mikrobiální biomasu v půdě a stimuluje aktivitu enzymů, čímž dochází ke zvýšení mineralizace organické hmoty a zlepšené odolnosti proti škůdcům a chorobám, což je nejen pro ekologické zemědělství příznačné. Díky význačnému nárůstu organického uhlíku v půdě může při hnojení kompostem docházet ke snížení množství oxidu uhličitého a tím přispět ke zmírnění skleníkového efektu. Zvýšením obsahu organické půdní hmoty dojde k výraznému ovlivnění struktury půdy – dojde ke zlepšení fyzikálních vlastností půdy, jako jsou například stabilita půdních agregátů, objemová hmotnost, pórovitost, využitelná vodní kapacita a infiltrace. Zvýšená stabilita půdních agregátů chrání zeminu před zhutňováním a erozí. (Zera, 2012)

3 Cíl práce

Cílem práce bude porovnat vliv složení zakládek při využití nového respirometru univerzity v jednotlivých fázích výroby při sledování průběhu teplot a času s ohledem na nejvhodnější způsob zajištění organické hmoty.

Celkový cíl práce byl proveden na základě dílčích cílů:

1. Vytvoření metodiky na základě norem a dostupných metodik, a její upravení podle dostupných možností katedry.
2. Vytvoření pokusných zakládek s různým poměrem C:N. Jejich následná správa, úprava vlhkosti, provzdušnění v rámci překopávek, průběžné měření teplot.
3. Umístění respirometru do vhodných podmínek a jeho odzkoušení. Příprava dalších zařízení nutných pro získání hodnot vkládaných před spouštěním respirometru (vlhkost, spalitelné látky, objemová hmotnost)
4. Provedení měření pro jednotlivé kompostovací fáze, jejich vyhodnocení a posouzení vhodnosti zařízení pro ověřování v praxi.

4 Metodiky měření

4.1 Metodika zakládání kompostu

Metodika pro správně založený proces kompostování se skládá z následujících kroků: výběr vstupních surovin, příprava vstupních surovin a jejich následného kompostování.

Pro naše účely byly vybrány suroviny dostupné z provozu univerzity. Jednotlivé zakládky byly složeny ze stejných materiálů s různým poměrem jednotlivých komponentů, tak aby se dosáhlo optimálního poměru a následně k odchylkám k porovnání. Během přípravy se dosáhlo potřebné velikosti části, rovnováhy živin a obsahu vlhkosti vstupních surovin.

Jednotlivé suroviny byly naváženy a zamíchány v krmném voze a navezeny do pásových hromad na nezpevněnou plochu.

4.2 Metodika stanovení vlhkosti kompostu

Pro stanovení vlhkosti kompostu byla použita gravimetrická metoda stanovení vlhkosti s úpravou podle dostupných laboratorních pomůcek. Podstatou této metody je oddělení vody od pevné fáze – jde o měření přímé. Vlhkost je stanovena z rozdílu počáteční hmotnosti vlhkého vzorku a konečné hmotnosti vzorku po jeho úplném vysušení podle normy.

Odebraný vzorek se rozprostře na podložku, větší hrudky se rozdrtí a projde sítem o velikosti o 5 mm. Z tohoto vzorku se odebere menší cca 20 g a vysuší se do ustálení hmotnosti při 105 °C. Po vychladnutí se váží a zjistí se obsah vlhkosti w_2 v % pomocí vzorce.

$$w_2 = \frac{(m_4 - m_5) \cdot 100}{m_4} \quad [\%] \quad (4.1)$$

m_4 je hmotnostní vzorek před sušením [g]

m_5 je hmotnost vzorku po sušení [g]

4.3 Metodika stanovení spalitelných látek

Vysušený vzorek se rozmělní, tak aby beze zbytku prošel drátěným sítem s délkou strany oka 0,5 mm. Takto upravený vzorek se znovu vysuší asi půl hodiny v sušárně při teplotě 105 ± 5 °C, po vychladnutí se vzorek umístí do vyžíhané a zvažené porcelánové nebo platinové misky. Vzorek v misce se zvolna vyžihá v elektrické peci při teplotě 550 ± 10 °C do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí se vzorek zvaží. A vypočte se obsah stanovení spalitelných látek w_3 v % pomocí vzorce.

$$w_3 = \frac{(m_6 - m_7) * 100}{m_6} \quad [\%] \quad (4.2)$$

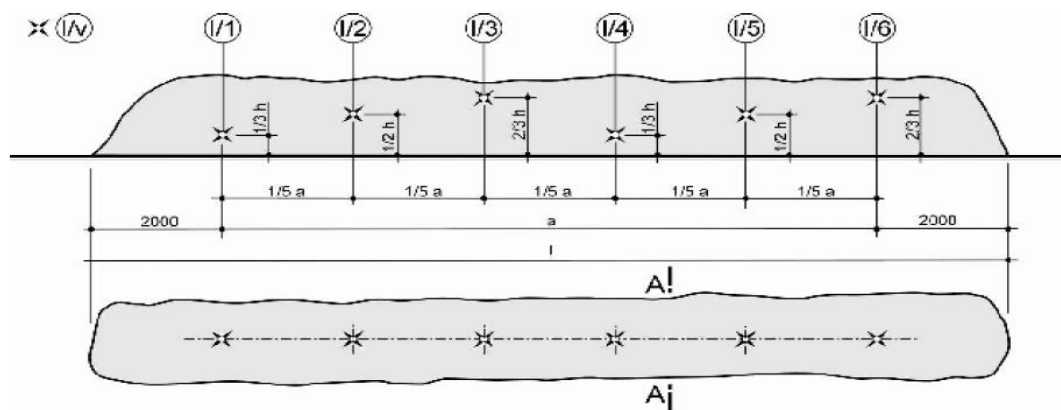
m_6 = hmotnost před vyžiháním [g]

m_7 = hmotnost po vyžihání [g]

4.4 Metodika měření teploty kompostu

Při měření teploty byla využita 6-ti bodová metoda měření teploty zapichovacím teploměrem. Vpichování sondy vedlo kolmo k povrchu hromady tak, aby mířil do jejího středu podle jejího příčného tvaru (trojúhelníkový nebo lichoběžníkový profil). Po definovaném úseku (určeném z celkové výšky hromady) od povrchu hromady se vpich zastaví a odečte se ustálená teplota. Mezery mezi jednotlivými vpichy (měřícími místy) po horizontále byli upravovány dle celkové délky hromady a určovány pomocí schématu na obrázku 4.1. Tyto měřící místa na jednotlivých hromadách byla označena a toto označení se používalo po celou dobu jedné zakládky. Naměřené teploty byly zapisovány do připravené tabulky.

Časové intervaly měření teploty byly prováděny každodenně.

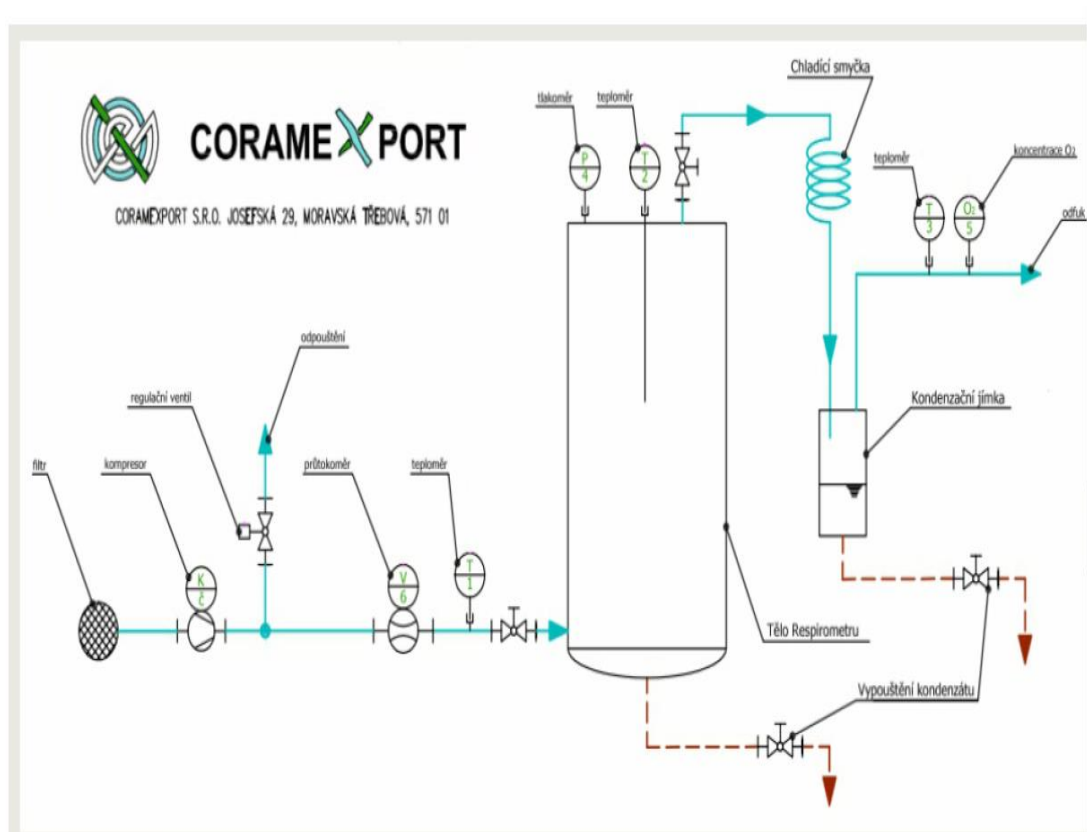


Obrázek 4.1 Schéma měřicích míst (Převzato z http://svt.pi.gin.cz/vuzt/poraden/prirucky/p2006_01.pdf, 2014)

4.5 Metodika měření stability kompostu

Pro ověření hodnot stability kompostu v jednotlivých fázích bylo využito respirometru Ramko 2 od firmy Coramexport. Z jeho funkcí bylo vybráno měření pomocí dynamického respiračního indexu (DRI) a to konkrétně Reálný dynamický respirační index. Kdy vkládaný vzorek byl určován z neupraveného vzorku. Tento index byl vybrán z důvodu aktuálním chemicko-fyzikálním vlastnostem vzorku.

Respirační test se prováděl na aerobním respirometru s kontinuálním průtokem, který je znázorněn na obr. 4.2.



Obrázek 4.2 Schéma aerobního respirometru s kontinuálním průtokem (Převzato z http://www.coramexport.cz/data/ramko2_cz.pdf, 2014)

Vkládané vzorky měly objem od 10 do 40 litrů a před samotným měřením muselo proběhnout měření vlhkosti, měření obsahu spalitelných látek, hustoty a hmotnosti, neboť tyto hodnoty byly zadávány jako vstupní hodnoty do přístroje. Dále se zadávala relativní vlhkost a teplota v laboratoři, které se měřili teploměrem doplněným o měření vlhkosti. Poté byl spuštěn proces měření.

Vzorek byl v zařízení 1 – 4 dny (podle trvání lag fáze) zjištěné hodnoty byly zaznamenávány v intervalech 1 h.. Výsledky byly zpracovány a zaneseny do tabulek a grafů pro možnost porovnání s vývojem teploty.

5 Měření kompostů a jejich parametry

5.1 Přípravné měření

Toto měření bylo připraveno za účelem seznámení se s jednotlivými přístroji, jejich obsluhou, časovými potřebami a celkového sestavení a doplnění všech potřebných pomůcek a zařízení. Během měření byly odhaleny drobné nedostatky, které se odstranily a přístroje byly schopny měřit.

5.2 Harmonogram měření

Po odzkoušení všech přístrojů a naměření vývoje stability pokusného vzorku došlo k vytvoření časového harmonogramu.

Čas stanovený pro odběr vzorků určovala doprava mezi laboratoří a zakládkami v Haklových Dvorech a délka odebrání vzorku. Celkem tato operace trvala 1 - 1,5 hodin.

U prvních dvou přípravných měření vlhkosti a spalitelných látek je časová náročnost od 5 do 7 hodin s přípravou a úpravou materiálu. U respirometru trvá příprava zakládky zhruba 1 hodinu, i v případě, že probíhá výměna předchozí za novou. Samotný proces měření byl stanoven max. na 4 dny, které jsou podle literatury (Plíva at. al, 2006, Adani, Habart, 2003) dostačující k ověření metody a také tím vznikla možnost měřit mikrobiální činnost u všech založených kompostů.

V případě, kdy výměna vycházela na pondělí, byl celý proces výměny časově náročný. Neboť vzorky musely být odebrány v ranních hodinách (7:00 – 8:00 hodin), následně v intervalu od 8:00 do 13:00 probíhalo vysoušení, dále od 14:00 do 19:00 hodin stanovení spalitelných látek z toho výpočty parametrů, jejich zadání do vstupní tabulky, výměna zakládky a spuštění nového měření. Pokud se výměna prováděla ostatní dny v týdnu, byly výpočty připraveny den předem a spuštění nového měření s výměnou materiálu proběhlo druhý den.

