

Mendelova univerzita v Brně

Zahradnická fakulta v Lednici



Hodnocení parametrů kompostovacího procesu při kompostování matolin

Diplomová práce

Vedoucí diplomové práce:

doc. Ing. Patrik Burg, Ph.D.

Vypracovala:

Bc. Alice Čížková

Lednice 2017

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Zpracovatelka: **Bc. Alice Čížková**
Studijní program: Zahradnické inženýrství
Obor: Řízení zahradnických technologií
Název tématu: **Hodnocení parametrů kompostovacího procesu při kompostování matoliny**
Rozsah práce: 60

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši zaměřenou na charakteristiku matoliny s důrazem na její látkové složení a možnosti využití v technologii kompostování
2. Navrhněte variantní sestavy receptur kompostových zakládek s různým podílem matoliny. Vhodnost receptur ověřte pomocí kompostérů s dodržением zásad CMC (kontrolované mikrobiální kompostování)
3. Proveďte měření vybraných parametrů u experimentálních kompostových zakládek (teplota, vlhkost, objemová hmotnost, obsah živin, test fytotoxicity aj.) včetně vyhodnocení získaných výsledků
4. Na základě průzkumu a analýzy struktury ploch na ZF (akademická zahrada, plochy vinic a sadů aj.) proveďte bilanci kompostovatelných odpadů a proveďte modelovou studii se zaměřením na potřebnou velikost kompostovací plochy, předpokládané množství vyrobeného kompostu, investiční náklady, provozní náklady a stanovte náklady na výrobu 1 tuny kompostu
5. Na dané téma zpracujte powerpointovou prezentaci (rozsah a obsahovou náplň konzultujte s vedoucím práce)

Seznam odborné literatury:

1. DIAZ, L F. – DE BERTOLDI, M. *Compost science and technology*. Boston, MA: Elsevier, 2007. 364 s. ISBN 978-0-08-043960-0.
2. ČSN 46 5735 JK 103 *Průmyslové komposty*. Praha: Český normalizační ústav, 1991. 30 s.
3. VAŇA, J. *Výroba a využití kompostů v zemědělství*. 2. vyd. Praha: Institut výchovy a vzdělávání Ministerstva zemědělství ČR, 1997. 38 s. ISBN 80-7105-144-6.
4. KRČIL, P. *Technika v technologiích kompostování*. Disertační práce. Brno: MZLU v Brně, 2000. 119 s.
5. ZEMÁNEK, P. – BURG, P. Návrh kompostárny v mikroregionu lednicko-valtického areálu. *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. 2004. sv. LII, č. 5, s. 117–122. ISSN 1211-8516.
6. BURG, P. – ZEMÁNEK, P. Ocena procesu kompostowania w zależności od rodzaju kompostowanej masy organicznej. In *Miedzynarodowa konferencja naukowa*. 15. vyd. 2012, s. 32–36. ISBN 978-83-7663-117-2.
7. PLÍVA, P. a kol. *Technika pro kompostování v pásoových hromadách*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2005. 72 s. ISBN 80-86884-02-3.

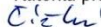
Datum zadání diplomové práce: listopad 2015

Termín odevzdání diplomové práce: květen 2017

L. S.

Bc. Alice Čížková

Autorka práce



doc. Ing. Patrik Burg, Ph.D.

Vedoucí ústavu



doc. Ing. Patrik Burg, Ph.D.

Vedoucí práce



prof. Ing. Robert Pokluda, Ph.D.

Děkan ZF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto práci:

„Hodnocení parametrů kompostovacího procesu při kompostování matolin“

vypracovala samostatně a veškeré použité prameny a informace jsou uvedeny v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědoma, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 Autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity o tom, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Lednici dne: 10. května 2017

.....

podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé diplomové práce doc. Ing. Patriku Burgovi, Ph.D. za odborné vedení, vstřícnost, podporu, pomoc a trpělivost v průběhu zpracovávání mé diplomové práce a při jejích konečných úpravách.

Také bych ráda poděkovala Ing. Barboře Badalíkové a členům Agrolab, spol. s r.o. při Výzkumném ústavu pícninářském, spol. s r.o. Troubsko, za kompletní rozbor zaslaných vzorků k mé práci.

V neposlední řadě patří mé poděkování především Martině, přátelům a rodině.

Obsah

1. Úvod.....	12
2. Cíl práce.....	13
3. Literární část	14
3.1 Biologicky rozložitelný odpad	14
3.2 Charakteristika vybraných vstupních surovin.....	15
3.2.1 Matoliny - výlisky z hroznů	15
3.2.2 Odpad z údržby trávnickových ploch.....	16
3.2.3 Zelinářský odpad	16
3.2.4 Sláma	17
3.2.5 Piliny a hobliny.....	17
3.3 Kompostování	18
3.3.1 Fáze kompostování.....	19
3.3.2 Faktory ovlivňující průběh kompostování.....	20
3.3.3 Kontaminanty	21
3.4 Kompostovací technologie a využívaná zařízení	22
3.4.1 Kompostéry	23
3.4.2 Pásové zakládky	24
3.4.3 Bioreaktory	26
4. Materiál a metody	27
4.1 Výběr pokusného stanoviště	27
4.2 Způsob sestavení receptury zakládek.....	27
4.3 Typy kompostovacích zařízení	27
4.4 Měřicí aparatura	28
4.5 Stanovení objemové hmotnosti kompostu	29

4.6 Stanovení obsahu živin a pH v kompostech	29
4.6.1 Stanovení dusíku (N).....	29
4.6.2 Stanovení fosforu (P).....	29
4.6.3 Stanovení draslíku a hořčíku (K, Mg)	30
4.6.4 Stanovení pH	30
4.6.5 Stanovení C _{ox} a humusu	30
4.7 Test fytotoxicity	31
4.8 Bilance odpadů vznikajících v areálu ZF a stanovení kapacity kompostárny	31
4.9 Metodika pro stanovení nákladů na výrobu 1t kompostu	32
4.10 Metody statistického vyhodnocení.....	32
5. Výsledky práce	33
5.1 Vybrané stanoviště	33
5.2 Surovinové složení zakládek.....	33
5.3 Kompostovací zařízení.....	36
5.4 Výsledky měření teploty a obsahu kyslíku	37
5.5 Objemová hmotnost zakládek.....	41
5.6 Obsah živin a hodnota pH v kompostech.....	42
5.6.1 Obsah dusíku (N).....	42
5.6.2 Obsah fosforu (P)	44
5.6.3 Obsah draslíku a hořčíku (K, Mg).....	45
5.6.4 Hodnota pH	48
5.6.5 Obsah C _{ox} a humusu	49
5.7 Test fytotoxicity	50
5.8 Bilance užívaných ploch a odpadů z nich vznikajících v areálu ZF	51
5.9 Stanovení nákladů na 1 t kompostu	54
6. Diskuze	56

7. Závěr	59
8. Souhrn	60
9. Summary	60
10. Seznam použité literatury	61
11. Přílohy.....	64

Seznam obrázků

Obr. 1: Matoliny	15
Obr. 2: Pokosená tráva.....	16
Obr. 3: Zelinářský odpad	16
Obr. 4: Sláma	17
Obr. 5: Hobliny	17
Obr. 6: Teplotní průběh a fáze kompostovacího procesu	19
Obr. 7: Kompostéry	23
Obr. 8: Technologie kompostování v kompostéru.....	23
Obr. 9: Průřez pásovou zakládkou v režimu CMC	24
Obr. 10: Pásová zakládka na volné, vodohospodářsky zabezpečené ploše	25
Obr. 11: Bioreaktory	26
Obr. 12: Zahradní kompostér.....	27
Obr. 13: Přístroj pro analýzu spalin	28
Obr. 14: Tyčový teploměr.....	28
Obr. 15: Zahradní kompostéry s variantami receptur I-IV	36
Obr. 16: Pásová zakládka s variantami receptur I-IV	36
Obr. 17: Kontrola po 24 h.....	50
Obr. 18: Měření délky kořínků	50

Seznam grafů

Graf 1: Procentuální zastoupení surovin u varianty I	33
Graf 2: Procentuální zastoupení surovin u varianty II	34
Graf 3: Procentuální zastoupení surovin u varianty IV	35
Graf 4: Procentuální zastoupení surovin u varianty III.....	35
Graf 5: Teplotní průběh u varianty I v kompostéru	37
Graf 6: Teplotní průběh u varianty II v kompostéru.....	37
Graf 7: Teplotní průběh u varianty III v kompostéru	38
Graf 8: Teplotní průběh u varianty IV v kompostéru	38
Graf 9: Společný teplotní průběh v kompostérech a na stanovišti v Lednici	38
Graf 10: Teplotní průběh u varianty I v pásové zakládce	39
Graf 11: Teplotní průběh u varianty II v pásové zakládce	39

Graf 12: Teplotní průběh u varianty III v pásové zakládce	40
Graf 13: Teplotní průběh u varianty IV v pásové zakládce	40
Graf 14: Společný teplotní průběh variant v pásové zakládce a stanoviště v Lednici....	40
Graf 15: Objemová hmotnost zakládek	41
Graf 16: Obsah celkového dusíku v kompostérech	43
Graf 17: Obsah celkového dusíku v pásové zakládce.....	43
Graf 18: Obsah fosforu v kompostérech.....	44
Graf 19: Obsah fosforu v pásové zakládce	44
Graf 20: Obsah draslíku v kompostérech	45
Graf 21: Obsah draslíku v pásové zakládce.....	45
Graf 22: Obsah hořčíku v kompostérech	46
Graf 23: Obsah hořčíku v pásové zakládce	47
Graf 24: Hodnota pH v kompostérech.....	48
Graf 25: Hodnota pH v pásové zakládce	48
Graf 26: Obsah C _{ox} v pásové zakládce	49
Graf 27: Obsah humusu v pásové zakládce	49

Seznam tabulek

Tab. 1: Limitní koncentrace vybraných rizikových látek dle ČSN 46 5735	21
Tab. 2: Zastoupení surovin u varianty I.....	33
Tab. 3: Zastoupení surovin u varianty II.....	34
Tab. 4: Zastoupení surovin u varianty III	34
Tab. 5: Zastoupení surovin u varianty IV	35
Tab. 6: Obsah živin u variant v kompostérech	42
Tab. 7: Obsah živin u variant v pásové zakládce.....	42
Tab. 8: Výsledky testu fytotoxicity.....	50
Tab. 9: Bilance ploch a BRO v areálu ZF.....	51
Tab. 10: Receptura zakládek a množství surovin	54
Tab. 11: Náklady na provoz strojů.....	54
Tab. 12: Mzdové náklady na obsluhu kompostárny	55
Tab. 13: Celkové provozní náklady kompostárny	55

Seznam použitých zkratek

AAS	atomový absorpční spektrometr
BRO	biologicky rozložitelné odpady
BRKO	biologicky rozložitelné komunální odpady
CMC	kontrolované mikrobiální kompostování
C_{ox}	oxidovatelný organický uhlík
ČSN	česká technická norma
EU	Evropská unie
OL	organické látky
MENDELU	Mendelova univerzita v Brně
PAU	polycyklické aromatické uhlovodíky
PCB	polychlorované bifenyle
VÚPT	Výzkumný ústav pícninářský spol. s r.o. Troubsko
ZF	Zahradnická fakulta

1. Úvod

„*Kam s ním?*“ (Jan Neruda)

Tuto otázku si mohou každoročně pokládat vinaři v období vinobraní, kdy po lisování hroznů vzniká velké množství matolin jako odpadního materiálu z výroby vína. Matoliny představují organický odpad s poměrně širokým využitím. Jednou z možností je následující potravinářské zpracování - výroba grappy, separace jadérek a jejich lisování za účelem zisku vinného oleje. Často jsou však taktéž matoliny využívány pro výrobu krmiv pro hospodářská zvířata, jako odpadní biomasa pro energetické účely a v neposlední řadě také jako jedna ze surovin vhodná pro kompostování. Kompostování samotných matolin bývá komplikované, ovšem v kombinaci s ostatními biologicky rozložitelnými odpady se stávají velice cenným organickým materiálem.

Kompostování představuje velice významný ekologický způsob využití biologicky rozložitelných odpadů jako cenné suroviny. Dříve byly tyto suroviny odváženy na skládky odpadů nebo zaorávány přímo na polích, kde jejich efektivita nebyla nijak výrazná. Až po aerobní přeměně bioodpadů na kompost a následném zapravení do půd je zajištěn dostatečný přísun organické hmoty a živin. Obsah organické hmoty taktéž významně ovlivňuje fyzické, chemické a biologické vlastnosti půd a vede ke zvýšení půdní úrodnosti. Zpracovávání biologicky rozložitelných odpadů na kompost a jeho následné pravidelné využívání v zemědělství by se mělo stát jedním z platných opatření pro ochranu půd.

Kompostování se tedy nestává jen ekologicky a ekonomicky vhodným způsobem nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, ale také značně přispívá k udržitelnému rozvoji zemědělské krajiny a k ochraně životního prostředí.

2. Cíl práce

Cílem diplomové práce je návrh a ověření receptur kompostových zakládek s různým podílem matolin při současném hodnocení vybraných parametrů ovlivňujících průběh tohoto rozkladného procesu. Na základě průzkumu a analýzy struktury ploch na Zahradnické fakultě bude zpracována bilance produkovaných biologicky rozložitelných odpadů a modelová studie se zaměřením na potřebnou velikost kompostovací plochy, předpokládané množství vyrobeného kompostu, investiční náklady, provozní náklady a stanovení nákladů na výrobu 1 tuny kompostu.

3. Literární část

3.1 Biologicky rozložitelný odpad

Z hlediska platné legislativy jsou biologicky rozložitelné odpady definovány zákonem č. 185/2001 Sb. Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů (zákon o odpadech) stanovuje v souladu s legislativou EU pravidla pro předcházení vzniku odpadů a o nakládání s nimi, o ochraně zdraví lidí, dodržování ochrany životního prostředí a o trvale udržitelném rozvoji.

Biologicky rozložitelným odpadem (BRO) se dají označit takové odpady, které podléhají rozkladu při aerobních či anaerobních procesech. Nejčastěji se jedná o vedlejší produkty a odpadní produkty lesnické, zemědělské, zahradnické a potravinářské výroby. Dále do této skupiny spadají odpady z papírensko–celulózařského průmyslu, kožedělného a textilního průmyslu, odpady ze zpracování dřeva, kaly z vodáren a čističek odpadních vod a komunální bioodpady. BRO lze využít nejen pro účely kompostování, ale také jako biomasa pro výrobu elektrické či tepelné energie (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).

Biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) jsou BRO tvořící významnou část běžného komunálního odpadu. Tyto odpady mají různorodé vlastnosti, proto se může stát jejich sběr, zpracování a odstranění problematické. Některé druhy těchto odpadů obsahují jen určitý podíl biologicky rozložitelných složek, proto mohou mít negativní vliv na životní prostředí. Do skupiny biologicky rozložitelného komunálního odpadu spadají odpady z domácností, obalové odpady, lepenka, papír, odpady z úřadů, živnostenské a průmyslové odpady (ALTMAN, 2010).

Biomasa je veškerá organická hmota rostlinného či živočišného původu. Je možné ji získávat jako rozložitelný odpad a zbytkové části ze zemědělství, lesnictví a potravinářské produkce nebo cíleně pěstovat rostlinnou biomasu jako obnovitelný zdroj energie (NAZELENO.cz, 2016).

Zákonem č. 156/1998 Sb. o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení půd (zákon o hnojivech) se smí se splněním požadavků vyhlášky č. 474/2000 Sb. uvádět registrovaný kompost na trh jako organické hnojivo.

3.2 Charakteristika vybraných vstupních surovin

Pro potřeby kompostářské praxe lze využívat poměrně široký okruh BRO, jako jsou např. odpady z vinařského průmyslu, odpady ze zeleniny, chlévská mrva, BRO z ovocných sadů, BRO z trávnickových ploch atd. Ve vztahu k řešené problematice je v následujícím přehledu uvedena pouze charakteristika vstupních surovin, které byly využity při přípravě kompostových zakládek.

3.2.1 Matoliny - výlisky z hroznů

Matoliny představují značný podíl biologicky rozložitelného odpadu z vinohradnické a vinařské produkce. Jedná se o zbytkové části hroznů tvořené jádérky, slupkami, zbytky dužniny bobulí a stopeček, které se stávají po vylisování organickým odpadem. Hroznová jádérka obsahují řadu silic a kyselin, které mají částečný inhibiční vliv na činnost mikroorganismů při jejich rozkladu (KALINA, 2004).

Dříve byly matoliny odváženy zpět do vinohradů, kde se následně zaorávaly do půdy. Tento způsob je nedoporučován z důvodu dlouhotrvajícího rozkladu, klíčení jader a nevýraznému efektu v zlepšování půdních vlastností díky nepříznivému poměru C:N, který se v čerstvé hmotě pohybuje v rozmezí 45–48:1. Naopak díky vysokému podílu zbytkového cukru se stávají velmi záhřevným materiálem v zakládkách a za dostatku kyslíku a vlhkosti dochází velmi rychle k jejich tlení, během kterého dochází k rozkladu složitých organických sloučenin na jednodušší anorganické. U matolin dosahuje objemová hmotnost $400\text{--}500\text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a vlhkosti 65–87 %. V důsledku vysokých teplot při kompostování a jejich dlouhému trvání se může stát, že matolinové zakládky vysychají, proto je vhodné pravidelně kontrolovat jejich vlhkost a případně zakládky zalít. Zrnitá struktura matolin umožňuje vhodné provzdušnění kompostů a jsou také velmi dobrým nasávacím materiálem pro tekuté odpady (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).



Obr. 1: Matoliny (vinarstvimedek.cz)

3.2.2 Odpad z údržby trávnickových ploch

Opadu z údržby trávnickových ploch rok od roku stále více přibývá v závislosti na jejich rostoucí rozloze. Podle stupně intenzity se travní porosty sečou cca 3–20x za rok. Čerstvě pokosená tráva se tak stává objemným organickým odpadem obsahující vyšší obsah vody, jenž se pokosením uvolňuje z narušených pletiv. Objemová hmotnost travní hmoty je 150–400 kg·m⁻³, vlhkost se pohybuje v rozmezí 50–70 %, poměr C:N je 30:1. Kompostování samotné trávy není vhodné, jelikož se rychle sléhává a je tak náchylná k anaerobním procesům a k plesnivění. Zakládky s vysokým podílem posečené trávy je nutné častěji překopávat, čímž se vznikající kompost provzdušní a dodá kyslík mikroorganismům (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).



Obr. 2: Pokosená tráva (ireceptar.cz)



Obr. 3: Zelinářský odpad

3.2.3 Zelinářský odpad

Pěstováním zeleniny a jejím následném čištění, třídění a zpracování vzniká velké množství organického odpadu. Podle druhu pěstované zeleniny se jedná především o nadzemní části rostlin - natě, košťály, listy, poškozené či nestandardní užitkové části a další nezpracovatelné podíly zeleniny (obr. 3). Tyto zelinářské odpady zůstávají nejčastěji na povrchu obhospodařovaných pozemků, kde se následně zaorávají. Jedná se často o velmi dobře rozložitelné strukturní materiály s vyhovujícím poměrem C:N 30–40:1, proto je není nutné rozmělnovat či drtit, neboť k jejich narušení dochází při prvním překopání. Objemová hmotnost dosahuje 200–400 kg·m⁻³ s 30–60% vlhkostí (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).

3.2.4 Sláma

Mezi další kompostovatelný rostlinný materiál patří sláma, která se v kompostech využívá jako nasávací složka pro kapalné odpady. V kompostovacích procesech nevykazuje žádné negativní vlastnosti, ba naopak je hojně využívána k provzdušnění zakládek. Slámu je vhodné před přidáním do zakládek podrtit. Takto připravená slámová drť se lépe promíchá s ostatními složkami a dochází tak k lepším mikrobiálním rozkladům. Poměr C:N u slámy je v rozmezí 60–100:1, objemová hmotnost 200–500 kg·m⁻³, vlhkost se nachází v rozmezí 13–16 % (KALINA, 2004).



Obr. 4: Sláma (123rf.com)

3.2.5 Piliny a hobliny

Piliny a hobliny vznikají jako odpad při zpracovávání a opracování dřeva. Pro kompostování nejsou nejvhodnějším materiálem, jelikož mají nízký obsah dusíku a širší poměr C:N, který dosahuje rozmezí 100–150:1, ale často se využívají jako nasávací materiál či doplňující složka. Objemová hmotnost je 200–300 kg·m⁻³, vlhkost může být širší 40–70 %. Piliny obsahují z živin draslík a vápník, ale mimo jiné mají i vysoké množství pryskyřic a vosků, které mají inhibiční vliv na mikrobiální procesy a tím i na rozklad organických látek (ZEMÁNEK *et al.*, 2010).



Obr. 5: Hobliny (pixabay.com)

3.3 Kompostování

Kompostování je proces, při kterém dochází k rozkladu organických látek biologicky rozložitelných odpadů na kompost činností mikroorganismů za aerobních podmínek. Výsledkem tohoto procesu je v první řadě přeměna nestabilních organických surovin na konečný stabilní kompost. O úspěšném průběhu a kvalitě vzniklého kompostu rozhoduje umístění a správné sestavení surovinové skladby základek, kdy největší roli hraje vhodný poměr C:N, který by měl být v ideálním případě 35:1 (MODERY, KÖTTER, 2015).

Biodegradace organické hmoty je v aerobních podmínkách prováděna aerobními mikroorganismy v kombinaci s dalšími reakcemi, jako je oxidace a hydrolýza. Složení mikroorganismů není v kompostech stálé, ale závislé na surovinovém složení základek a na stupni humifikace surovin. Humifikačního procesu se zúčastňují především heterotrofní mikroorganismy využívající své okolí jako zdroj uhlíku a kyslíku (ALTMAN *et al.*, 2013).

Kompostováním by nemělo dojít k úplné biodegradaci organických látek, ale jen k takové, kdy se kompostované suroviny biologicky stabilizují. Nemohou v něm začínat ani probíhat žádné patogenní procesy. Takto stabilizovaný kompost je možné zapracovat do půdy, jelikož žádným způsobem neohrožuje půdu, vodu ani ovzduší a nevykazuje známky fytoxicity. Po zapracování mohou nadále v půdě probíhat další biodegradční procesy až do konečného stupně (DIAZ *et al.*, 2007).