5.3 Složení zakládek

Pro účely měření a porovnávání stability byly založeny čtyři komposty, u kterých byla použita stejná technologie kompostování. Jednalo se o kompostování na volné ploše v pásových hromadách s lichoběžníkovým průřezem. Tato technologie byla vybrána na základě provozních možností katedry. Jednotlivé zakládky se postupně zakládaly v areálu Školního zemědělského podniku v Haklových Dvorech. Jednalo se o nezpevněnou plochu, kam se navázela odvážená travní a slámová řezanka v předem připraveném a vypočítaném poměru. Pro výpočet se využíval program Komposter 2.0. Jednotlivé hodnoty se zaznamenaly k dalšímu zpracování viz. tabulka 5.1.

Tabulka 5.1 Složení jednotlivých zakládek

Zakládka	Složení								Výsledný poměr C:N
	Sláma obilovin				Čerstvá tráva				
	Vlhkost	Obsah C	Obsah N	Hmotnost	Vlhkost	Obsah C	Obsah N	Hmotnost	
	[%]	[%]	[%]	[t]	[%]	[%]	[%]	[t]	
1	17	52,2	0,5	0,188	82	57,8	3,4	3,777	19,9:1
2	17	52,2	0,5	0,340	82	57,8	3,4	2,600	24,1:1
3	17	52,2	0,5	0,435	82	57,8	3,4	1,840	29,1:1
4	17	52,2	0,5	0,365	82	57,8	3,4	2,090	26,3:1

První zakládka byla založena 23. září 2013. Jednotlivé suroviny se odvážili a zamíchali pomocí krmného vozu. Následně se umístili do pásové hromady. Zbylé zakládky byly založeny 26. října 2013 opět stejným způsobem jako ta první.



Obrázek 5.1 Zakládka v areálu Haklových Dvorů

Během kompostování byly prováděny zásahy za účelem optimalizace komponovacího procesu. Jednalo se o překopávky (viz tabulka 5.2), zvlhčování (viz tabulka 5.3) a u vybraných zakládek aplikace přípravku Amalgerol. Překopávky byly uskutečňovány na základě potřeb zakládek a též dostupnosti mechanizačních a lidských zdrojů. Proti snižování vlhkosti byly doplněny o zakrývací fólie.

Tabulka 5.2 Uskutečnění překopávek

Datum	Zakládka
3.10.2013	1
8.10.2013	všechny
15.10.2013	všechny
5.11.2013	všechny
12.11.2013	všechny
19.11.2013	všechny
28.11.2013	všechny
3.12.2013	všechny

Tabulka 5.3 Schéma úpravy vlhkosti zakládek a aplikace přípravku Amalgerol

Dodávka vody			
Datum	Objem vody	Objem přípravku amalgerol premium	Zakládka
	[l]	[l]	
31.10.2013	1500		všechny
12.11.2013	50	0,5	4
12.11.2013	50	0,5	3
17.11..2013	25	0,5	3 a 4
23.11.2013	30	0,5	3 a 4

Od začátku probíhaly odběry vzorků pro měření vlhkosti a spalitelných látek. Vlhkost se měřila pro všechny komposty. Spalitelné látky byly počítány pouze pro materiál určený k měření spotřeby O₂. Též během komponovacího procesu docházelo k měření teplot všech zakládek každý den ve zhruba stejnou hodinu pomocí popsané metodiky pro měření teplot kompostů.

5.4 Odběry vzorků

Odběry ze zakládek probíhaly dvěma způsoby.

První bylo odebírání pro stanovení vlhkosti, kdy se odebíralo menší množství cca 1 kg ze tří vrstev zakládky. Proto byla nejprve odstraněna krycí plachta a vidlemi odebrán materiál tak, aby vznikl průřez lichoběžníkovým profilem kompostu. Vzor-

ky se odebraly ve třech bodech, ve spodní, střední části a na povrchu kompostu. Poté se umístily igelitových sáčků a opatřily se patřičným popisem.

Druhý odběr pro měření spotřeby O_2 byl větší v rozmezí 10 – 20 kg a umístil se do plastových věder s víkem. Následovala doprava do vytápěné místnosti, aby se materiál stihl částečně předeheřtát před vložením do nádoby respirometru.

Pro stanovení vlhkosti gravimetrickou metodou se použilo digitální váhy pro vážení, před a po vysušení, a vysoušecí pece. Příprava vzorků probíhala rozprostřením na podložku, větší hrudky se rozdrtily, prosály přes síto, tím se vyloučily částice větší než 5 mm. Poté se odvážili v hliníkových miskách a byly umístěny do předem rozeheřtáté pece (obrázek 5.2) na $105^{\circ}C$. Tam byly ponechány až do ustálení hmotnosti. Po vychladnutí v exsikátoru se vážily a hmotnosti se zanesly do šablony 1 připravené pro tato měření (viz příloha), která byla i v elektronické podobě s přednastavenými vzorci pro usnadnění pozdějších výpočtů.



Obrázek 5.2 Pec pro stanovení vlhkosti

U vzorků, které byly odebrány u kompostů určených pro zjištění hodnoty stability, se využilo tohoto vysušení a použili se dále. Před spalováním se materiál pomocí mixeru ETA rozdrtil na prach, dodatečně se odebraly nerozdrcené části. Vzorky se zvažily v porcelánovém kalíšku a putovaly do předem na $550^{\circ}C$ předeheřtáté spalo-

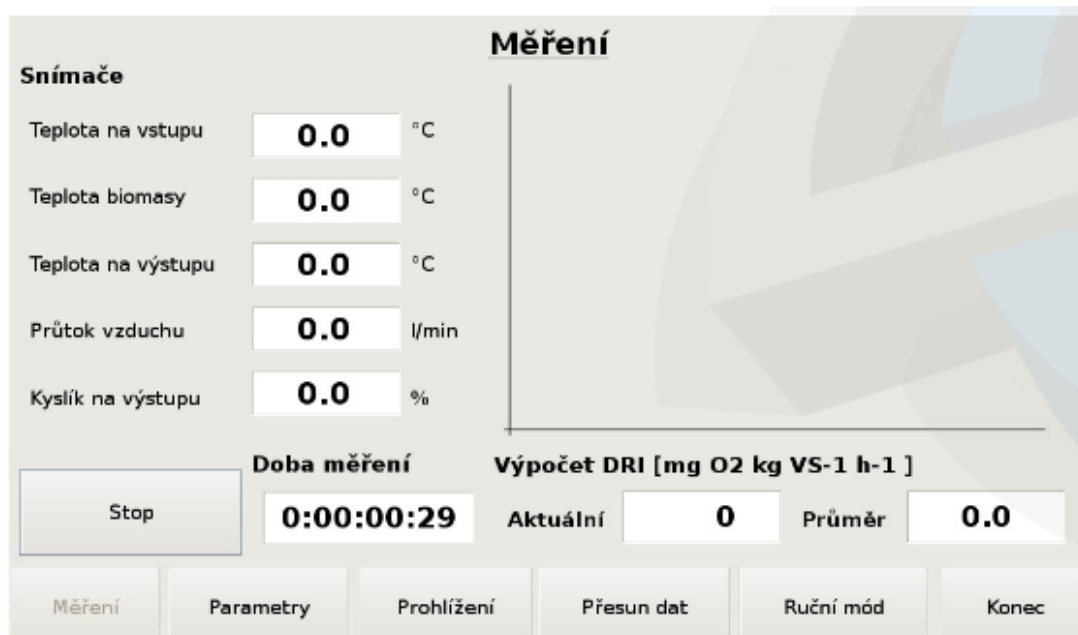
vací pece, kde se ponechaly spalovat do konstantní hmotnosti. Po vychladnutí v exsikátoru se vážily a jejich hmotnosti se opět zanesly do tabulkové šablony.

Po nashromáždění podkladů se přistoupilo k vytvoření zakládky. Vzorek, odebraný do plastových věder s víkem a ponechaný ve vytápěné místnosti, se nejprve převážil a váha se zanesla do připravené šablony 2 (viz příloha). Poté se nasypal obsah do těla respirometru s perforovaným mezonem. Následovalo převážení prázdných kbelíků pro zjištění čisté váhy vzorku. Zapsán byl i objem kbelíku, který se odměřil pomocí kapaliny a odměrného válce. Tento údaj společně s váhou byl použit pro výpočet hustoty vzorku. Po opsání hodnot vlhkosti a teploty z přístrojů v laboratoři, byly dostupné již všechny údaje a přistoupilo se k zadání do přístroje. Přiložením víka k tělu, dotažením všech matic, připojením vzduchové trubičky a přípojky k tepelné sondě byla dokončena druhá část přípravy před měřením. Po vyplnění čísla měření, výběru typu měření, hmotnosti v původním stavu, vlhkosti, podílu spalitelných látek, hustoty, relativní vlhkosti a teploty v laboratoři (viz obrázek 5.3) bylo spuštěno měření (viz obrázek 5.4).

The screenshot shows a software interface for setting parameters on a respirometer. The window is titled "Parametry". It is divided into several sections:

- Hlavička:** "Vzorek:" with the value "5".
- Vstupní hodnoty:** A list of parameters with input fields and units:
 - Typ měření: SRI (dropdown menu)
 - Hmotnost v původním stavu: 29345 g
 - Vlhkost: 89 %
 - Podíl spalitelných látek: 54 %
 - Hustota: 1154.0 kg/m³
 - Relativní vlhkost v laboratoři: 90 %
 - Teplota v laboratoři: 23.2 °C
 - Uvádět data každých: 3600 s
- Klavesnice:** A numeric keypad with buttons for digits 1-9, 0, Del, and Enter.
- Navigation buttons:** Měření, Parametry, Prohlížení, Přesun dat, Ruční mód, Konec.

Obrázek 5.3 Okno pro nastavení parametrů respirometru (Převzato z http://www.coramexport.cz/data/ramko2_cz.pdf, 2014)



Obrázek 5.4 Okno pro spuštění a kontrolu měření (Převzato z http://www.coramexport.cz/data/ramko2_cz.pdf, 2014)

Během měření byla každodenně kontrolována činnost přístroje, za účelem vyloučení případného selhání. Také se sledoval vývoj dynamického respiračního indexu a délka lag-fáze. Naštěstí pouze jednou byl zaznamenán výpadek proudu, který proběhl během víkendu, tím pádem nebyl ohrožen průběh měření.

Po ukončení měření byly zaznamenaná data stažena z přístroje pomocí USB portu a přenesena to notebooku pro další zpracování v tabulkovém softwaru Excel.

6 Výsledky a zjištěné parametry

6.1 Měření teploty

Účelem tohoto měření bylo zajistit sledování vývoje teploty v jednotlivých zakládkách a zaznamenat výsledky, tak aby mohly být využity k porovnání s měřeními biologické stability.

Měření probíhalo podle metodiky a naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulky. Vývoj teplot pro jednotlivé zakládky znázorňují následující grafy.

6.1.1 Tabulkové zpracování

Tabulka 6.1 Průměry z naměřených teplot pro jednotlivé zakládky

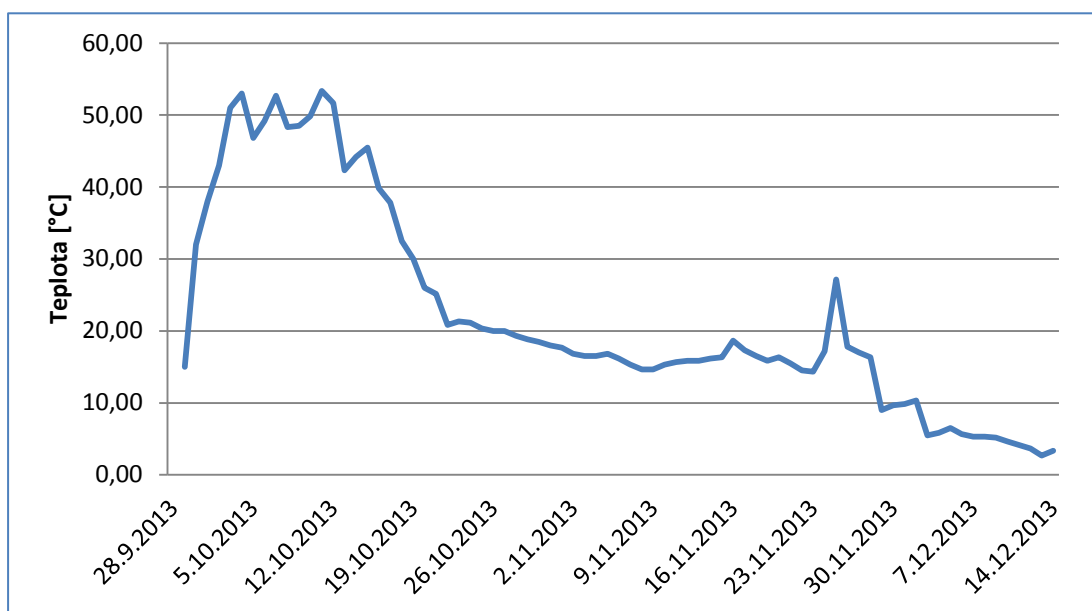
Datum	Zakládka			
	1	2	3	4
	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
23.9.2013	14,00			
24.9.2013	32,00			
25.9.2013	38,00			
26.9.2013	43,00	13,00	15,00	14,00
27.9.2013	51,00	36,00	38,00	30,25
28.9.2013	53,00	48,00	55,50	57,33
29.9.2013	46,83	48,67	56,33	49,33
30.9.2013	49,17	57,60	58,17	60,40
1.10.2013	52,67	58,33	58,33	62,00
2.10.2013	48,33	59,33	54,67	60,00
3.10.2013	48,50	54,33	49,83	55,83
4.10.2013	49,83	57,33	50,33	54,00
5.10.2013	53,33	63,00	53,33	51,33
6.10.2013	51,67	63,50	53,67	53,00
7.10.2013	42,33	53,50	42,50	50,67
8.10.2013	44,17	53,17	42,67	46,67
9.10.2013	45,50	49,83	47,50	43,67
10.10.2013	39,83	43,00	25,33	34,50
11.10.2013	37,83	41,83	25,50	30,17
12.10.2013	32,50	43,67	29,83	30,67
13.10.2013	30,00	46,00	34,00	31,00
14.10.2013	26,00	32,17	23,83	26,67
15.10.2013	25,17	32,50	23,50	26,50
16.10.2013	20,83	29,83	22,33	35,67
17.10.2013	21,33	36,50	26,00	37,17
18.10.2013	21,17	33,33	24,33	30,00
19.10.2013	20,33	29,33	22,00	22,00
20.10.2013	20,00	27,25	21,80	21,67