Kompletní proces kompostování lze zjednodušeně vyjádřit obecnou rovnicí:



Tak jako u každé chemické reakce i u kompostování je důležitým faktorem reakční rychlost neboli rychlost rozkladu. Během procesu přeměny organické hmoty dochází ke snížení objemu a hmotnosti, poklesu obsahu vody a k potlačení nežádoucích mikroorganismů nacházejících se přirozeně v použitých surovinách. Hmotnost hotového kompostu může ubýt o více jak 50 % z původní hmotnosti použitých surovin a dojde k snížení jeho objemu zhutněním. Po skončení celého procesu přeměny získává zralý kompost drobtovitou až zemitou strukturu, jenž zvyšuje jeho výslednou kvalitu a stabilitu. Následně lze takovýto kompost využít jako organické hnojivo, které zlepšuje fyzikální, chemické a biologické vlastnosti půd (PLÍVA *et al.*, 2016).

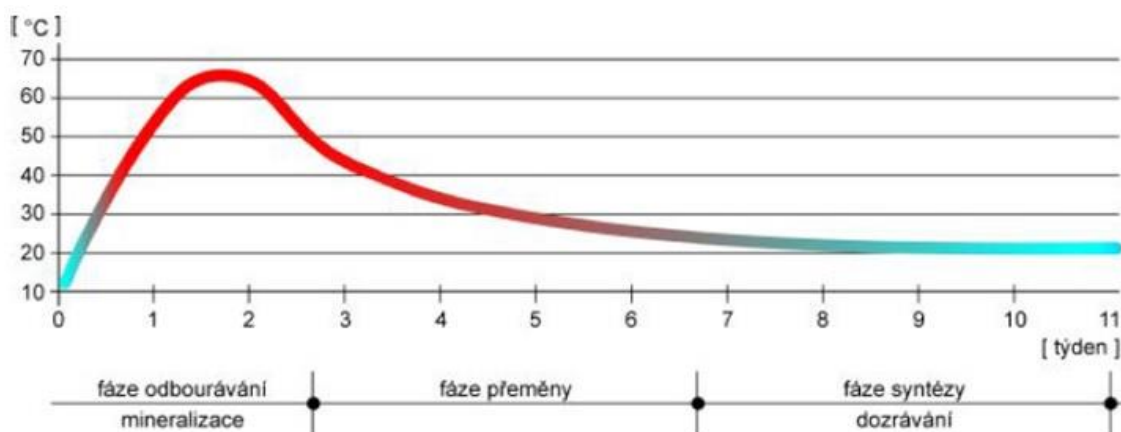
3.3.1 Fáze kompostování

Aerobní proces rozkladu organických látek během kompostování lze rozdělit na tři základní fáze - termofilní, mezofilní a fázi dozrávání (ALTMAN *et al.*, 2013).

V první, termofilní fázi, nastává rozklad snadněji rozložitelných látek, kterými jsou cukry, škroby, bílkoviny a lipidy, dále nastává rozklad hůře rozložitelných látek, jako je celulóza a dřevní hmota. Během tohoto procesu dochází k nárůstu teploty na 50–70°C a zároveň k poklesu pH tvorbou organických kyselin. Veškerou degradaci organického materiálu zajišťují aerobní termofilní mikroorganismy, které potřebují k řádnému průběhu této fáze nezbytně zajistit dostatečnou aeraci pravidelnými překopávkami (MODERY, KÖTTER, 2015)

V následné mezofilní fázi dochází k poklesu teploty na 40–45°C, změně složení mikroorganismů, kdy termofilní bakterie jsou nahrazeny jinými skupinami. Mění se také struktura, pach, vzhled a hmotnost zakládek. Kompost začíná homogenizovat a vzniká drobtovitá struktura (DIAZ *et al.*, 2007).

Třetí fáze, fáze dozrávání, se vyznačuje vyrovnáním teploty kompostu s vnějším okolím. Kompost získává konečný vzhled, je homogenní, nezapáchá, vznikají v něm vazby mezi organickými a anorganickými látkami, objevují se v něm drobní živočichové a hmyz (BENDA, 2012).



Obr. 6: Teplotní průběh a fáze kompostovacího procesu (web2.mendelu.cz)

3.3.2 Faktory ovlivňující průběh kompostování

Kompostovací proces je ovlivňován mnoha faktory, mezi nejdůležitější patří surovinové složení s ohledem na vhodný poměr C:N, teplota, množství vzduchu, vlhkost a pH (KALINA, 2004).

Výběr a optimální poměr vstupních surovin ovlivňuje řada faktorů. Nejdůležitější význam má dodržení správného poměru uhlíku a dusíku, kdy je ideální poměr mezi těmito dvěma prvky 35:1. Tento parametr stanovuje pravděpodobnou rychlost rozkladu zvolených surovin. Při nižším poměru (cca 15:1) probíhá rozklad rychleji, ale zároveň může docházet k vytrácení dusíku ve formě amoniaku. Naopak u vyššího je rozklad zpomalen a prodlužuje se tak doba zrání kompostu (MODERY, KÖTTER, 2015).

Druhým nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím správný průběh kompostování je teplota. V kompostovaných organických materiálech se z větší části nacházejí mezofilní mikroorganismy, pro jejichž rozvoj je ideální teplota v rozmezí 20–30°C. Aby došlo k převaze termofilních aerobních mikroorganismů, které jsou nepostradatelné pro správný průběh kompostování, je optimální dosáhnout teploty 45–65°C, která zaručuje likvidaci patogenů a semen z plevelných rostlin (FLOWERDEW, 2011).

Jelikož je kompostování aerobním procesem, je důležité provzdušňování zakládek. Průměrný obsah CO₂ a O₂ v kompostech je cca 20 %. Koncentrace O₂ je 15–20 %, u CO₂ 0,5–5 %. Pokud koncentrace kyslíku klesne pod 15 %, zvýší se aktivita anaerobních mikroorganismů nad aerobními, která je pro správný proces nežádoucí. Pravidelnými překopávkami dochází k provzdušnění zakládek, zvýšení obsahu kyslíku a k vhodnému průběhu aerobního rozkladu (KÁRA *et al.*, 2002).

Optimální pH v čerstvém kompostu se pohybuje v rozmezí 6–8, které je nejpříznivější pro rozvoj a aktivitu většiny mikroorganismů. Vyšší i nižší pH má na mikroorganismy inhibiční vliv. Vlhkost by se měla pohybovat kolem 50–60 %, pokud je vlhkost nízká, je vhodné zakládky zavlažit vodou nebo lze použít tekuté odpadní složky. Optimální vlhkost pozitivně ovlivňuje rychlost rozkladu a aktivitu mikroorganismů (DIAZ *et al.*, 2007).

3.3.3 Kontaminanty

Mezi nejčastější kontaminanty ohrožující výslednou kvalitu kompostů se řadí látky ovlivňující nejen správný průběh rozkladu a zrání, ale i jejich následné použití. Jedná se především o stopové toxické prvky (těžké kovy), významně se podílející na kontaminaci zemědělských půd a následné možnosti kontaminace potravinového řetězce, a o přítomnost organických cizorodých látek (např. rezidua pesticidů, polychlorované bifenyly - PCB, polycyklické aromatické uhlovodíky - PAU). Maximální povolené koncentrace těchto látek jsou stanoveny dle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“ (ALTMAN *et al.*, 2013).

Tab. 1: Limitní koncentrace vybraných rizikových látek dle ČSN 46 5735

Sledovaný ukazatel	Jednotka	Výstupy (skupina 1)	Výstupy (skupina 2)		
			Třída I	Třída II	Třída III
As	mg·kg ⁻¹ sušiny	10	10	20	30
Cd	mg·kg ⁻¹ sušiny	2,0	2,0	3,0	4,0
Cr celkový	mg·kg ⁻¹ sušiny	100	100	250	300
Cu	mg·kg ⁻¹ sušiny	100	170	400	500
Hg	mg·kg ⁻¹ sušiny	1,0	1,0	1,5	2,0
Mo	mg·kg ⁻¹ sušiny	5	-	-	-
Ni	mg·kg ⁻¹ sušiny	20	65	100	120
Pb	mg·kg ⁻¹ sušiny	100	200	300	400
Zn	mg·kg ⁻¹ sušiny	300	500	1200	1500
PCB	mg·kg ⁻¹ sušiny	-	0,02	0,20	-
PAU	mg·kg ⁻¹ sušiny	-	3,0	6,0	-

Kompostování bioodpadů je z hlediska obsahu kontaminantů převážně neproblematické. Přesto je konečný kompost rozdělen do několika výstupních skupin určujících jejich možnosti využití v krajině (ČSN 46 5735).

První skupina, zemědělský kompost, je určena k agrotechnickému použití na zemědělských a lesnických půdách. Druhá skupina, tzv. rekultivační kompost, je využívána mimo zemědělskou a lesnickou půdu jako rekultivační prostředek pro udržení nebo zlepšení půdních vlastností. Tato skupina je dále rozdělena do třech tříd upřesňujících jejich vhodnost pro jednotlivé kategorie (ALTMAN *et al.*, 2013).

3.4 Kompostovací technologie a využívaná zařízení

Způsoby kompostování lze rozdělit podle stylu a velikosti do několika skupin např. na rodinné, komunitní, faremní a vermikompostování.

Rodinné kompostování

Rodinné kompostování je způsob kompostování, kterým si jednotlivé rodiny vytvářejí kompost z biologických odpadů vyprodukovaných ve vlastní domácnosti. Jedná se především o odpady z údržby zahrad a rostlinný odpad z kuchyně (PLÍVA *et al.*, 2016).

Komunitní kompostování

Na komunitním kompostování se podílí komunita lidí využívající svou produkci biologického odpadu přeměnou na kompost. Tento způsob kompostování může být provozován a využíván v jakémkoliv kolektivu lidí, např. v podnicích, školách a úřadech, ale také spoluobčany z určitých domovních bloků. Zúčastněné skupiny osob poté získávají zpět zdarma hotový kompost pro svou vlastní potřebu (KOMPOSTUJ.cz, 2017).

Faremní kompostování

Faremním kompostováním vzniká kompost pouze z organických materiálů pocházejících výhradně ze zemědělské výroby. Jedná se o využití výřezů a zbytků z údržby zeleně, keřů a stromů, rostlinných zbytků zemědělských produktů a o chlévskou mrvu, podestýlku hospodářských zvířat, ošetřené kejdy. Při tomto způsobu kompostování se nezpracovávají ostatní bioodpady (HEJÁTKOVÁ *et al.*, 2002).

Vermikompostování

Vermikompostováním dochází k přeměně organických odpadů pomocí žížal na velmi kvalitní organický kompost, tzv. vermikompost. V tomto procesu se nejčastěji využívají kalifornské žížaly (*Eisenia andrei*), které mají intenzivnější schopnost přeměny odpadu a rychlejší rozmnožování. Využít lze však i klasické žížaly hnojní (*Eisenia fetida*), které se běžně nacházejí na zahradě i v kompostech (KOMPOSTUJ.cz, 2017).

3.4.1 Kompostéry

Kompostéry jsou jednoduchá technická zařízení vyráběná z různých materiálů o různých rozměrech, nejčastěji však do 600 l objemu, jež jsou mnohdy využívány v rodinném či komunitním kompostování. Vyprodukované bioodpady z domácností a zahrad je vhodné do kompostérů vrstvit nebo je předem promíchat, čímž lze zajistit urychlení jejich přeměny v kompost. Přeměna odpadů v kompostérech probíhá rovněž rychleji, lze-li zajistit hladký průběh celého procesu, který závisí především na četnosti překopávek. Všeobecně je při využívání těchto zařízení doba rozkladu delší, jelikož je tato činnost často zanedbávána z důvodu větší fyzické námahy. Dalším ovlivňujícím faktorem je dosažení nižších teplot než u jiných technologií. S prodlužováním doby přeměny se projevují nevýhody využívání kompostérů v místech, kde vzniká velké množství odpadů, neboť je kompostér zaplněn téměř po celý rok (PLÍVA *et al.*, 2016).