Datum	Zakládka			
	1	2	3	4
	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
21.10.2013	20,00	27,25	21,20	21,33
22.10.2013	19,33	26,75	20,60	22,00
23.10.2013	18,83	25,00	20,20	22,67
24.10.2013	18,50	23,25	19,80	22,00
25.10.2013	18,00	22,50	19,40	21,67
26.10.2013	17,67	20,75	19,00	21,67
27.10.2013	16,83	21,00	19,20	21,33
28.10.2013	16,50	20,50	18,80	20,67
29.10.2013	16,50	19,50	18,60	20,00
30.10.2013	16,83	18,50	18,40	20,33
31.10.2013	16,17	18,25	19,00	20,67
1.11.2013	15,33	16,50	18,60	20,00
2.11.2013	14,67	16,75	18,20	20,33
3.11.2013	14,67	14,33	18,33	19,67
4.11.2013	15,33	15,33	18,00	20,00
5.11.2013	15,67	14,33	17,60	19,00
6.11.2013	15,83	19,33	22,80	27,67
7.11.2013	15,83	25,00	32,20	35,33
8.11.2013	16,17	29,33	42,80	42,00
9.11.2013	16,33	24,00	50,00	48,00
10.11.2013	18,67	21,67	44,33	43,00
11.11.2013	17,33	24,33	45,17	42,67
12.11.2013	16,50	23,67	45,50	45,33
13.11.2013	15,83	22,67	46,33	46,67
14.11.2013	16,33	21,67	47,50	52,33
15.11.2013	15,50	18,67	48,00	56,33
16.11.2013	14,50	18,33	49,33	58,33
17.11.2013	14,33	14,00	50,67	54,33
18.11.2013	17,17	16,83	22,33	31,50
19.11.2013	27,17	17,00	18,17	25,17
20.11.2013	17,83	21,17	20,67	25,83
21.11.2013	17,00	21,00	22,00	24,33
22.11.2013	16,33	22,50	33,80	33,17
23.11.2013	9,00	11,00	43,67	42,67
24.11.2013	9,67	11,75	46,20	42,67
25.11.2013	9,83	10,17	43,17	41,83
26.11.2013	10,33	9,67	42,83	40,67
27.11.2013	5,50	5,50	8,67	9,67
28.11.2013	5,83	5,83	9,33	13,00
29.11.2013	6,50	6,00	15,67	14,33
30.11.2013	5,67	6,00	18,33	16,67
1.12.2013	5,33	6,25	17,00	15,00
2.12.2013	5,33	6,00	14,40	14,20
3.12.2013	5,17	5,33	13,33	13,83
4.12.2013	4,67	5,00	12,17	11,67
5.12.2013	4,17	4,67	10,67	9,50
6.12.2013	3,67	3,50	7,67	6,50
7.12.2013	2,67	2,67	8,67	8,00

Datum	Zakládka			
	1	2	3	4
	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota	Průměrná teplota
	[°C]	[°C]	[°C]	[°C]
8.12.2013	3,33	3,00	10,67	10,00
9.12.2013	3,00	2,67	11,33	9,00
10.12.2013	2,50	2,83	9,50	7,83
11.12.2013	2,67	2,83	9,50	7,83
12.12.2013	2,17	2,50	5,83	5,17
13.12.2013	2,83	3,75	6,33	6,50
14.12.2013	3,83	4,67	7,33	8,33

6.1.2 Grafické zpracování

Zakládka č. 1

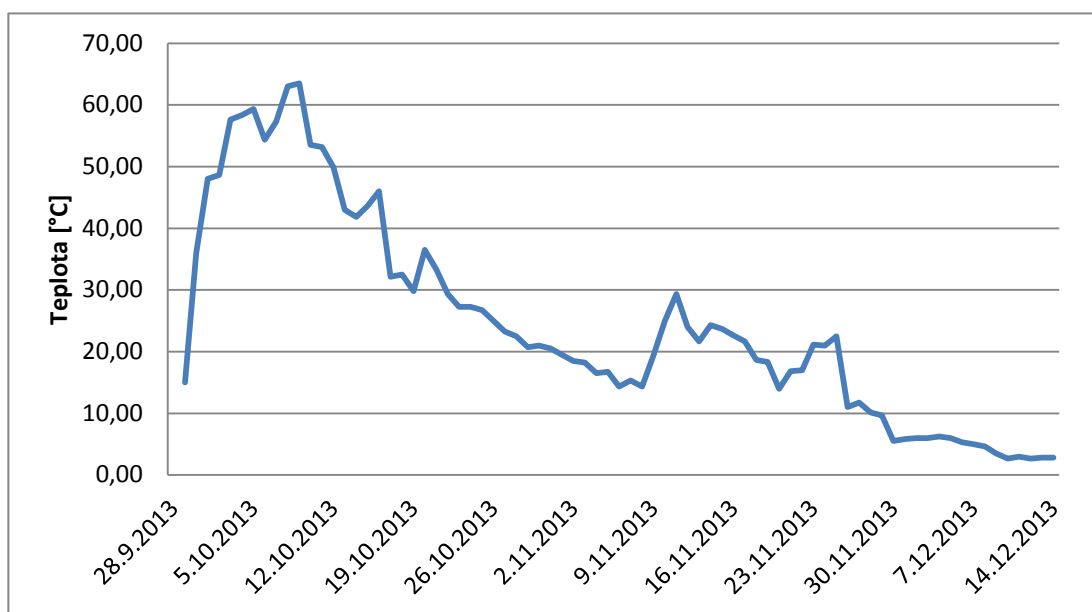


Graf 6.1 Vývoj teploty zakládky č. 1

V případě první zakládky teplota vzrostla nejméně oproti ostatním. V aktivní fázi byla dosažena maximální teploty 53,33 °C, tato teplota byla částečně snižována překopávkami. Při této teplotě došlo k částečné likvidaci většiny lidských, živočišných a rostlinných patogenů, kdy se přiblížila k hranici 55°C (Roy, 2013), nicméně k zneškodnění semen nedošlo.

Ve fázi ochlazování došlo ke snížení teploty na 15°C. Fáze zrání zaznamenala ještě jeden výkyv teplot na 27°C a poté se snížila na 3°C. Celková průměrná teplota vyšla 20,8°C a minimální 2,2°C.

Zakládka č. 2

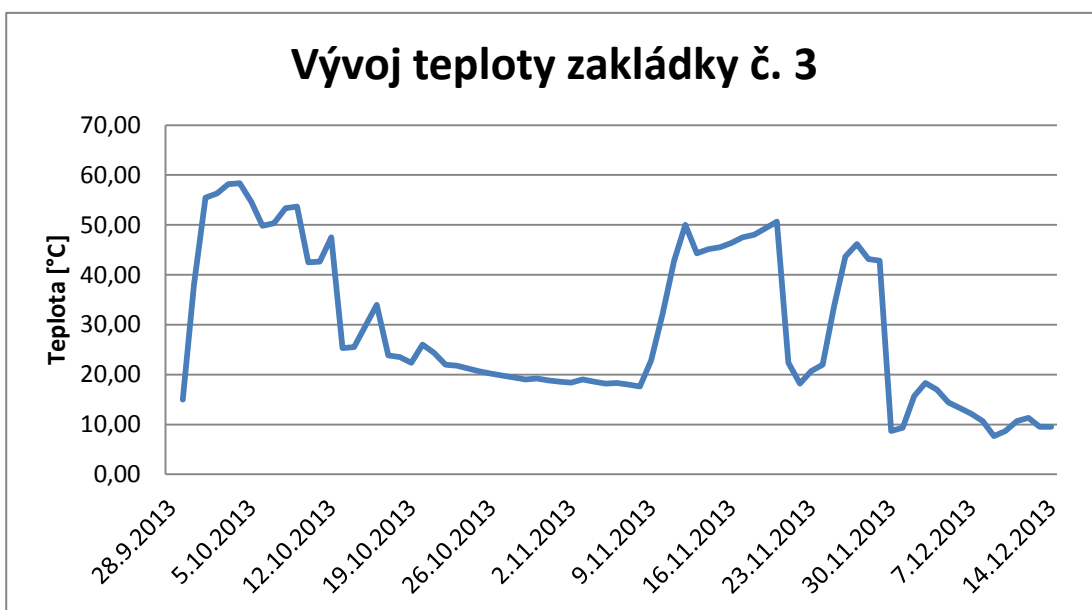


Graf 6.2 Vývoj teploty zakládky č. 2

U druhé zakládky teplota vzrostla nejvíce oproti ostatním. V aktivní fázi bylo dosaženo maximální teploty 63,5 °C, tato teplota byla částečně snižována překopávkami. Při této teplotě nad 55°C došlo k likvidaci lidských, živočišných a rostlinných patogenů, též se přiblížila k teplotě 65°C nutné k zneškodnění semen (Roy, 2013).

Ve fázi ochlazování došlo ke snížení teploty na 14,3°C. Fáze zrání zaznamenala ještě vzrůst teploty na 26°C a poté se snížila na 3°C. Celková průměrná teplota vyšla 23,9°C a minimální 2,5°C.

Zakládka č. 3

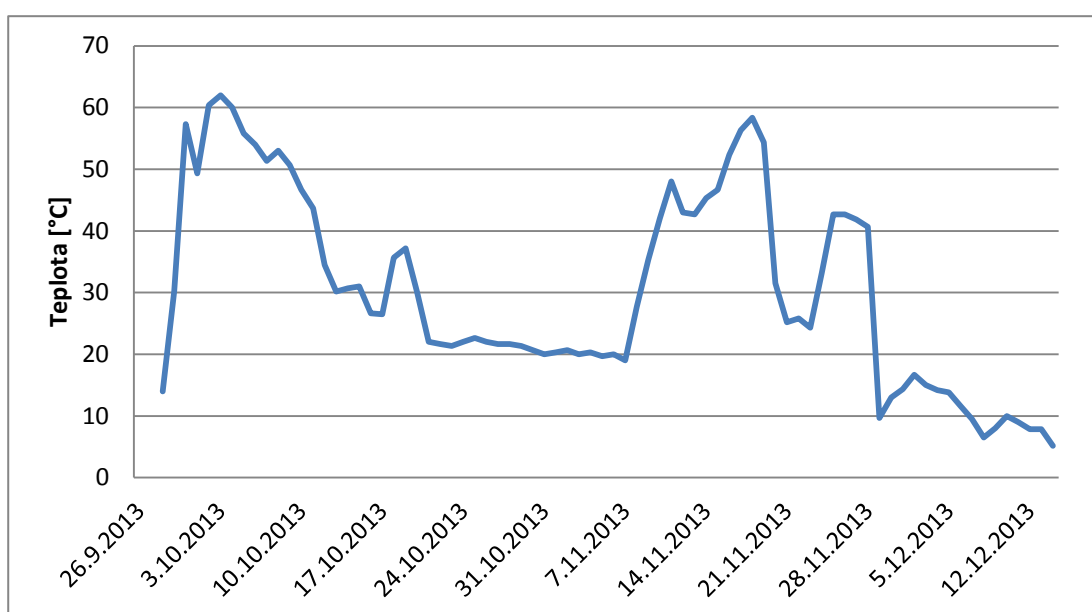


Graf 6.3 Vývoj teploty zakládky č. 3

Třetí zakládka se teplotně pohybovala od 5,8°C do 58°C. V aktivní fázi se dosáhlo maximální teploty 58,3 °C, tato teplota byla částečně snižována překopávkami. Při této teplotě nad 55°C došlo k likvidaci lidských, živočišných a rostlinných patogenů, nicméně teploty 65°C nutné k zneškodnění semen nedosáhla (Roy, 2013).

Ve fázi ochlazování došlo ke snížení teploty na 18,2°C. Fáze zrání zaznamenala v podstatě ještě jeden termofilní proces, kdy teploty dosáhly ke hranici 50°C. Toto opakování termofilní fáze je připisováno aplikaci přípravku ke kompostování během překopávek. Po ukončení aplikace klesla teplota k hodnotám okolo 10°C. Celková průměrná teplota vyšla 28,41°C a minimální 5,8°C.

Zakládka č. 4



Graf 6.4 Vývoj teploty zakládky č. 4

Čtvrtá zakládka se teplotně pohybovala od 6°C do 60°C. V aktivní fázi se dosáhlo maximální teploty 62°C, tato teplota byla částečně snižována překopávkami. Při této teplotě nad 55°C došlo k likvidaci lidských, živočišných a rostlinných patogenů, nicméně k teplotě 65°C nutné k zneškodnění semen (Roy, 2013) se pouze přiblížila.

Ve fázi ochlazování došlo ke snížení teploty na 20,3°C. Fáze zrání zaznamenala v podstatě ještě jeden termofilní proces, kdy teploty dosáhly ke hranici 58°C. Toto opakování termofilní fáze je připisováno aplikaci přípravku ke kompostování během překopávek. Po ukončení aplikace klesla teplota k hodnotám okolo 7°C. Celková průměrná teplota vyšla 29,93°C a minimální 5,1°C.

6.2 Měření vlhkosti

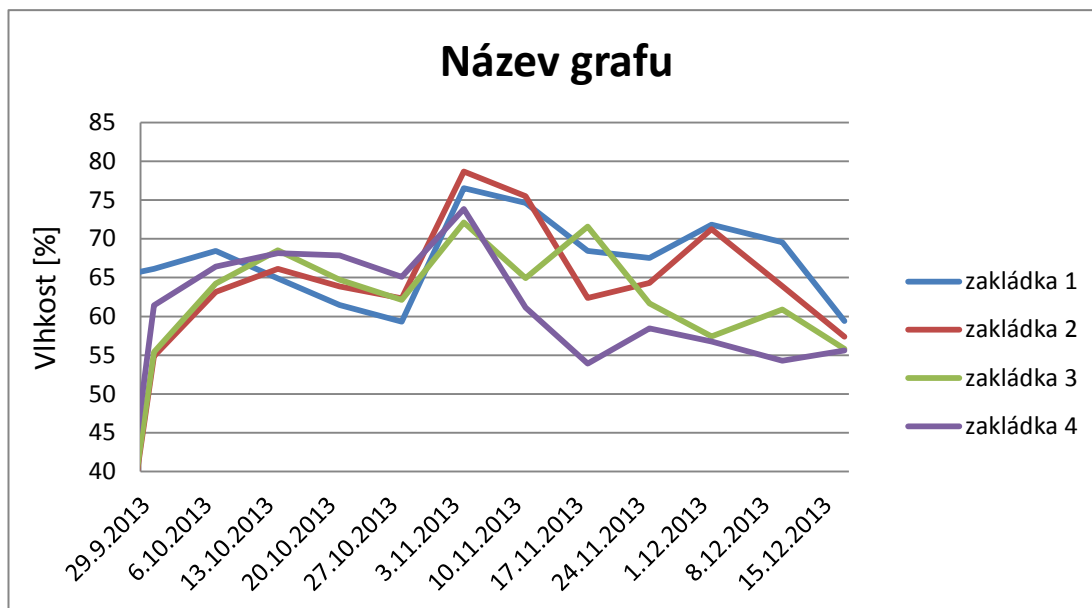
Během měření byl zjištěn vývoj vlhkosti v jednotlivých zakládkách a zpracovaly se výsledky, tak aby mohly být využity k doplnění porovnání s měřením biologické stability.

Měření probíhalo podle metodiky a naměřené hodnoty byly zpracovány do tabulky. Vývoj vlhkosti pro jednotlivé zakládky znázorňují následující grafy.

Tabulka 6.2 Průměry z naměřených vlhkostí pro jednotlivé zakládky

Datum měření	Průměrná vlhkost			
	Zakládka			
	1	2	3	4
23.9.2013	64,45			
30.9.2013	66,12	54,87	55,42	61,41
7.10.2013	68,45	63,15	64,25	66,44
14.10.2013	64,88	66,15	68,54	68,15
21.10.2013	61,48	63,88	64,74	67,88
28.10.2013	59,34	62,34	62,13	65,12
4.11.2013	76,54	78,66	72,1	73,85
11.11.2013	74,65	75,51	64,93	61,13
18.11.2013	68,44	62,40	71,56	53,90
25.11.2013	67,52	64,33	61,67	58,45
2.12.2013	71,84	71,23	57,44	56,79
10.12.2013	69,54	63,91	60,91	54,30
17.12.2013	59,40	57,40	55,83	55,61

Po zpracování výsledků do grafu je zřetelné, že po založení narostla vlhkost k hranici 65 %, a potom mírně klesala u všech zakládek, která může být přičítána termofilní fázi. Zásahem do kompostování dodávkou cca 357 l/zakládku došlo o nárůst vlhkosti v rozmezí od 15 do 20 %. Následoval mírný pokles pro první dvě zakládky. Naopak u třetí a čtvrté se promítla aplikace přípravku pro kompostování. S nárůstem teploty klesala vlhkost i přes malé dodávky vody (viz tabulka 5.3).



Graf 6.5 Vývoj vlhkostí pro všechny zakládky

6.3 Měření stability

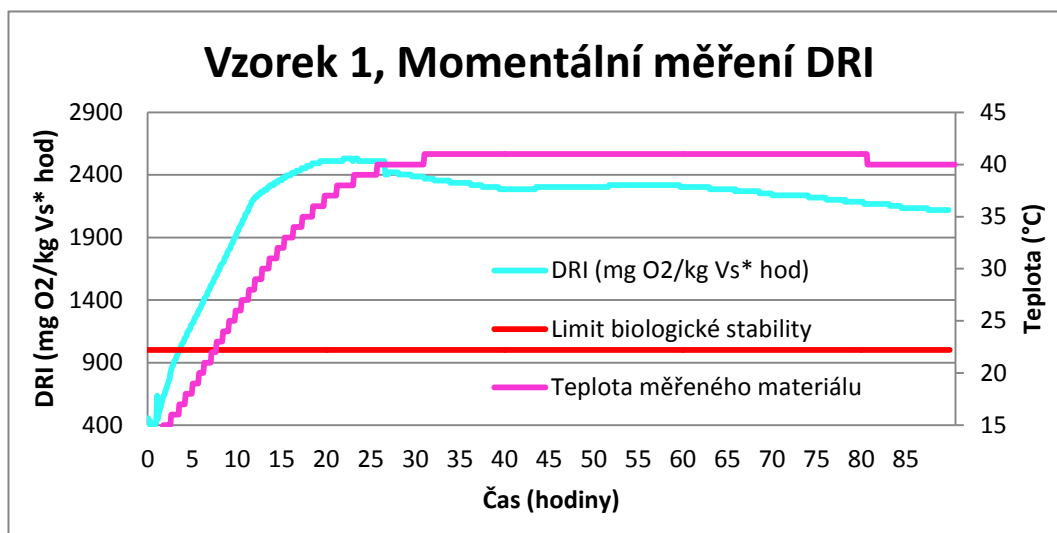
Toto měření se zaměřovalo na sledování DRI a jeho hodnotu pro jednotlivé zakládky v různých fázích kompostování.

Při zpracování dat z respirometru, bylo použito vyhodnocení pomocí grafů, které zobrazují vývoj teploty během měření a zaznamenané hodnoty DRI. Též je tam zanesena červenou čarou hodnota $1000 \text{ mgO}_2 \text{ kg VS}^{-1}\text{h}^{-1}$ jako hranice stanovená pro biologickou stabilitu.

6.3.1 Zakládka č. 1

Měření č. 1

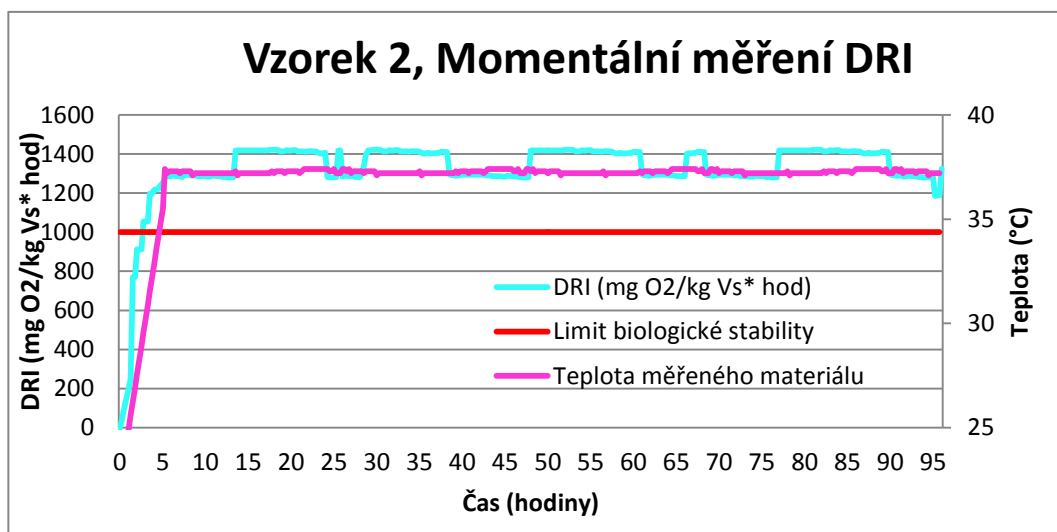
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 7,145 kg, hustota byla 246,4 kg/m³ vlhkost 65 %, podíl spalitelných látek 84 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 52 %.



Graf 6.6 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI, červeně je vyznačena hranice DRI pro biologicky stabilní materiály

Měření č. 2

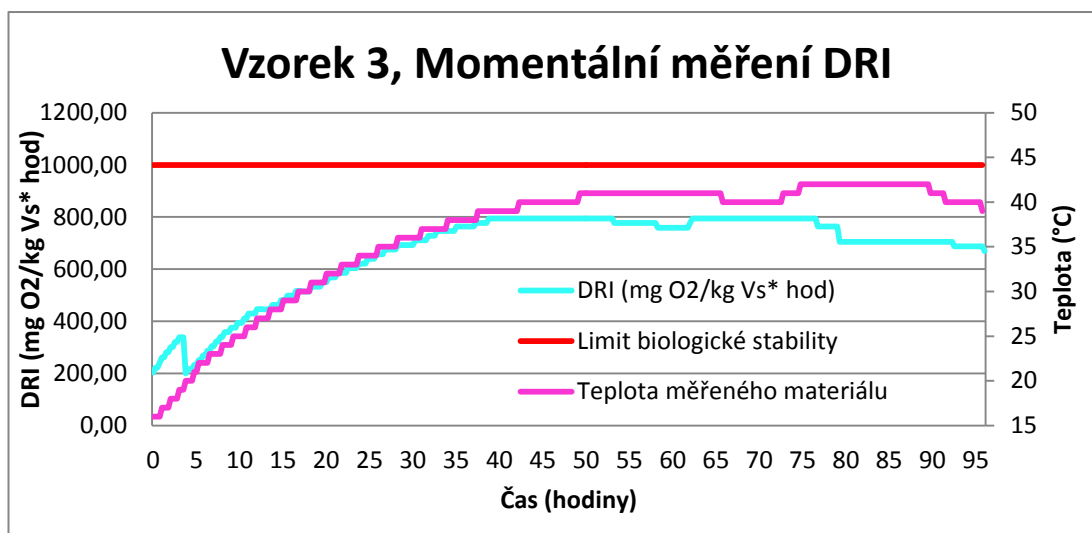
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 11,452 kg, hustota byla 394,92 kg/m³ vlhkost 64 %, podíl spalitelných látek 69 % teplota v laboratoři 23°C, vlhkost v laboratoři 35 %.



Graf 6.7 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 3

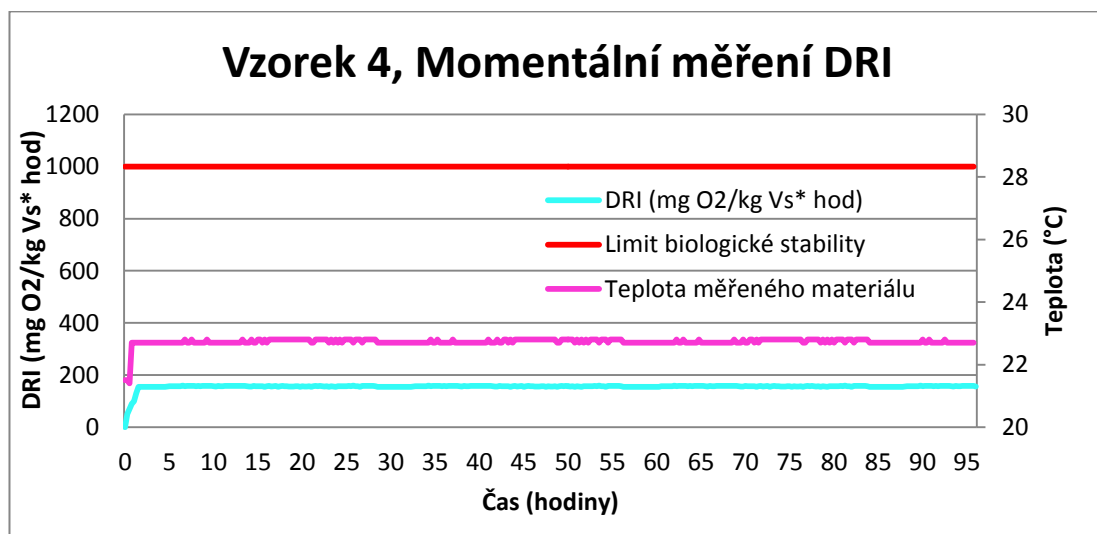
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 15,503 kg, hustota byla 534,6 kg/m³ vlhkost 75 %, podíl spalitelných látek 48 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 37 %.