Obr. 7: Kompostéry



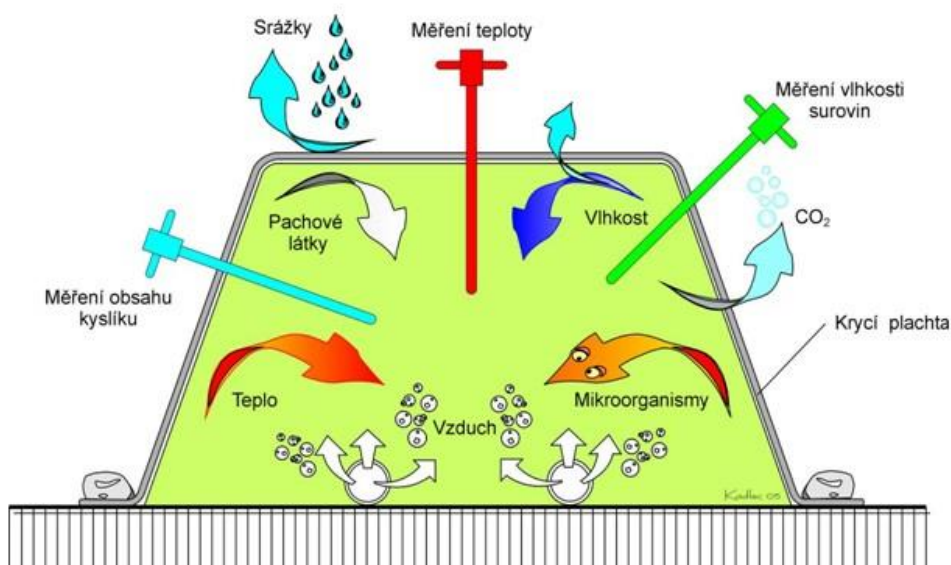
Obr. 8: Technologie kompostování v kompostéru (kompostery.cz)

3.4.2 Pásové zakládky

Při kompostování v pásových zakládkách jsou suroviny zakládány do pásových hromad nejčastěji trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu. Tento způsob formování zakládek je možné využít jednak v tradičním neřízeném kompostování, ale též pro kontrolované mikrobiální kompostování (CMC). Délka založených hromad může být různorodá, je omezená pouze velikostí užívané plochy tak, aby bylo umožněno použití výkonné techniky a zvyšovat tak úroveň využití mechanizačních prostředků (PLÍVA *et al.*, 2009).

Při neřízeném kompostování dochází k přeměně organické hmoty v časovém rozmezí 3-6 měsíců, které se ovšem může prodloužit až na 12 měsíců v závislosti na ovlivňujících faktorech. Ve srovnání s tímto způsobem lze kontrolovaným mikrobiálním kompostováním dosáhnout úplného rozkladu surovin za 6–8 týdnů, jelikož každý technologický zásah do procesu přeměny je přesně načasován. Mezi nejdůležitější patří kvalita a četnost překopávek zajišťující kvalitní promísení a provzdušnění zakládek. Nicméně v obou případech je konečná délka kompostování závislá nejen na správné skladbě surovin a jejich homogenitě, použité technologii, ale také na ročním období (FLOWERDEW, 2011).

Tento styl kompostování je jedním z technologicky nejvhodnějších a ekonomicky nejvýhodnějších způsobů zpracování biologicky rozložitelných odpadů (PLÍVA *et al.*, 2009).



Obr. 9: Průřez pásovou zakládkou v režimu CMC (V. Kadlec)

Pásové hromady je možné zakládat na zastřešených i volných plochách, které splňují požadované legislativní podmínky.

Kompostování přímo „na poli“

Tímto způsobem jsou vzniklé biologické odpady zpracovávány přímo na pozemku v místě jejich vzniku či v jejich blízkosti. Tato plocha je dočasná, vodohospodářsky nezabezpečená. Uložení kompostu na zemědělských půdách je možné po dobu 2–3 let mimo zranitelné oblasti. V zranitelných oblastech je tato doba zkrácena na 9 měsíců, a to pouze pokud nehrozí znečištění ani ohrožení kvality podzemních i povrchových vod (PLÍVA, 2010).

Polní kompostárna

Polní kompostárna může být vybudována na zpevněných i nezpevněných plochách. Tato kompostárna je využívána dočasně, není vodohospodářsky zabezpečená, avšak je nutné, aby byl respektován zákon pro ochranu povrchových a podzemních vod. Zpevněná plocha pro polní kompostování je budována poblíž místa vzniku zpracovávaných biodegradabilních odpadů. V případě využití nezpevněných ploch (louky, vedlejší pozemky) je zpevněná pouze přístupová komunikace nebo polní cesta sloužící jen pro pohyb potřebné mechanizace (PLÍVA, 2010).

Stálá kompostárna na volné, vodohospodářsky zabezpečené ploše

Stálé kompostárny provozující průmyslové kompostování mají povinnost splňovat množství legislativních, hygienických a vodohospodářských předpisů. Nevyhnutelnou součástí těchto provozoven jsou vodohospodářsky zabezpečené kompostovací plochy (PLÍVA, 2010).



Obr. 10: Pásová zakládka na volné, vodohospodářsky zabezpečené ploše

Stálá kompostárna na zastřešené, vodohospodářsky zabezpečené ploše

Zpracování biologicky rozložitelných odpadů probíhá v zastřešených či zcela uzavřených halách s vodohospodářsky zabezpečenými plochami. Tyto plochy jsou převážně betonové se spádem do odtokových kanálů, tak aby nedocházelo k tvorbě kaluží z kompostovacích šťáv mezi zakládkami. Zcela uzavřené haly jsou vhodné pro celoroční kompostování, i když v zimním období může být problematická produkce vodních par, jejich kondenzace a následný vznik velmi vlhkého prostředí. Z tohoto důvodu bývají takovéto haly vybaveny ventilátory (PLÍVA, 2010).

3.4.3 Bioreaktory

Bioreaktory neboli také biofermentory jsou zcela uzavřená kompostovací zařízení nejčastěji ve tvaru boxů nebo válců, ve kterých dochází k řízené aerobní fermentaci. Hojně rozšířenými typy bioreaktorů jsou tepelně izolovaná zařízení vybavená aparaturou pro regulaci teploty, biofiltry snižujícími emise pachů a dmychadly zajišťujícími provzdušnění rozkládající se hmoty (PLÍVA *et al.*, 2016).

Tento způsob kompostování patří mezi tzv. intenzivní kompostovací technologie, které jsou využívány především z důvodu větší možnosti řízení kompostovacího procesu a vyšší kontroly nad kvalitou výsledného produktu. Jejich použitím je výrazně zkrácena první fáze aerobního procesu na 5–7 dní, po které následuje 2–4 týdenní dokončující proces zrání a stabilizace např. v pásových hromadách (EPSTEIN, 1996).

Bioreaktory je možné využít také při výrobě biopaliv, či jako hygienizační a dekontaminační zařízení (EPSTEIN, 1996).



Obr. 11: Bioreaktory (xactsystemscomposting.com)

4. Materiál a metody

4.1 Výběr pokusného stanoviště

Pokusné stanoviště bylo vybráno s ohledem na možnosti využití dané plochy v areálu Zahradnické fakulty pro zvolené typy experimentální části. Jednalo se o dvě stanoviště. První bylo vybráno pro vhodné umístění zahradních kompostérů a jejich snadnou obsluhovatelost. Druhé stanoviště bylo zvoleno dle kapacitních a dispozičních možností pro založení pásových zakládek a jejich přístupnost z hlediska využívané mechanizace.

4.2 Způsob sestavení receptury zakládek

Experimentální zakládky byly založeny dle navržených variantních receptur s různým podílem matolin doplněné o ostatní vybrané odpadní suroviny, tak aby byl zajištěn vhodný poměr C:N. Vhodnost těchto receptur byla ověřena v zahradních kompostérech i pásové zakládky s dodržением zásad kontrolovaného mikrobiálního kompostování (Controlled Microbial Composting - CMC).

4.3 Typy kompostovacích zařízení

Experimentální hodnocení bylo prováděno s využitím dvou kompostovacích technologií - kompostování v kompostérech, kompostování v pásových zakládkách. Umístění bylo realizováno na zvolených stanovištích v areálu ZF.

Charakteristika použitého kompostéru:

Zahradní kompostér Thermoking 600 l

objem:	600 l
rozměr v cm:	104 x 80 x 80
hmotnost:	17 kg
materiál:	polypropylen
barva:	zelená
segmentace:	samostatný



Obr. 12: Zahradní kompostér (elkoplast.cz)

4.4 Měřicí aparatura

Pro měření vybraných parametrů u experimentálních zakládek v průběhu kompostování byl použit tyčový teploměr pro měření teploty a přístroj pro analýzu spalin, pomocí kterého byl měřen obsah kyslíku.

Teplota jednotlivých zakládek byla měřena tyčovým teploměrem 2–3x týdně v jádru každé z nich cca ve 14 hodin. Měření obsahu O₂ přístrojem Testo 310 probíhala 1x týdně taktéž v jádru zakládek. Jednotlivé údaje byly následně zaznamenávány do tabulky.

Technické údaje používané aparatury:

Přístroj pro analýzu spalin Testo 310

rozsah měření O ₂ :	0,0 - 21,0 vol. %
přesnost:	+/- 0,2 vol. %
rozlišení:	0,1 vol. %
napájení:	akumulátor 1500 mAh
hmotnost:	cca 700 g



Obr. 13: Přístroj pro analýzu spalin (testo.com)

Tyčový teploměr Greisinger Mini-K

rozsah měření:	-65 - +200 °C
přesnost:	+/- 1 °C
rozlišení:	0,1 °C
napájení:	lithiová baterie CR 2032 - 3V
délka sondy:	150 cm + 13,5 cm rukojeť



28 Obr. 14: Tyčový teploměr (epristroje.cz)

4.5 Stanovení objemové hmotnosti kompostu

Pro zjištění objemové hmotnosti kompostu byla použita metoda, kdy byl vážen známý objem suroviny a z navážené hodnoty byl následně dopočítán údaj v požadovaném rozměru, tj. $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Pro měření byla použita digitální váha a nádoba s cejchovaným objemem.

Vzorec pro výpočet objemové hmotnosti:

$$m_v = \frac{m_1 + m_2 + \dots + m_n}{n \cdot V} \quad (\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$$

kde: $m_1, m_2 \dots m_n$ - hmotnosti jednotlivých vzorků (kg)

n - počet zvážených vzorků (-)

m_v - výsledná objemová hmotnost ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)

V - objem měřicí nádoby (m^3)

4.6 Stanovení obsahu živin a pH v kompostech

Analýza vyrobeného kompostu pro stanovení obsahu živin byla provedena v akreditované laboratoři VÚP Troubsko a byla zaměřena především na stanovení hlavních makroprvků N, P, K a Mg. Taktéž zde byla přesně stanovena hodnota pH a byl stanoven obsah oxidovatelného organického uhlíku - C_{ox} .

4.6.1 Stanovení dusíku (N)

Odebraný čerstvý vzorek kompostu o hmotnosti 10 g se zalije 30 ml koncentrovanou kyselinou sírovou, přidá se peroxid vodíku a spaluje se na mineralizátoru do odbarvení vzorku. Poté se převede do 250 ml odměrných baněk, doplní destilovanou vodou a měří se destilací vodní parou dle Kjeldahla na přístroji Vapodest.

4.6.2 Stanovení fosforu (P)

Navází se 1 g vysušeného a pomletého vzorku kompostu do mineralizační baňky, zalije se 10 ml koncentrované kyseliny sírové a peroxidu vodíku a spaluje se na mineralizátoru do odbarvení. Poté se převede do 250 ml baněk a spektrofotometricky měří se na přístroji Spekol.

4.6.3 Stanovení draslíku a hořčíku (K, Mg)

Naváží se 1 g vysušeného a pomletého vzorku kompostu do mineralizační baňky, zalije se 10 ml koncentrované kyseliny sírové a peroxidu vodíku a spaluje se na mineralizátoru do odbarvení. Poté se převede do 250 ml baněk, doplní destilovanou vodou a měří se pomocí atomové absorpční spektrometrie na přístroji AAS.

4.6.4 Stanovení pH

Do Erlenmeyerovy baňky se vloží 10 g vzorku kompostu a zalije 50 ml CaCl₂, poté se tato směs 60 minut třepe na třepačce a následně je výluh měřen pomocí pH metru.

4.6.5 Stanovení C_{ox} a humusu

Do 150 ml kádinky se naváží 0,2 g pomletého vzorku kompostu, ke kterému se přidá 10 ml chromsírové směsi a obsah se společně lehce krouživým pohybem promíchá tak, aby kompost neulpěl na stěnách. Současně se do třech kádinek odměří 10 ml chromsírové směsi jako slepý vzorek. Všechny čtyři kádinky se přikryjí hodinovými sklíčky a na podnosu vloží po dobu 45 minut do sušárny při 125 °C. Po vyjmutí ze sušárny se nechají kádinky cca 10 minut vychladnout a obsah každé z nich je následně zředěn destilovanou vodou na objem cca 70 ml. Zředěný vzorek včetně slepých vzorků je následně titrován 0,1M roztokem Mohrovy soli do šedého zbarvení.

Vzorec pro výpočet C_{ox}:

$$C_{ox} = \frac{(a - b) \cdot f \cdot 0,03}{m} \quad (\%)$$

kde: a - spotřeba 0,1M roztoku Mohrovy soli u slepého vzorku - průměr tří hodnot (ml)

b - spotřeba 0,1M roztoku Mohrovy soli u stanovovaného vzorku (ml)

f - faktor Mohrovy soli

m - průměrná délka kořínků kontroly (mm)

Vzorec pro výpočet obsahu humusu:

$$\% \text{ humusu} = 1,724 \cdot C_{ox}$$

4.7 Test fytoxicity

Do 500 ml Erlenmeyerovy baňky se naváží 10 g zkoumaného zhomogenizovaného vzorku kompostu, ke kterému je přidáno vypočtené množství destilované vody v ml, které je určeno jako násobek sušiny ve vzorku (5–10 x % sušiny). Nádoba je zazátkována a vložena do horizontální třepačky. Vzorek je louhován cca 2 hodiny. Poté je výluh filtrován přes filtrační papír do čisté kádinky.

Do Petriho misek o průměru 5 cm se vloží filtrační papír, který pokryje dno misky a ovlhčí se 1 ml výluhu. Na takto připravený filtrační papír se pravidelně rozmístí 8 semen řechy seté (*Lepidium sativum*). Pro každý vzorek je potřeba použít paralelně alespoň 10 Petriho misek s 8 semeny. Připravené a uzavřené Petriho misky se vloží do termostatu, kde semena klíčí 24 hodin, za tmy při teplotě 28 °C. Ke vzorkům v termostatu se také vloží kontrolní vzorek pouze s destilovanou vodou (též 10 paralelních stanovení po 8 semenech). Po 24 hodinách se změří průměrná délka kořínků a vypočte index klíčivosti.

Vzorec pro výpočet indexu klíčivosti:

$$IK = 100 \cdot \frac{k_v \cdot l_v}{k_k \cdot l_k} \quad (\%)$$

kde: k_v - klíčivost vzorku (%)

k_k - klíčivost kontroly (%)

l_v - průměrná délka kořínků vzorku (mm)

l_k - průměrná délka kořínků kontroly (mm)

4.8 Bilance odpadů vznikajících v areálu ZF a stanovení kapacity kompostárny

Na základě informací získaných průzkumem byla zpracována bilance kompostovatelných biologických odpadů v areálu Zahradnické fakulty. Následným propočtem podle metodiky, kterou uvádí Zemánek et al. (2010), byla stanovena celková kapacita experimentální kompostárny v areálu ZF, využívající technologii kompostování v pásových hromadách.

4.9 Metodika pro stanovení nákladů na výrobu 1t kompostu

Při výpočtu nákladů na výrobu jedné tuny kompostu byla využita metodika, kterou uvádí Zemánek et al. (2010). Ve výpočtu je zohledněno zastoupení jednotlivých surovin, jednotlivé kategorie mechanizačních prostředků využívaných při provádění pracovních operací, včetně jejich opakovatelnosti. Výsledné náklady jsou vyjádřeny částkou v Kč na 1 tunu hotového kompostu.

4.10 Metody statistického vyhodnocení

Získané výsledky budou vyhodnoceny standardními statistickými metodami s využitím počítačových softwarů Statistica 12 a MS Excel 2010.

5. Výsledky práce

5.1 Vybrané stanoviště

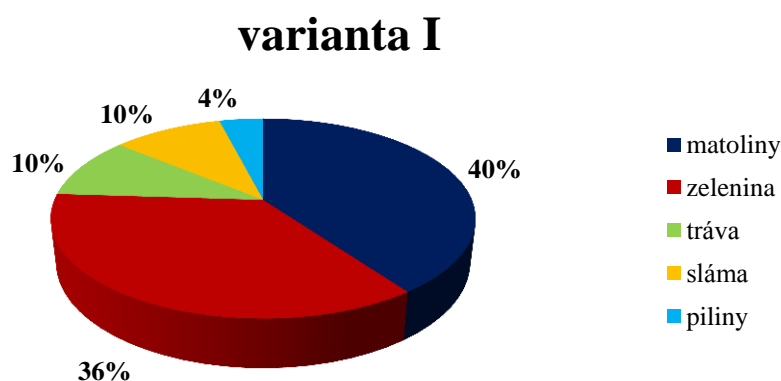
Pro vybrané způsoby kompostování byla zvolena dvě stanoviště v areálu Experimentální zahrady Zahradnické fakulty v Lednici. Zahradni kompostéry byly na jaře roku 2016 umístěny pod zabezpečený přístřešek. Pásová zakládka byla založena na podzim téhož roku na ploše experimentální kompostárny. Obě stanoviště byla zvolena z důvodu dostupnosti použitých materiálů a možnosti využití nářadí i mechanizace.

5.2 Surovinové složení zakládek

Pro experimentální zakládky byly navrženy čtyři varianty receptur s různým podílem matolin. Tyto varianty byly vhodně doplněny o ostatní složky v různém poměru, tak aby byl dosažen poměr C:N = 35:1. Matoliny, zelinářský odpad a odpad z údržby trávnickových ploch pocházely z areálu Zahradnické fakulty. Piliny a sláma byly pro doplnění dovezeny.

Tab. 2: Zastoupení surovin u varianty I

Surovina	Podíl (%)	Obsah látek (%)			Hmotnost látek (mg)		
		Vlhkost	OL	N	H ₂ O	OL	N
Matoliny	40	40	90	1,4	16,0	21,60	0,336
Zelenina	36	80	87	2,3	28,8	6,26	0,165
Tráva	10	60	90	1,0	6,0	3,60	0,040
Sláma	10	16	94	0,5	1,6	7,89	0,042
Piliny	4	50	98	0,2	2,0	1,96	0,004
Celkem C:N = 35,1:1							

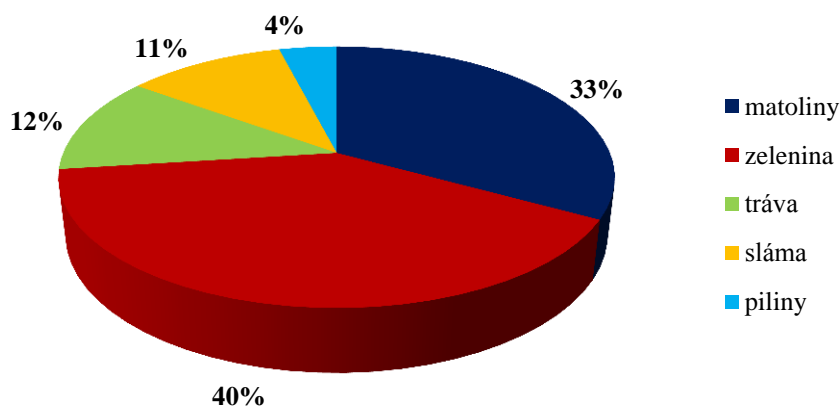


Graf 1: Procentuální zastoupení surovin u varianty I

Tab. 3: Zastoupení surovin u varianty II

Surovina	Podíl (%)	Obsah látek (%)			Hmotnost látek (mg)		
		Vlhkost	OL	N	H ₂ O	OL	N
Matoliny	33	40	90	1,4	13,2	17,82	0,277
Zelenina	40	80	87	2,3	32,0	6,96	0,184
Tráva	12	60	90	1,0	7,2	4,32	0,048
Sláma	11	16	94	0,5	1,76	8,68	0,046
Piliny	4	50	98	0,2	2,0	1,96	0,004
Celkem C:N = 35,5:1							

varianta II

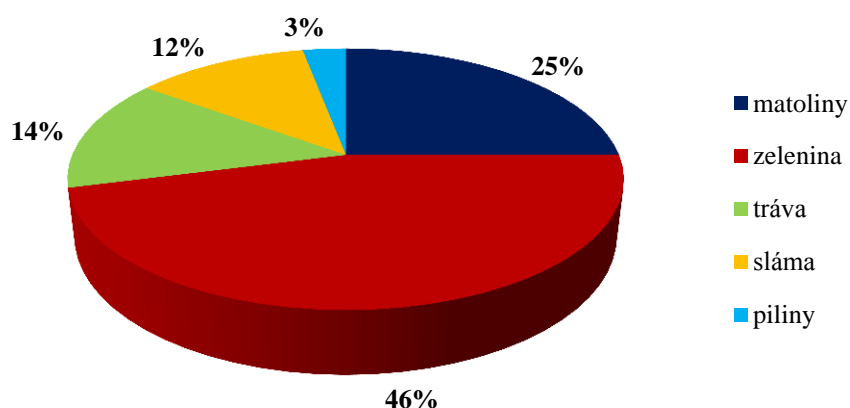


Graf 2: Procentuální zastoupení surovin u varianty II

Tab. 4: Zastoupení surovin u varianty III

Surovina	Podíl (%)	Obsah látek (%)			Hmotnost látek (mg)		
		Vlhkost	OL	N	H ₂ O	OL	N
Matoliny	25	40	90	1,4	10,0	13,50	0,210
Zelenina	46	80	87	2,3	36,8	8,00	0,211
Tráva	14	60	90	1,0	8,4	5,04	0,056
Sláma	12	16	94	0,5	1,9	9,47	0,050
Piliny	3	50	98	0,2	1,5	1,47	0,003
Celkem C:N = 35,3:1							