Graf 6.8 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 4

Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 19,438 kg, hustota byla 670,3 kg/m³ vlhkost 67 %, podíl spalitelných látek 32 % teplota v laboratoři 22°C, vlhkost v laboratoři 56 %.

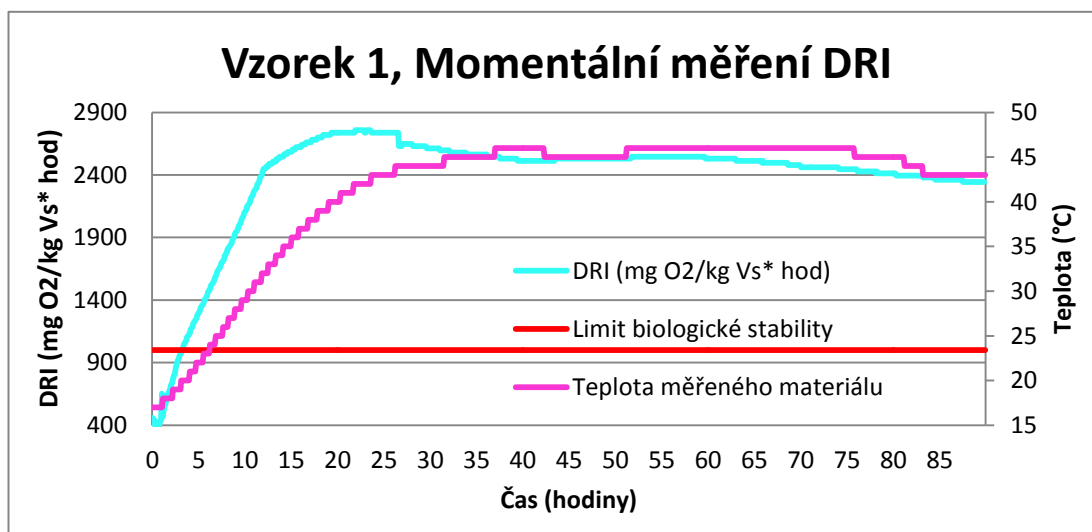


Graf 6.9 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

6.3.2 Zakládka č. 2

Měření č. 1

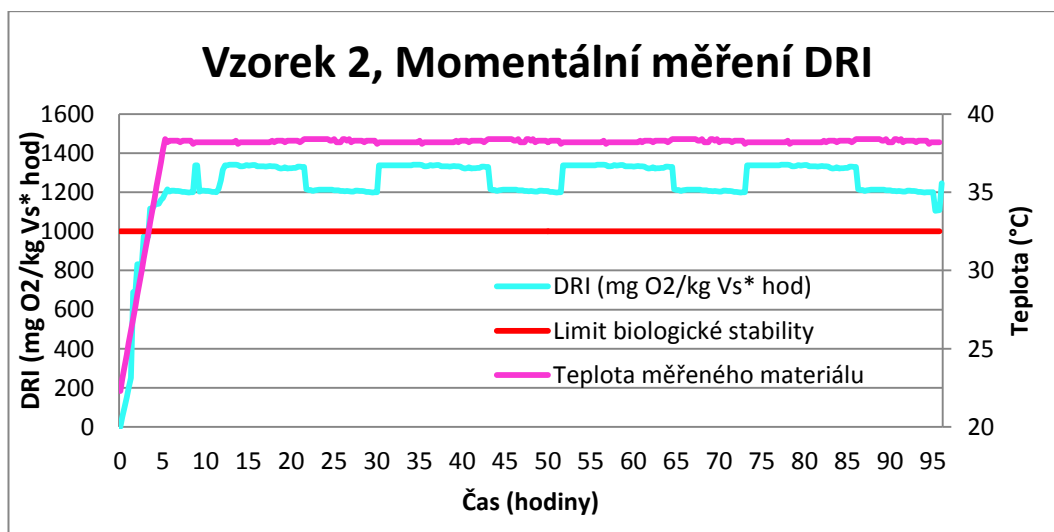
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 7963,4 kg, hustota byla 274,63 kg/m³ vlhkost 54 %, podíl spalitelných látek 82 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 48 %.



Graf 6.10 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 2

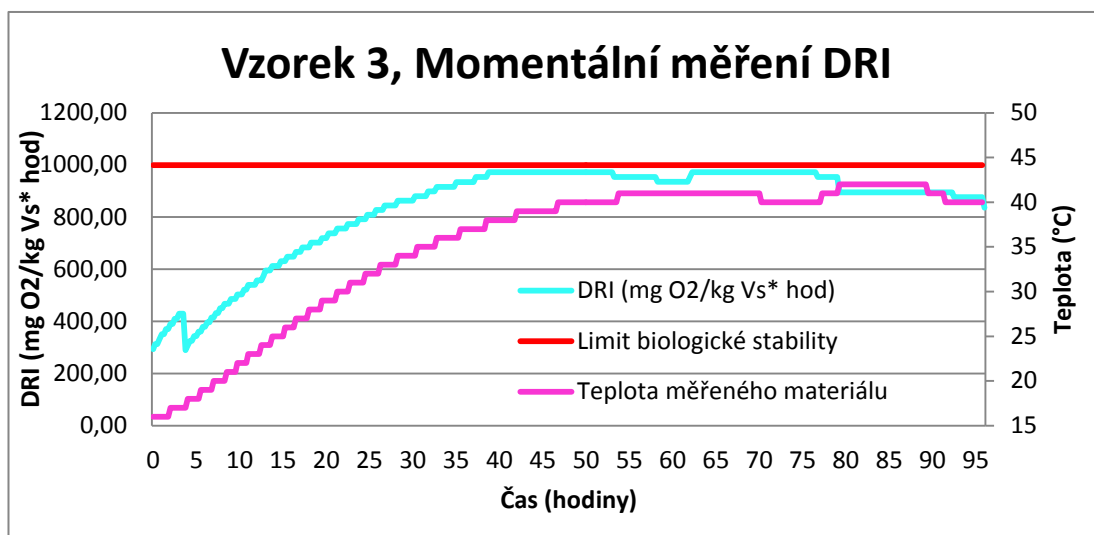
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 12,954 kg, hustota byla 446,7 kg/m³ vlhkost 64 %, podíl spalitelných látek 74 % teplota v laboratoři 22°C, vlhkost v laboratoři 26 %.



Graf 6.11 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 3

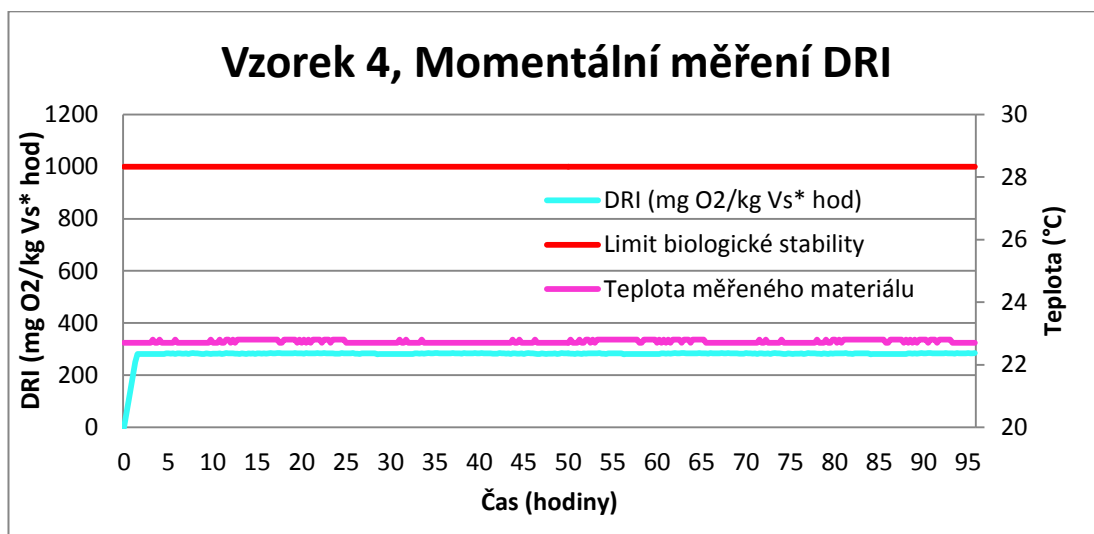
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 16,959 kg, hustota byla 584,85 kg/m³ vlhkost 77 %, podíl spalitelných látek 63 % teplota v laboratoři 23°C, vlhkost v laboratoři 33 %.



Graf 6.12 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 4

Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 24,644 kg, hustota byla 849,83 kg/m³ vlhkost 68 %, podíl spalitelných látek 50 %, teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 44 %.

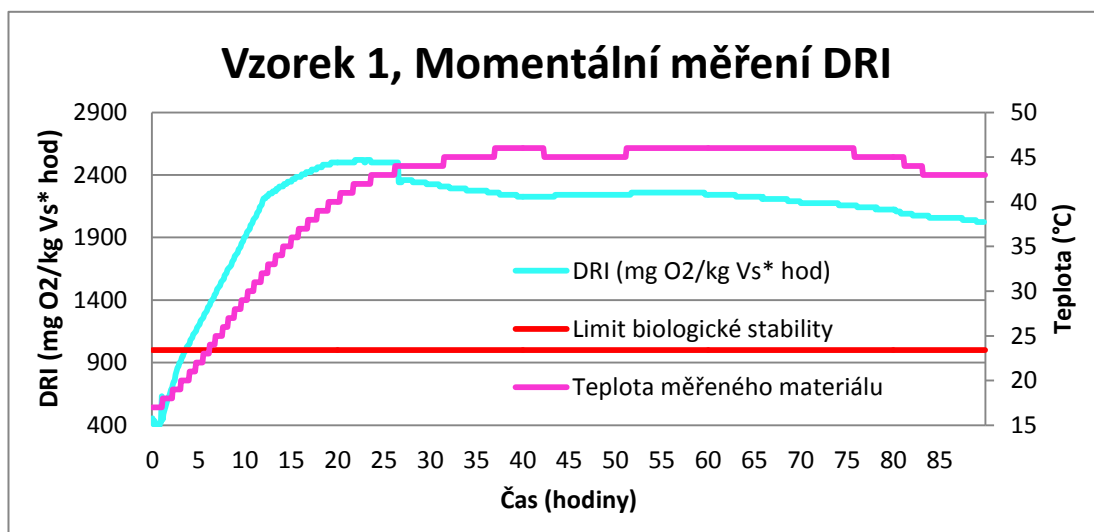


Graf 6.13 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

6.3.3 Zakládka č. 3

Měření č. 1

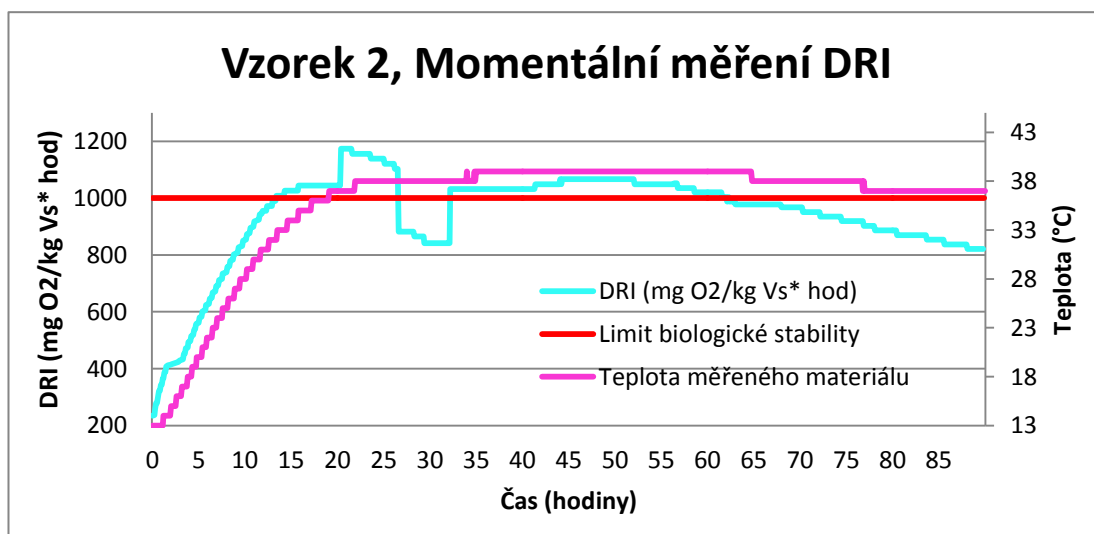
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 8,879 kg, hustota byla 306,2 kg/m³ vlhkost 59 %, podíl spalitelných látek 78 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 51 %.



Graf 6.14 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 2

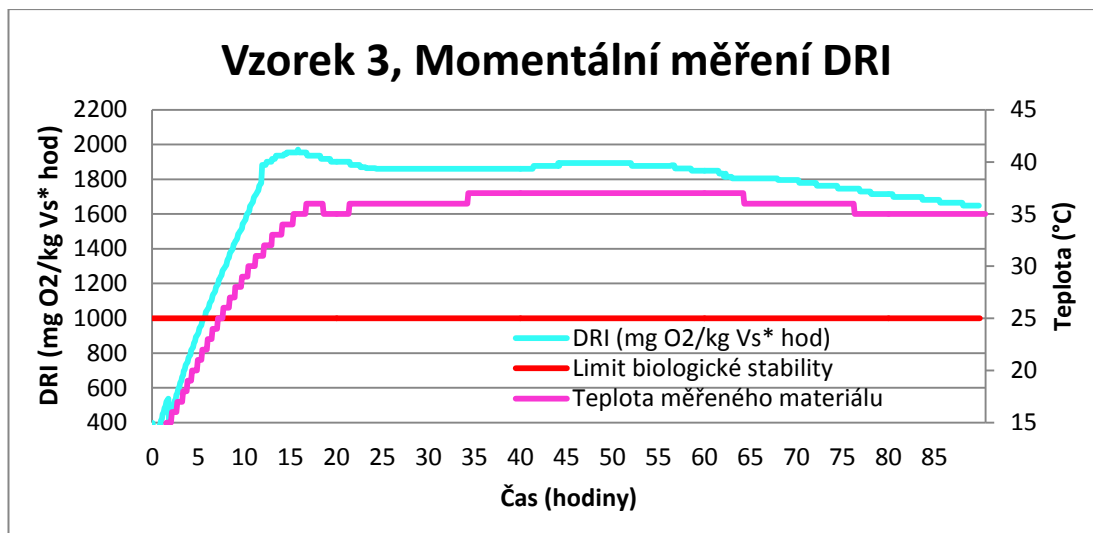
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 16,485 kg, hustota byla 431,5 kg/m³ vlhkost 63 %, podíl spalitelných látek 62 % teplota v laboratoři 22°C, vlhkost v laboratoři 43 %.



Graf 6.15 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 3

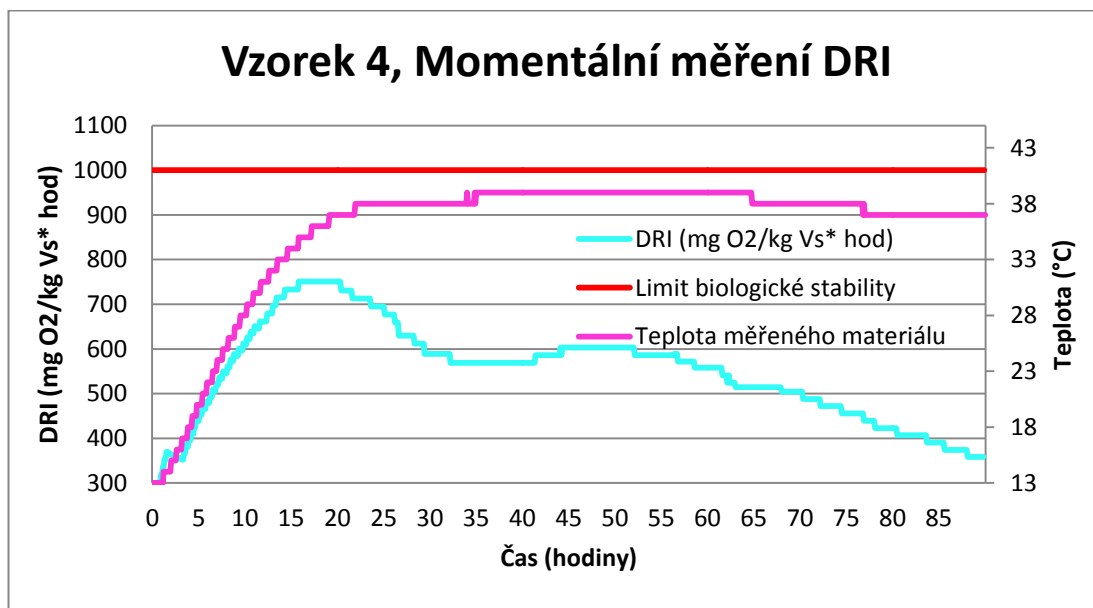
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 14,12 kg, hustota byla 486,9 kg/m³ vlhkost 65 %, podíl spalitelných látek 41 % teplota v laboratoři 23°C, vlhkost v laboratoři 22 %.



Graf 6.16 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 4

Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 19,007 kg, hustota byla 655,42 kg/m³ vlhkost 58 %, podíl spalitelných látek 23 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 53 %.

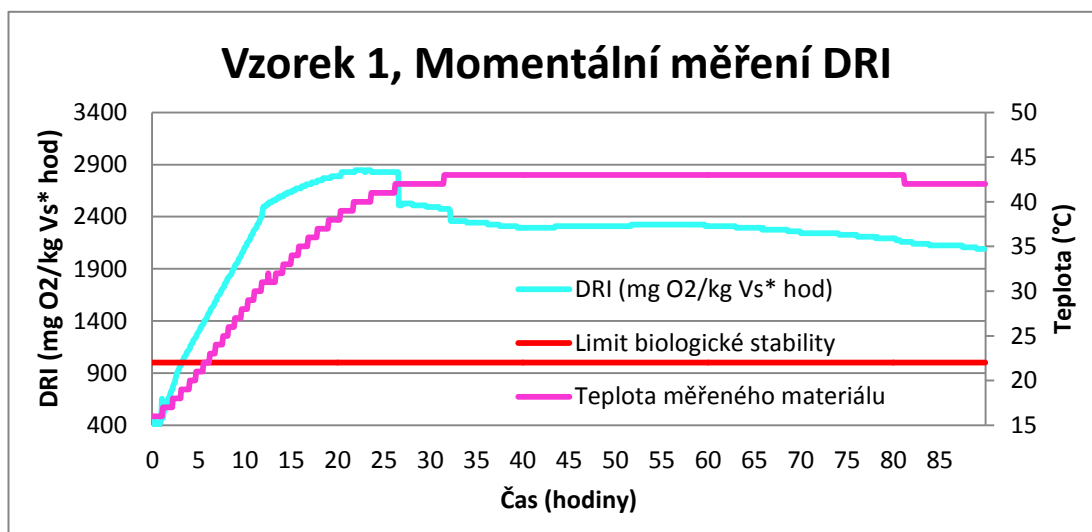


Graf 6.17 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

6.3.4 Zakládka č. 4

Měření č. 1

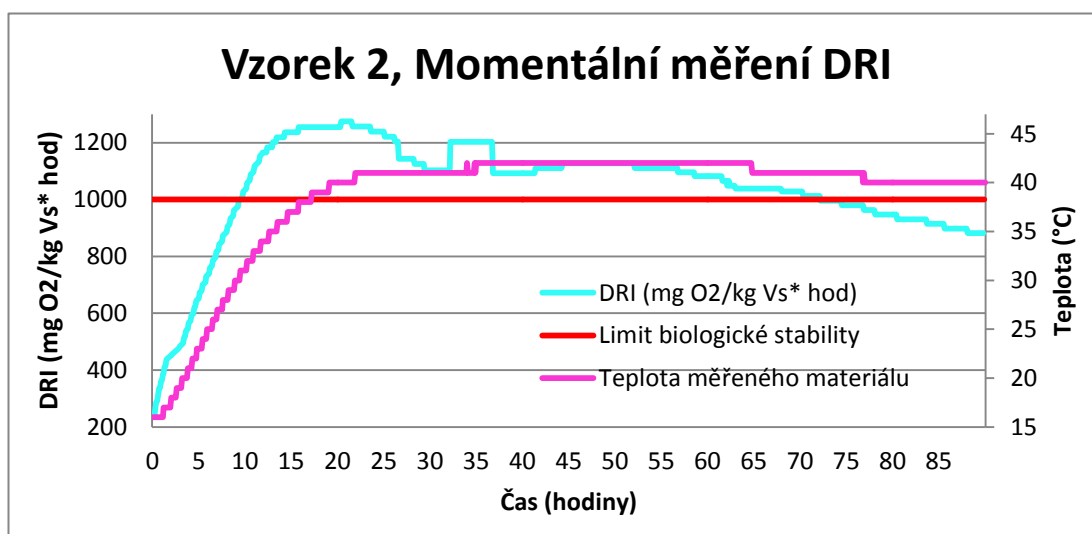
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 7,653 kg, hustota byla 263,97 kg/m³ vlhkost 66 %, podíl spalitelných látek 81 % teplota v laboratoři 22°C, vlhkost v laboratoři 59 %.



Graf 6.18 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 2

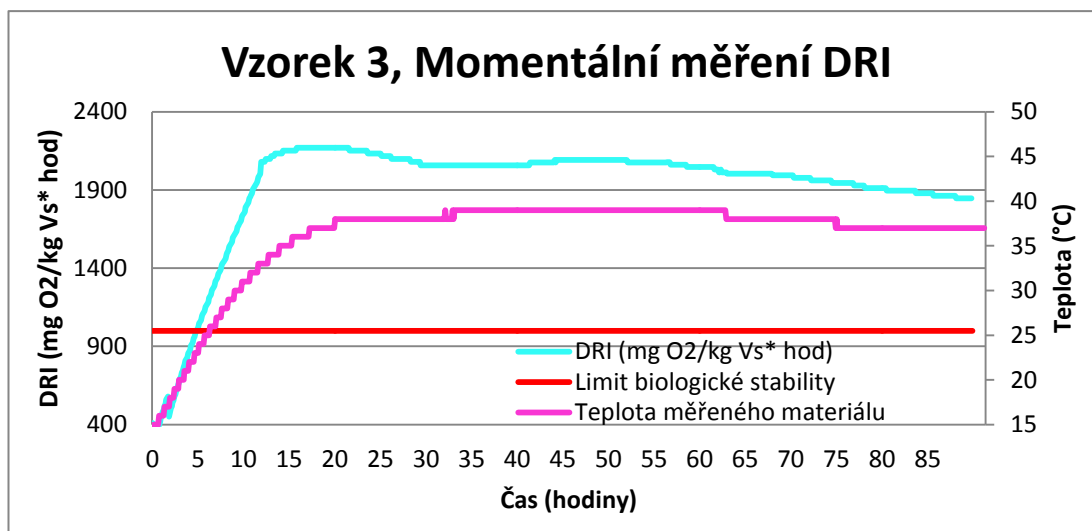
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 13,061 kg, hustota byla 450,4 kg/m³ vlhkost 67 %, podíl spalitelných látek 66 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 35 %.



Graf 6.19 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 3

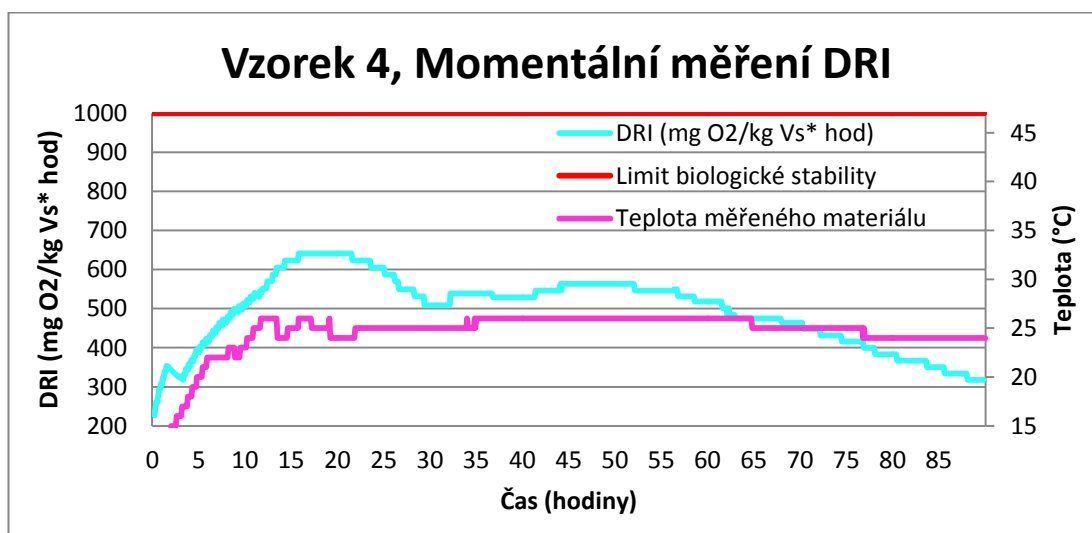
Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 19,830 kg, hustota byla 683,8 kg/m³ vlhkost 56 %, podíl spalitelných látek 36 % teplota v laboratoři 21°C, vlhkost v laboratoři 55 %.



Graf 6.20 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

Měření č. 4

Vstupní parametry vzorku byly hmotnost 24,873 kg, hustota byla 857,7 kg/m³ vlhkost 55 %, podíl spalitelných látek 20 % teplota v laboratoři 24°C, vlhkost v laboratoři 22 %.