varinata III

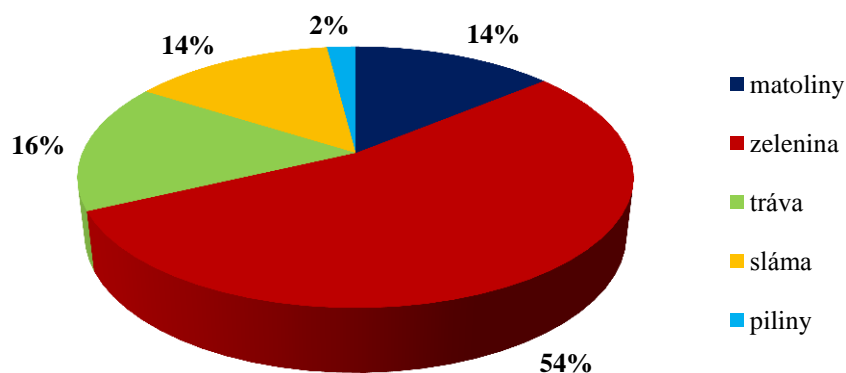


Graf 3: Procentuální zastoupení surovin u varianty III

Tab. 5: Zastoupení surovin u varianty IV

Surovina	Podíl (%)	Obsah látek (%)			Hmotnost látek (mg)		
		Vlhkost	OL	N	H ₂ O	OL	N
Matoliny	14	40	90	1,4	5,6	7,56	0,117
Zelenina	54	80	87	2,3	43,2	9,39	0,248
Tráva	16	60	90	1,0	9,6	5,76	0,064
Sláma	14	16	94	0,5	2,2	11,05	0,058
Piliny	2	50	98	0,2	1,0	0,98	0,002
Celkem C:N = 35,4:1							

varianta IV



Graf 4: Procentuální zastoupení surovin u varianty IV

5.3 Kompostovací zařízení

Pro experimentální část byly využity dvě technologie kompostování - v zahradních kompostérech a v pásové zakládce. Na jaře roku 2016 byly navrhnuté varianty založeny do zahradních kompostérů, označených čísly I-IV podle varianty použité receptury, u této technologie byly zakládky překopávány ručně. Následně byly na podzim téhož roku tyto varianty ověřeny kompostováním v pásové zakládce o délce 24 m, šířce 1,5 m a výšce 0,9 m. Zde byly překopávky zajištěny pomocí neseného překopávače a kolového traktoru.



Obr. 15: Zahradní kompostéry s variantami receptur I-IV

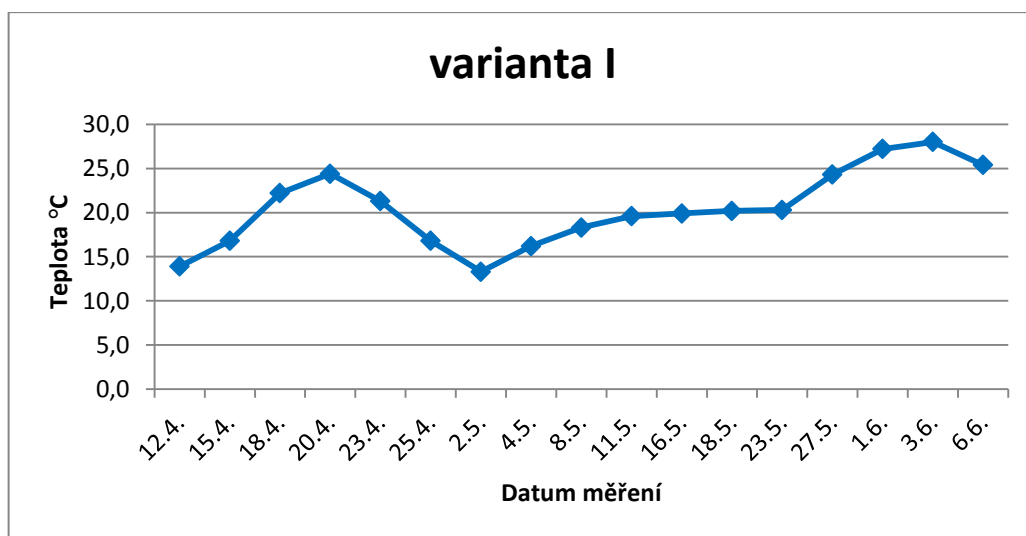


Obr. 16: Pásová zakládka s variantami receptur I-IV

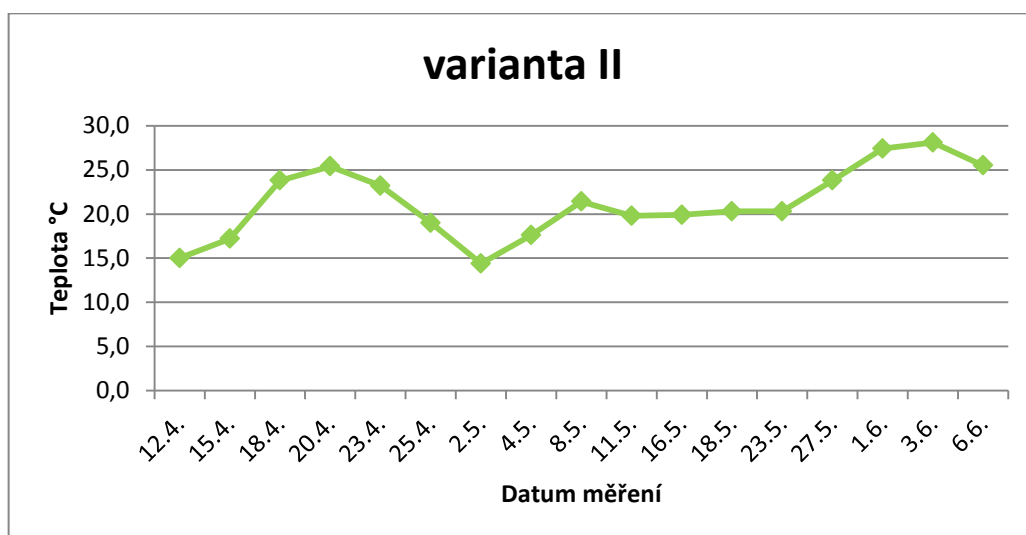
5.4 Výsledky měření teploty a obsahu kyslíku

Zahradní kompostéry

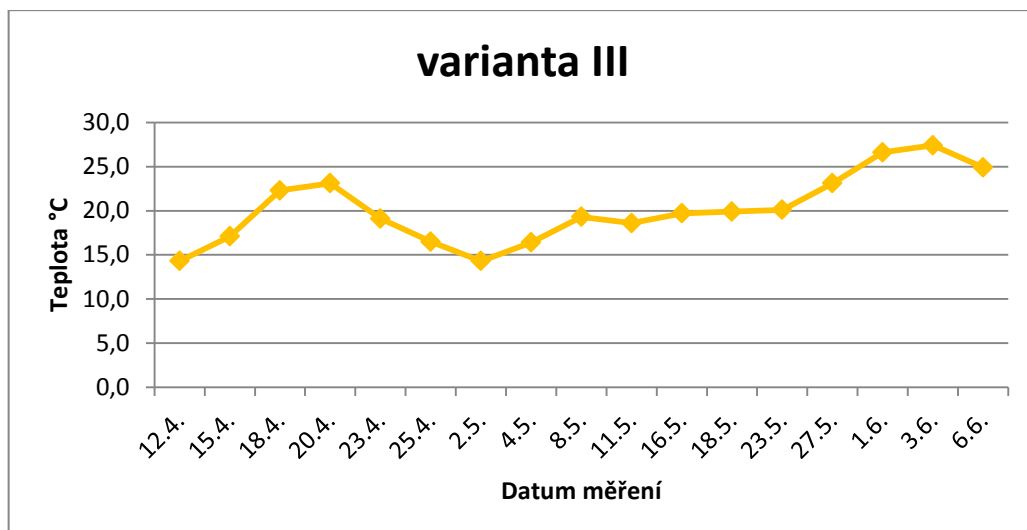
U tohoto způsobu kompostování neproběhl správně kompostovací proces, jelikož nebylo dosaženo teploty vyšší než 45 °C nezbytné pro správný průběh první fáze kompostování. Z tohoto důvodu není relevantní důkladněji rozebírat teplotní vývoj jednotlivých variant v průběhu kompostování, jelikož jsou podrobněji řešeny u následující technologie, kde tento proces proběhl správně, což odpovídá o správném sestavení jednotlivých variant receptur.



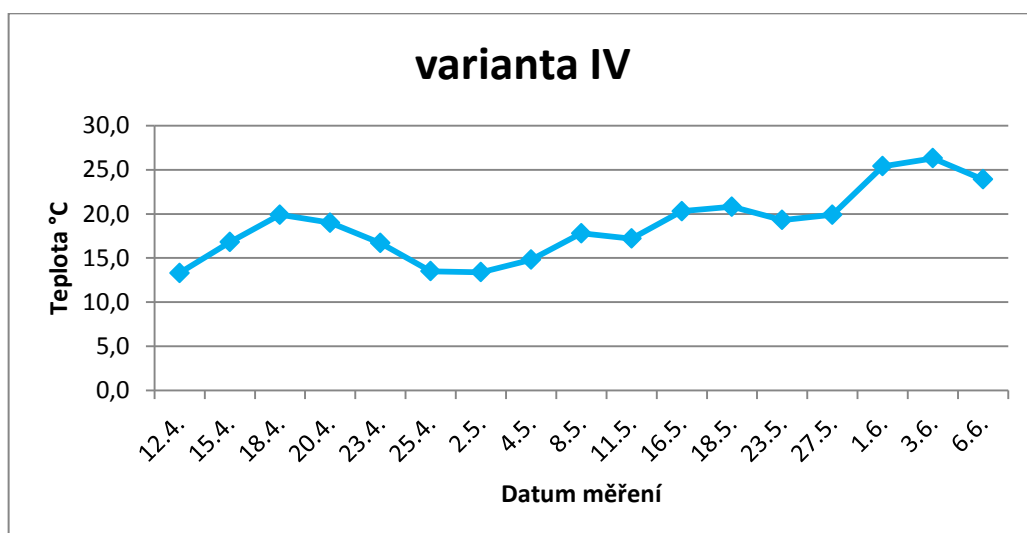
Graf 5: Teplotní průběh u varianty I v kompostéru



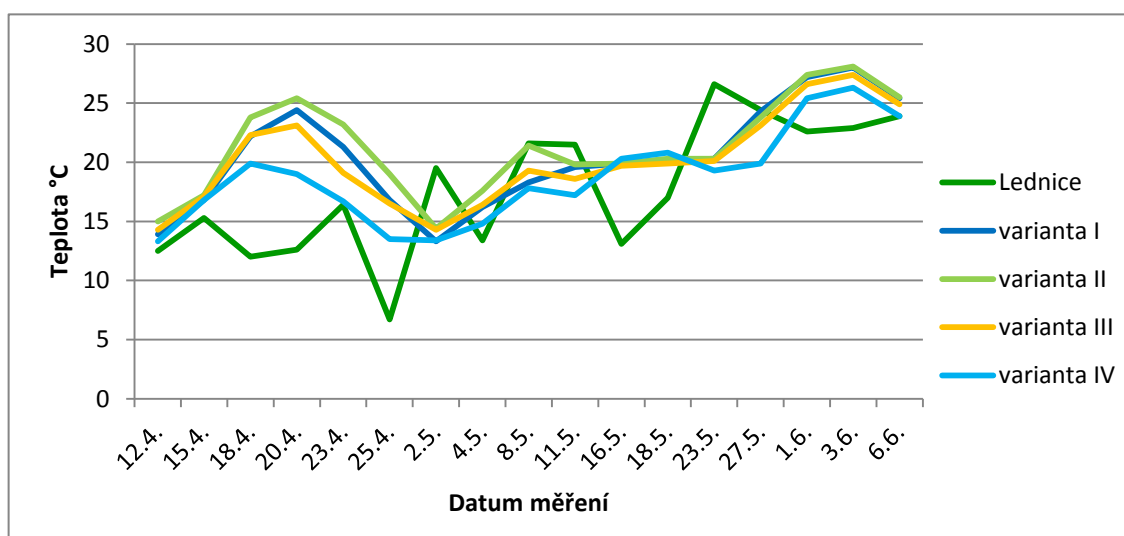
Graf 6: Teplotní průběh u varianty II v kompostéru