Graf 6.21 Zaznamenané momentální hodnoty měření teploty a DRI

7 Diskuse a závěr

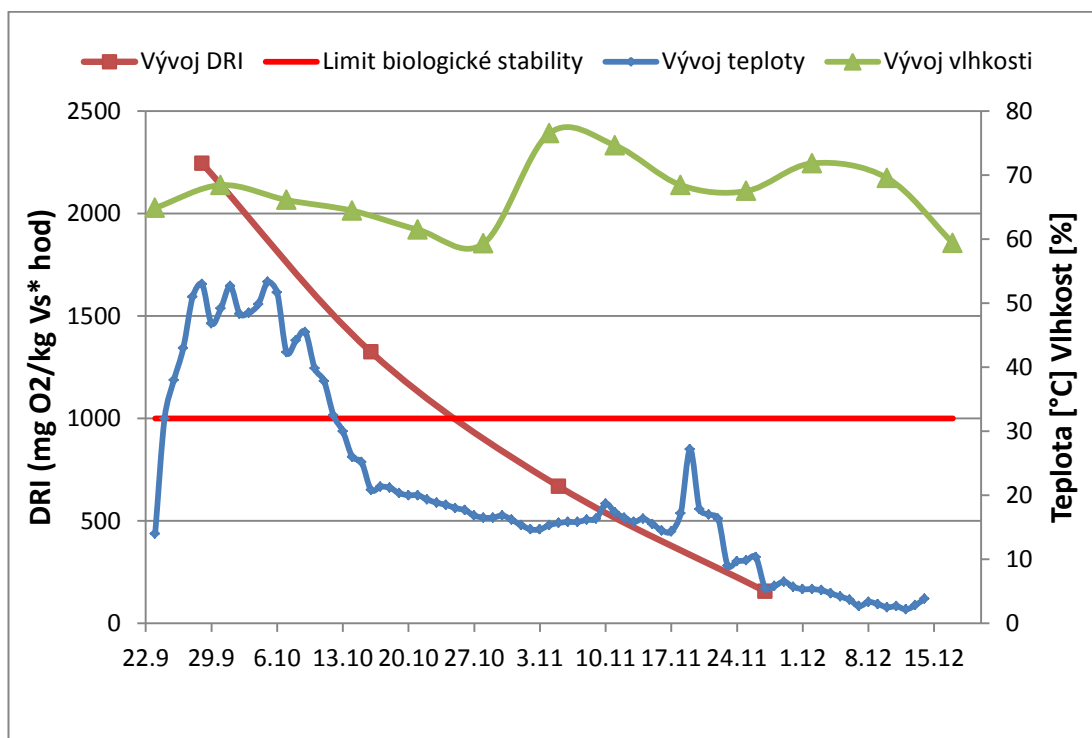
7.1 Diskuse

Po provedení měření bylo dosaženo výsledků, které z části potvrdily předpoklady, zároveň část výsledků překvapila. Nicméně po detailnější se seznámením s původem materiálů usuzujeme, že výsledky jsou odpovídající očekávání. Lze tedy vyhodnotit vliv složení zakládek při využití respirometru v jednotlivých fázích výroby.

Pro interpretaci výsledků byla zvolena forma grafů, které zobrazují vývoj všech měřených záznamů v čase. Tuto formu byla vybrána z důvodu názorného zobrazení naměřených hodnot a možnosti vzájemného porovnání.

7.1.1 Zakládky č. 1 a č. 2

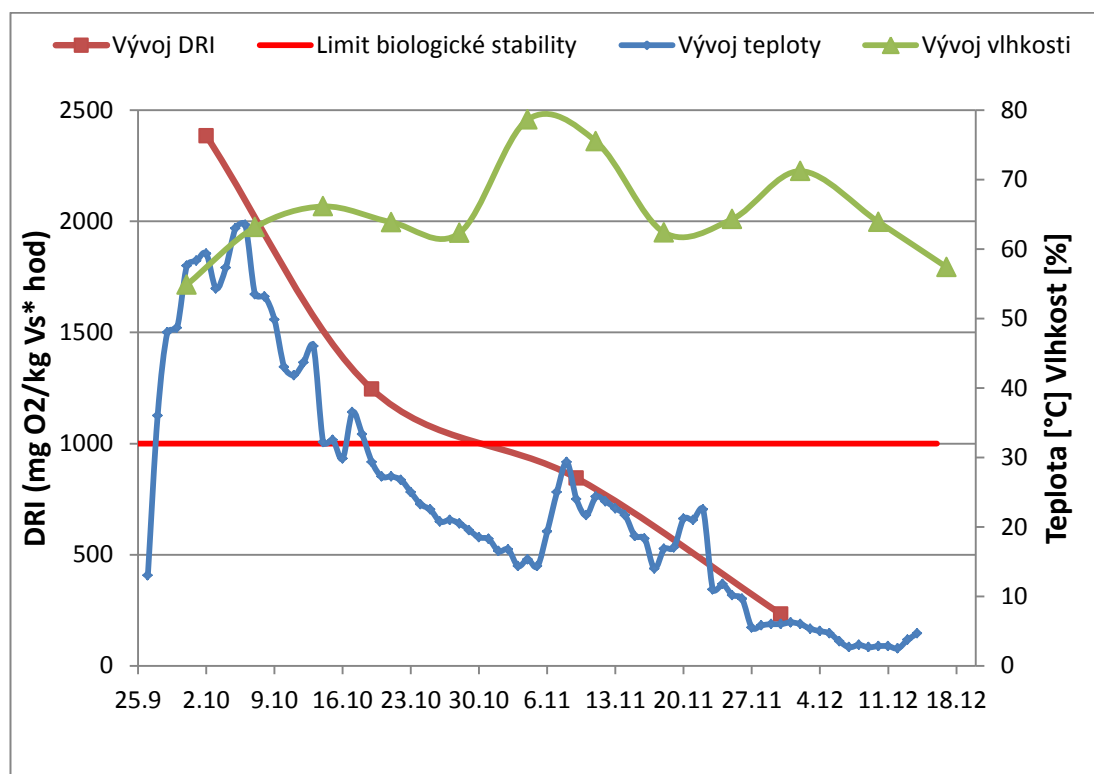
Pro první zakládku založenou od 23. září 2013 měl poměr obsahu C:N hodnotu 19,9 : 1. Z tohoto důvodu měl vhodné předpoklady pro ideální průběh kompostování, neboť k optimálnímu využití uhlíku a dusíku mikroorganismy dochází při poměru C:N (25-30) : 1. (Plíva at. al, 2006)



Graf 7.1 Porovnání všech zaznamenaných hodnot v čase pro první zakládku doplněný o limit biologické stability

Z tohoto grafu je patrné, že předpoklady byly naplněny a proces se výrazně přiblížil k optimálním podmínkám. V první fázi se teplota pohyboval na úrovni 50°C z toho lze usuzovat velkou mikrobiální aktivitu. Tato domněnka byla potvrzena naměřenou průměrnou hodnotu DRI 2245 mg O₂ kg VS⁻¹h⁻¹. Tato hodnota výrazně překračuje limit biologické stability stanovený na 1000 mg O₂ kg VS⁻¹h⁻¹. S postupným poklesem teploty v dalších fázích, rostla i biologická stabilita, neboť druhé měření se přiblížilo k hranici biologické stability a následující dvě hodnoty byly už pod ní. Hodnota posledního měření DRI vyšla 156 mg O₂ kg VS⁻¹h⁻¹, kdy můžeme konstatovat, že se jedná o stabilní a vyzrálý kompost.

Pro druhou zakládku založenou 26. září 2013 byl upraven poměr obsahu C:N na hodnotu 24,5 : 1. Průběh naměřených hodnot byl obdobný jako u první zakládky. Vývoj porovnávaných veličin zachycuje graf 7.2.

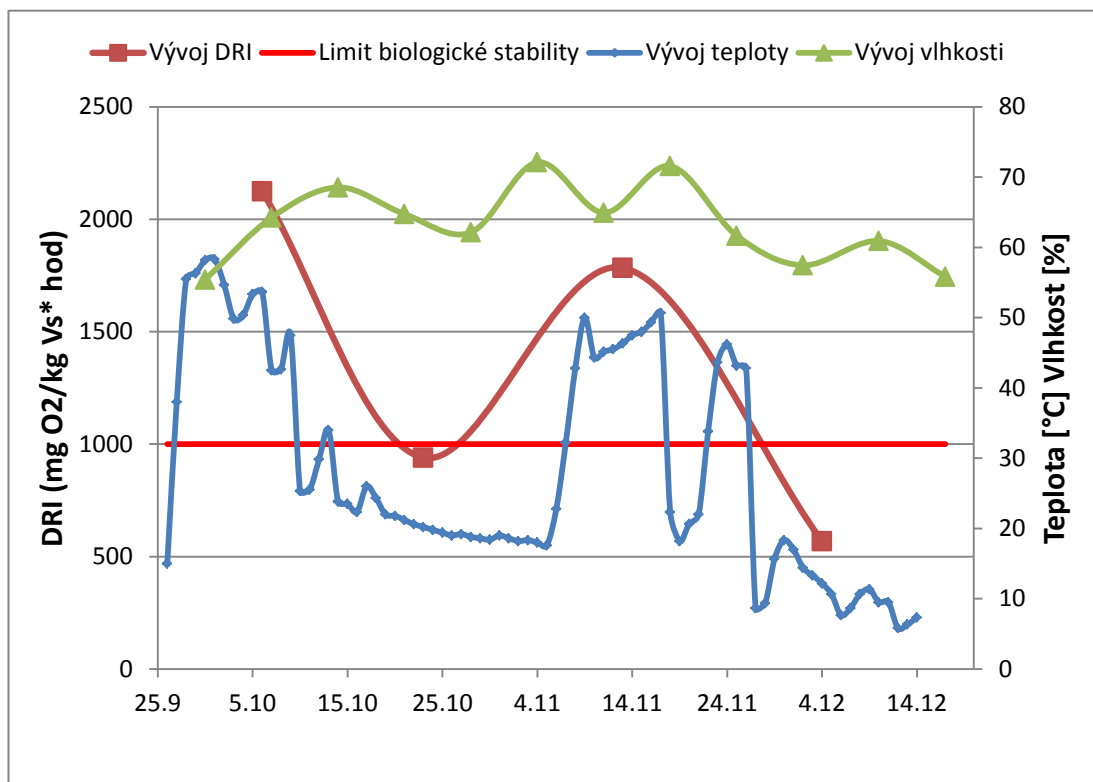


Graf 7.2 Porovnání všech zaznamenaných hodnot v čase pro druhou zakládku doplněný o limit biologické stability

7.1.2 Zakládky č. 3 a č. 4

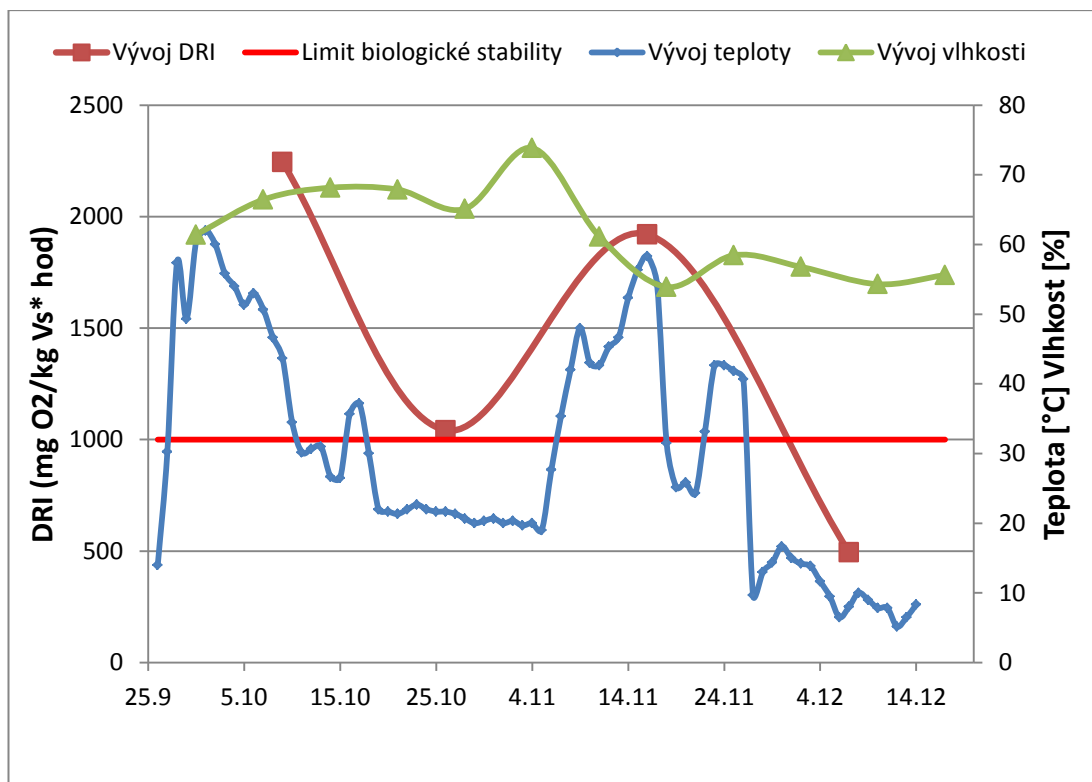
Obě tyto zakládky byly založeny 26. září 2013. U třetí byl poměr C:N volen k horní hranici optimálního rozsahu C:N 29,1:1 a u čtvrté naopak k spodní C:N 26,3:1. To se mohlo projevit na vysoké teplotě a vysoké hodnotě DRI v první fázi. Navzdory tomu došlo následně u obou zakládek k vysokému propadu teploty a i

hodnota DRI se již při druhém měření dostala pod hranici limitu biologické stability. To bylo jedním z důvodů, proč byl do těchto zakládek v druhé polovině kompostování přidáván přípravek pro zvýšení mikrobiální aktivity během překopávání. Záměr byl potvrzen dalším vývojem, neboť vzrostla teplota a hodnota DRI pro obě zakládky u třetího měření přesahovala vysoce limit biologické stability. Při čtvrtém měření DRI již bylo dosaženo hodnot pod limitem, přesto zakládky nebyly na stejné kvalitě jako v prvních dvou případech.



Graf 7.3 Porovnání všech zaznamenaných hodnot v čase pro třetí zakládku doplněný o limit biologické stability

Při pohledu na vývoj teploty je zřejmý vliv překopávek na vývoj kompostovacího procesu. Každá překopávka je doprovázena poklesem a poté nárůstem teploty. Proto je vhodné se odkázat na tabulku 5.2, ve které jsou uvedeny data překopávek. Překopáním kompostu se, v reakci na pokles teploty, dosáhlo dodávky kyslíku za účelem vytvoření aerobního prostředí kompostu, které následně umožňuje mikrobiální aktivitu.



Graf 7.4 Porovnání všech zaznamenaných hodnot v čase pro čtvrtou zakládku doplněný o limit biologické stability

7.2 Závěr

Kompostování bio odpadů je možno považovat za jednu z technologií přispívajících k trvale udržitelnému životu na této planetě. Tato technologie minimalizuje vznik skleníkového plynu metanu vznikajícího při skládkování bio odpadů a vyrobený kompost trvaleji zabezpečuje úrodnost půdy. Ekologický účinek kompostování bio odpadů se zvyšuje v kombinaci s technologií anaerobní digesce. V budoucnosti bude kompostování aplikováno nejen při využívání, ale i při likvidaci nevyužitelných biologických odpadů.

Od roku 1998 je evidentní nárůst zájmu o kompostování odpadů a to zejména odpadů z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, dřevní štěpka). Na základě obnoveného zájmu zemědělců o hnojení průmyslovými komposty se zprovozňují staré kompostárny a rozbíhají se nové podnikatelské záměry.

Právě v těchto kompostárnách považují za nutné používat respirometry při procesu kompostování. Běžně jsou kompostárny opatřeny zařízeními sledujícími vývoj teploty, vlhkosti a obsahu kyslíku v zakládce. Na základě těchto dat může obsluha, popřípadě software, zasahovat do procesu. Nicméně doplněním o měření mikrobiální aktivity vznikne další pohled na stále zkoumané prostředí přeměny organických látek, vtažů s dalšími veličinami a vlivu technologických vstupů. Ideální by byla též spolupráce s firmou Coramexport na vývoji zařízení, a vytvořit tak přístroj který není omezen na zakládání materiálu do těla respirometru, nýbrž by pomocí sond dokázal měřit DRI přímo v zakládce.

Vývoj měření stability se posouvá stále kupředu, usuzuji tak podle rozšiřující se dostupnosti hodnot DRI pro jednotlivé materiály, ale i pro směsi. Navzdory tomu těchto zdrojů je stále malé množství a v případě hodnot z měření DRI v jednotlivých fázích kompostování je prostor pro další výzkum. K těmto účelům, dle mého názoru může být využit přístroj Ramko 2. V případě zájmu katedry navrhuji spolupráci přímo s kompostárnou, kde by mohla odpadnout starost s zakládáním a správou kompostů. Vznikl by tak prostor pro měření DRI při přeměně organických látek a možnost opakování měření pro větší statistickou hodnotu. Tyto výsledky bych porovnával s ostatními v Evropě a dále je publikoval v metodikách nebo vědeckých člancích.

Z mého hlediska posouzení a na základě naměřených hodnot, jsem došel k závěru, že i přes počáteční problémy se zázemím a navzdory personálními změnám

na postech vedoucího práce a se podařilo splnit stanovený cíl práce a ověřit vliv poměru C:N zakládky v průběhu kompostování pomocí respirometru katedry Zemědělské dopravní a manipulační techniky.

8 Seznam použité literatury

- [1]. ADANI F., GUGLIOTTI G., VALENTINI F. AND LARAIA R.: Respiration index determination: a comparative study of different methods. *Compost Science & Utilization*, 11 (2), 2003, 144-151.
- [2]. ADANI, F., HABART, J.: Biologická stabilita, dynamický respirační index a jeho uplatnění v odpadové hospodářství. *Biom.cz* [online]. 2003-09-01 [cit. 2014-04-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biologicka-stabilita-dynamicky-respiracni-index-a-jeho-uplatneni-v-odpadove-hospodarstvi>>. ISSN: 1801-2655.
- [3]. ADANI, F., TAMBONE, F.: Evoluzione della componente organica. in ADANI et al., 2003
- [4]. ADANI F. TAMBONE F.: Evoluzione della componente organica. In : P.L. Genevini (eds.). *Compost e agricoltura*, Fondazione Lombardia per l'Ambiente, pp. 1998. 75-119.
- [5]. BINNER, E.: Effect of Mechanical-biological treatment on landfilling, biowaste workshop, Vídeň, 2002
- [6]. CORAMEXEXPORT. *CORAMEXEXPORT s.r.o.* [online]. 2013 [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://coramexport.cz/?lang=cs>
- [7]. HEJÁTKOVÁ, K.: *Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka*. Vyd. 1. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007, 74 s. ISBN 978-80-903548-6-9.
- [8]. HULEŠ, L.: Kompost a kompostér. *Biom.cz* [online]. 2007-05-09 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompost-a-komposter>>. ISSN: 1801-2655.
- [9]. IANNOTTI, D.A., T PANG, B.L. TOTH, D.L. ELWELL, H.M. KEENER AND, H.A.J. HOITINK.: A quantitative respirometric method for monitoring compost stability, *Compost Science & Utilization*, 1 (3): 52-65, 1993,
- [10]. KALINA, M.: *Kompostování a péče o půdu*, edice Grada Publishing, s. r. o., Praha 7, 1999, 112 s., první vydání
- [11]. KALINA, M.: *Kompostování a péče o půdu*. 2., upr. vyd. Praha: Grada, 2004. Česká zahrada. ISBN 80-247-0907-4.

- [12]. KÁRA, J., PASTOREK, Z., JELÍNEK, A.: Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002-01-31 [cit. 2014-04-25]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [13]. KOLLÁROVÁ, M., PLÍVA, P.: Kompostování travní hmoty z údržby trvalých travních porostů. [Composting of grass matter from permanent grassland maintenance]. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. 24 s. ISBN 978-80-86884-36-3
- [14]. KOLLÁROVÁ, M.: *Zásady pro zpracování zbytkové biomasy z údržby TTP*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008, 35 s. ISBN 978-80-86884-32-5.
- [15]. LASARIDI K.E. AND STENTIFORD E.D.: A simple respirometric technique for assessing compost stability, 1998, *Water Research*, 32: 3717-3723,
- [16]. LASARIDI K.E. AND STENTIFORD E.I.: Respirometric techniques in the context of compost stability assessment: principles and practice, In: de Bertoldi, P. Sequi, B. Lemmes and T. Papi (eds). *The Science of Composting*, Blackie Academic & Professional, London, 1996, pp. 567-576.
- [17]. LEMAIRE, F.: The problem of the biostability in organic substrates, *Proceedings of the international symposium on growing media and plant nutrition in horticulture*, No. 450, 63 – 69; 1997
- [18]. LOZZI, P., HABART, J.: Analytické přístroje firmy Costech. *Biom.cz* [online]. 2003-10-13 [cit. 2014-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/analyticke-pristroje-firmy-costech>>. ISSN: 1801-2655.
- [19]. MACOUREK, M.: Optimalizace surovinové skladby při kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2002-11-05 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/optimalizace-surovinove-skladby-pri-kompostovani-zbytkove-biomasy>>. ISSN: 1801-2655.
- [20]. MÜLLER W., K. FRICKE AND, H. VOGTMANN.: Biodegradation of organic matter during mechanical biological treatment of MSW, 1998, *Compost Science & Utilization*, 6 (3): 42-52.
- [21]. PALEČEK, R.: Zařízení pro měření teplot kompostu. *Biom.cz* [online]. 2011-06-13 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zarizeni-pro-mereni-teplot-kompostu>>. ISSN: 1801-2655.

- [22]. PLÍVA, P. a kol.: Strojní vybavení kompostovací linky : schválená metodika pro praxi. [Machine equipment of composting line : methodology for practice]. 1. vyd. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2008. 16 s. ISBN 978-80-86884-33-2
- [23]. PLÍVA, P. a kol.: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006, 65 s. ISBN 80-868-8411-2.
- [24]. PLÍVA, P., JELÍNEK, A.: Výzkum snížení emisí zátěžových plynů procesem řízeného mikrobiálního kompostování. Biom.cz [online]. 2003-07-07 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-snizeni-emisi-zatezovych-plynu-procesem-rizeneho-mikrobiálního-kompostování>>. ISSN: 1801-2655.
- [25]. PLÍVA, P., LAURIK, S.: Metody měření teploty kompostu využitelné pro řízení kompostovacího procesu a archivaci dat. [Methods of the compost temperature measuring usable for control of the composting process and data archivation]. Uplatněná certifikovaná metodika. Praha : Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. 28 s. ISBN 978-80-86884-56-1
- [26]. PLÍVA, P.: Měření optimálního průběhu kompostovacího procesu. [Where it is possible to compost in belt piles]. Komunální technika, 2010, roč. 4, č. 3. s. 22-26. ISSN 1802- 2391
- [27]. PLÍVA, P. a kol.:Technika pro kompostování v pásových hromadách. VÚZT, Praha, 2005. ISBN 80-86884-02-3
- [28]. REICHLOVÁ, E., VÁŇA, J., JANOVSKEÝ, J.: Hodnocení testů zralosti kompostu, Rostlinná výroba, vol. 42, No. 2, 1996, CS ISSN: 0370-663X
- [29]. ROY, A.: Měření teploty kompostu – primárního indikátoru průběhu kompostovacího procesu. Biom.cz [online]. 2013-07-15 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz-bioodpady-a-kompostování/odborne-clanky/mereni-teploty-kompostu-primárního-indikátoru-průběhu-kompostovacího-procesu>>. ISSN: 1801-2655.
- [30]. SBORNÍK z 2 mezinárodní konference – Biologicky rozložitelné odpady, jejich zpracování a využití v zemědělské a komunální praxi. 25-26.4.2006, Hrotovice. Vydala Zera – Náměšť nad oslavou ISBN80-903648-1-5
- [31]. SCAGLIA, B., TAMBONE, F., GENEVINI, P. L., ADANI, F.: Respiration Index Determination: Dynamic and Static Approaches, Compost Science and Utilization, Vol. 8, No. 2, 2000

- [32]. SLEJŠKA, A., MUŽÍK, O., TLUKA, P.: Expertní systém pro organické hnojení na zemědělské půdě: Jaké má organický materiál, který chci využít ke hnojení, vlastnosti?. Biom.cz [online]. 2006-09-14 [cit. 2014-04-18]. Dostupné z WWW: <<http://expert.biom.cz/oh-zem.stm>>. ISSN: 1801-2655.
- [33]. STENTIFORD, E. L., HOITING, H. A. J., KEENER, H.M.: Diversity of composting systems, Science and Engineering of Composting, pp 95 – 110. Ohio University, Oh 1993 in Stentiford, 1998
- [34]. US EPA, 1996, D5975, Standard Test Method for Determining the Stability of Compost by Measuring Oxygen Consumption
- [35]. VÁŇA, J.: Kompostování odpadů. Biom.cz [online]. 2002-01-14 [cit. 2014-04-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
- [36]. VÁŇA, J.: Výroba a využití kompostů v zemědělství. 2. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Mze ČR 1997. 40s. ISBN 80-7105-144-6
- [37]. ZERA,: Management erozně ohrožených půd s využitím kompostu. Zeraagency.eu [online]. 2012 [cit. 2014-04-10] Dostupné z www: <http://www.zeraagency.eu/dokumenty/012007002/prirucka_prv_zari_2012.pdf>

9 Přílohy



Obrázek 9.1 Zakrytí kompostů folií



Obrázek 9.2 Odebírání vzorků v průběhu kompostování

Tabulka 9.2 Šablona č. 2 pro záznam naměřených hodnot pro měření stability

Datum měření		Čas měření												
Popis vzorků		Poznámka												
Vzorek	Číslo misky	měření vlhkosti						měření spalitelných látek						
		Váha misky			Váha vzorku po vysušení	Váha vzorku	Vlhkost vzorku	Váha misky			Spalitelné látky			
		prázdná	se vzorkem	se vzorkem po vysušení				prázdná	se vzorkem	se vzorkem po vysušení	před vyžiháním	po vyžihání	obsah	
		g	g	g	g	g	%	g	g	g	g	g	%	

výsledné hodnoty		
vlhkost		%
spalitelné látky		%
objemová hmotnost		kg/m ⁻³
celková váha		kg
vysrážená voda		ml

Váha vzorku		objem	váha	
	vědra			plný
		l	kg	kg
celkem		0	0	0