Graf 7: Teplotní průběh u varianty III v kompostéru



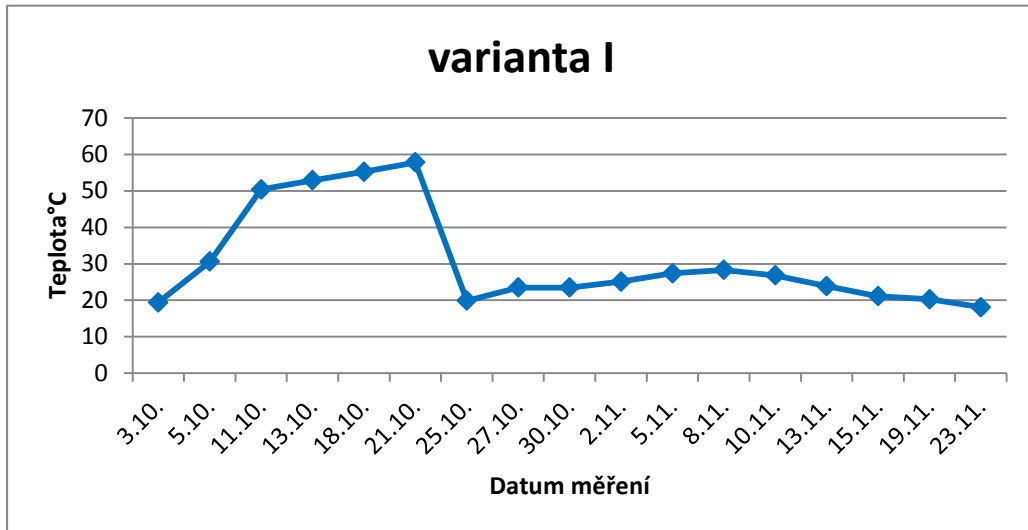
Graf 8: Teplotní průběh u varianty IV v kompostéru



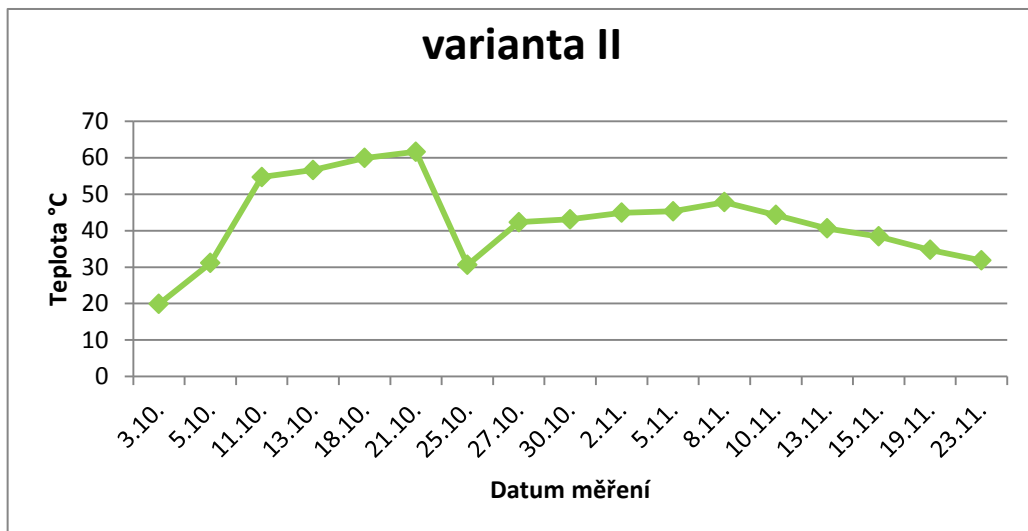
Graf 9: Společný teplotní průběh v kompostérech a na stanovišti v Lednici

Pásová zakládka

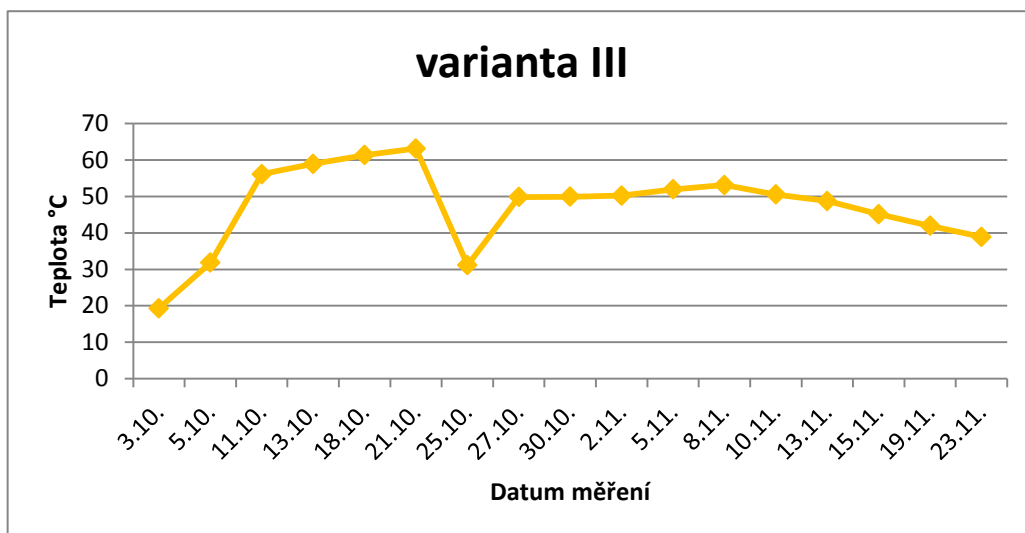
Teplota jednotlivých zakládek byla měřena tyčovým teploměrem ve středu každé z nich 2-3x týdně přibližně ve stejný čas. Z následujících grafů je vidět, že všechny čtyři varianty v pásové zakládce dosáhly teploty vyšší 45 °C po dobu delší než 5 dní. Tím bylo dosaženo splnění požadavků na minimální dobu hygienizace.



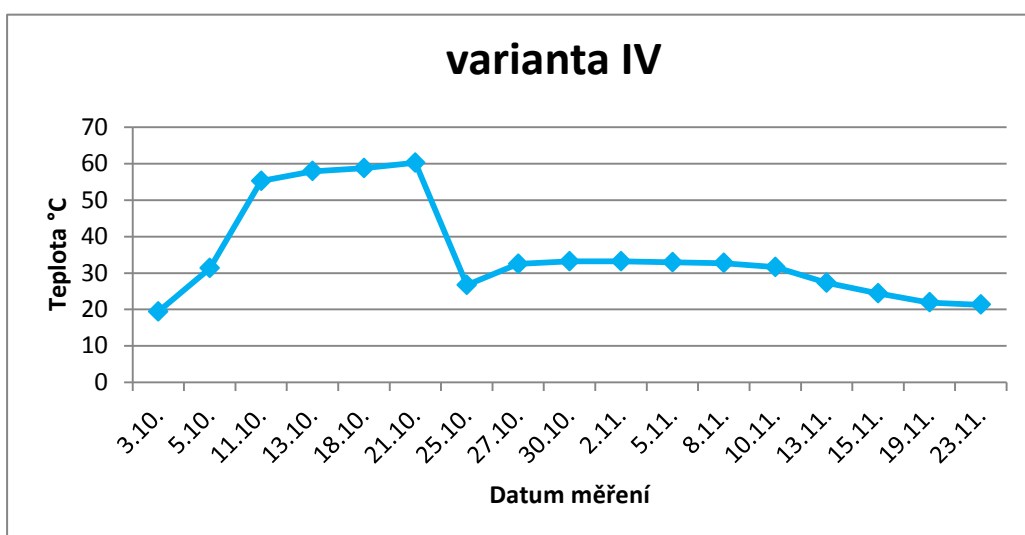
Graf 10: Teplotní průběh u varianty I v pásové zakládce



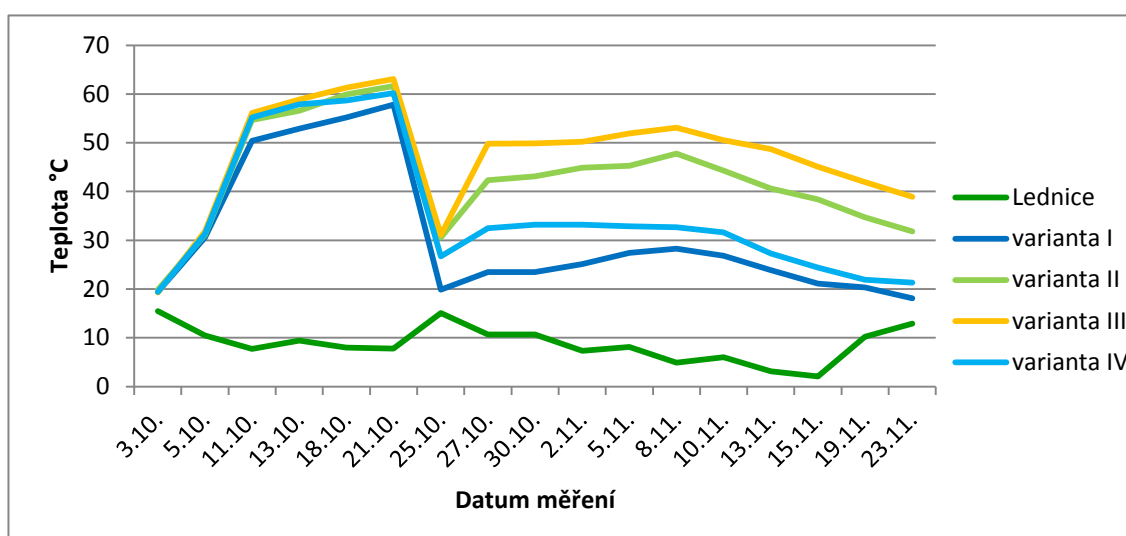
Graf 11: Teplotní průběh u varianty II v pásové zakládce



Graf 12: Teplotní průběh u varianty III v pásové zvládce



Graf 13: Teplotní průběh u varianty IV v pásové zvládce



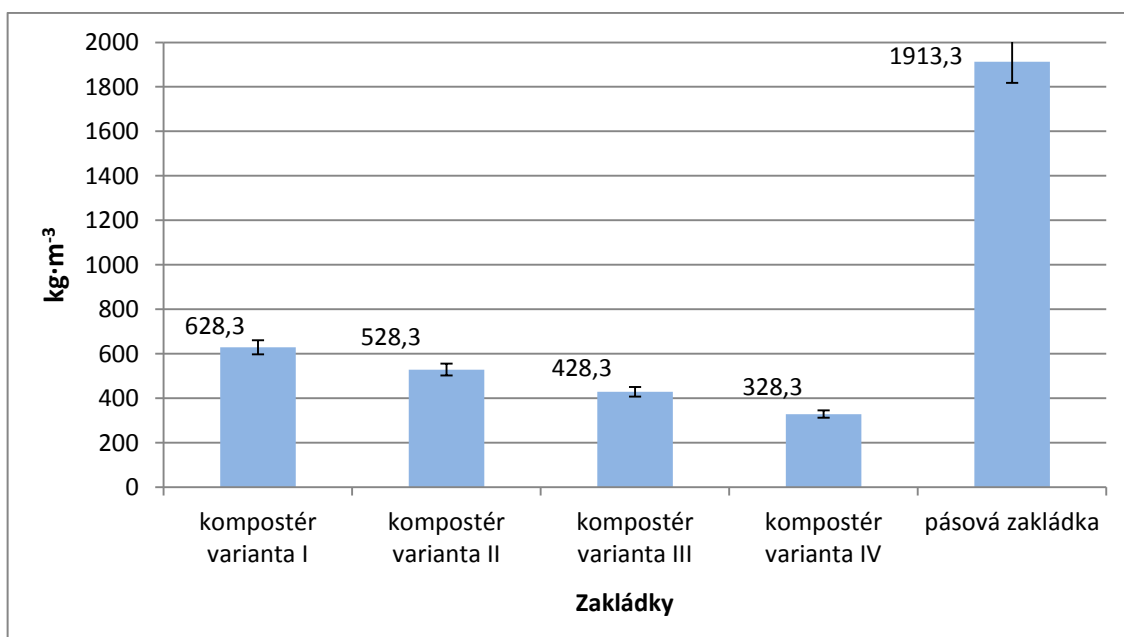
Graf 14: Společný teplotní průběh variant v pásové zvládce a stanoviště v Lednici

Nejvyšší teplota byla naměřena u pásové zakládky s variantou receptury III, která dosahovala 63,1 °C. U ostatních variant se teplota pohybovala přibližně ve stejném teplotním rozmezí. V první fázi kompostování došlo u všech variant k správnému vývoji teploty, kdy všechny čtyři varianty překonaly teplotu 55 °C po dobu 11 dní. Následně došlo k poklesu teploty po provedení mechanizované překopávky, po které ovšem opět nastal její nárůst, jak je vidět v grafech. U variant I a IV probíhala druhá fáze v nižších teplotách kolem 30 °C, na rozdíl od variant II a III, u kterých se teplota pohybovala mezi 40 až 50 °C. Přibližně po 7 týdnech kompostování došlo k poklesu teploty, stabilizaci zakládek a postupnému vyrovnávání teploty s vnějším okolím.

U všech variant v obou způsobech kompostování byl 1x týdně měřen obsah kyslíku, který dosahoval hodnoty 20 %. Tato koncentrace O₂ potvrzuje, že v zakládkách bylo vhodné prostředí pro rozvoj žádoucích aerobních mikroorganismů zajišťujících přeměnu organického materiálu na kompost.

5.5 Objemová hmotnost zakládek

U experimentálních zakládek byla stanovena počáteční objemová hmotnost pomocí vzorce uvedeného v kapitole 4.5. U kompostérů byla vypočítána jednotlivě pro každou variantu zvlášť, pro pásovou zakládku byla vypočítána celková objemová hmotnost celé hromady. Jednotlivé hodnoty jsou znázorněny v grafu.



Graf 15: Objemová hmotnost zakládek

5.6 Obsah živin a hodnota pH v kompostech

Stanovení obsahu živin, pH a C_{ox} u kompostů byla provedena v akreditované laboratoři VÚPT Troubsko dle uvedené metodiky. Výsledné hodnoty stanovovaných živin jsou přehledně uvedeny v následujících tabulkách rozdělených dle použité technologie kompostování.

Tab. 6: Obsah živin u variant v kompostérech

Kompostér	K	Mg	P	N_c	C_{ox}	sušina	pH
	$mg \cdot kg^{-1}$	$mg \cdot kg^{-1}$	$mg \cdot kg^{-1}$	%	%	%	
varianta I	12802	902	802	1,67	-	57,1	7,3
varianta II	10215	871	783	1,34	-	58,4	7,3
varianta III	10716	938	753	1,36	-	65,8	7,3
varianta IV	8862	847	725	1,01	-	62,1	7,4

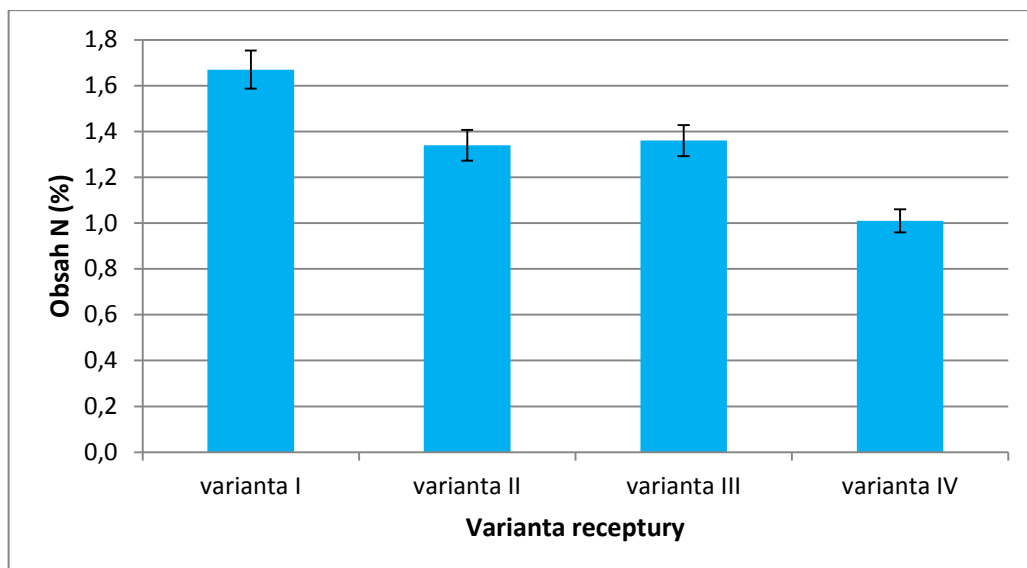
Tab. 7: Obsah živin u variant v pásové zakládce

Pásová zakládka	K	Mg	P	N_c	C_{ox}	sušina	pH
	$mg \cdot kg^{-1}$	$mg \cdot kg^{-1}$	$mg \cdot kg^{-1}$	%	%	%	
varianta I	9717	1223	771	1,16	8,00	52,8	7,3
varianta II	6948	944	760	0,08	4,00	76,2	7,3
varianta III	10336	1562	847	1,10	6,45	67,6	7,3
varianta IV	15274	2214	858	0,20	6,79	62,0	7,6

Jednotlivé výsledky stanovení hlavních makroprvků, hodnot pH a C_{ox} jsou následně graficky znázorněny a individuálně vyhodnoceny v samostatných kapitolách.

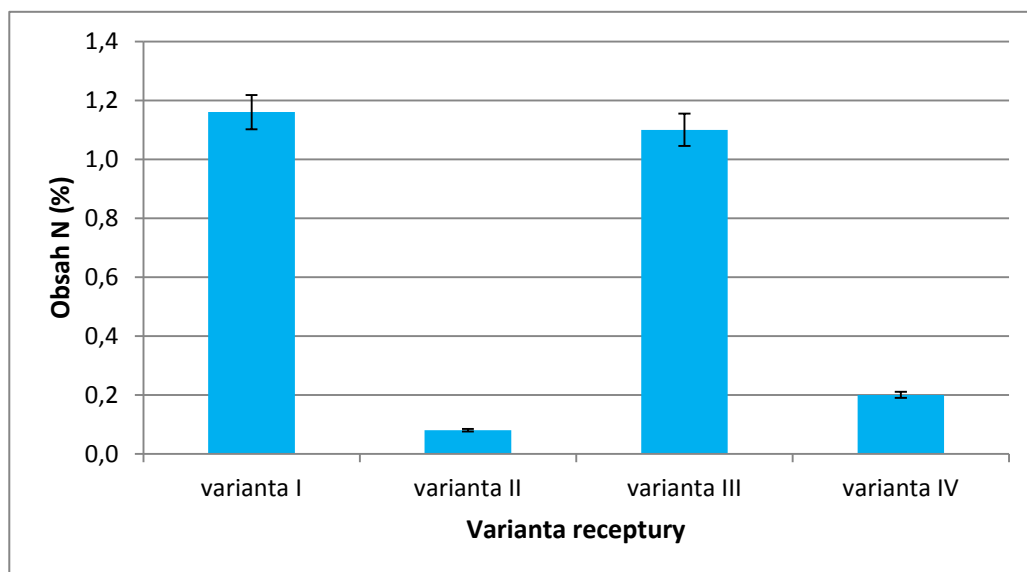
5.6.1 Obsah dusíku (N)

Výsledné hodnoty rozboru zaměřené na stanovení celkového obsahu dusíku jsou uvedeny v grafech 16 a 17. Z těchto výsledků je zřejmý statisticky průkazný rozdíl mezi obsahem dusíku v kompostu u varianty I a varianty IV při využití technologie kompostování v kompostérech. Taktéž je tento rozdíl zřejmý mezi variantou I, variantou II a variantou IV u způsobu kompostování v pásové zakládce.



Graf 16: Obsah celkového dusíku v kompostérech

Nejvyšší obsah celkového dusíku v kompostérech byl naměřen u varianty I, který dosahoval 1,67 %, oproti tomu nejnižší obsah byl naměřen u varianty IV s hodnotou 1,01 %.

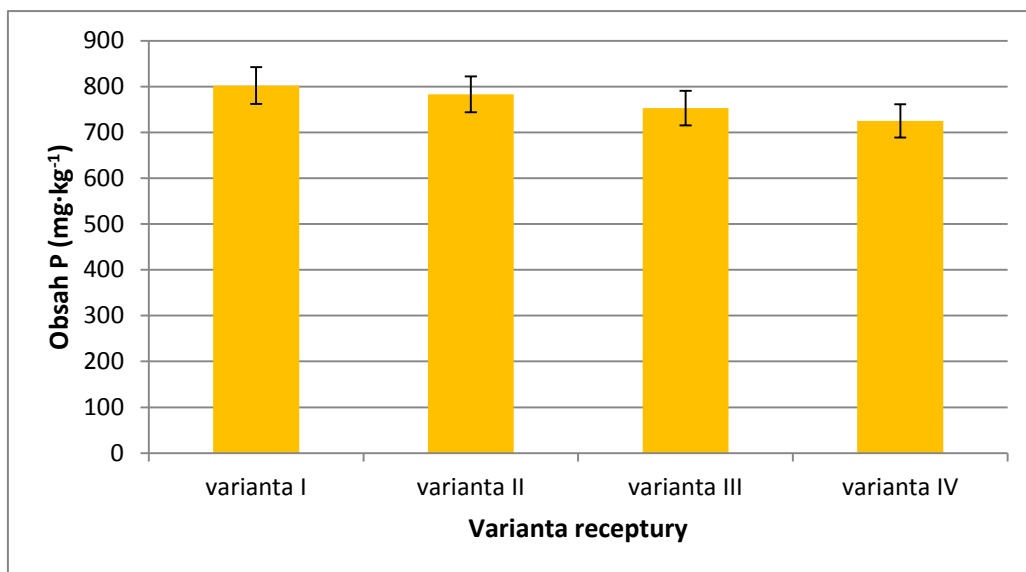


Graf 17: Obsah celkového dusíku v pásové zvládce

U technologie kompostování v pásové zvládce byl nejvyšší obsah celkového dusíku taktéž naměřen u varianty I, kde dosahoval 1,16 %, nejnižší byl naměřen u varianty II, kde tato hodnota dosáhla pouze 0,08 %.

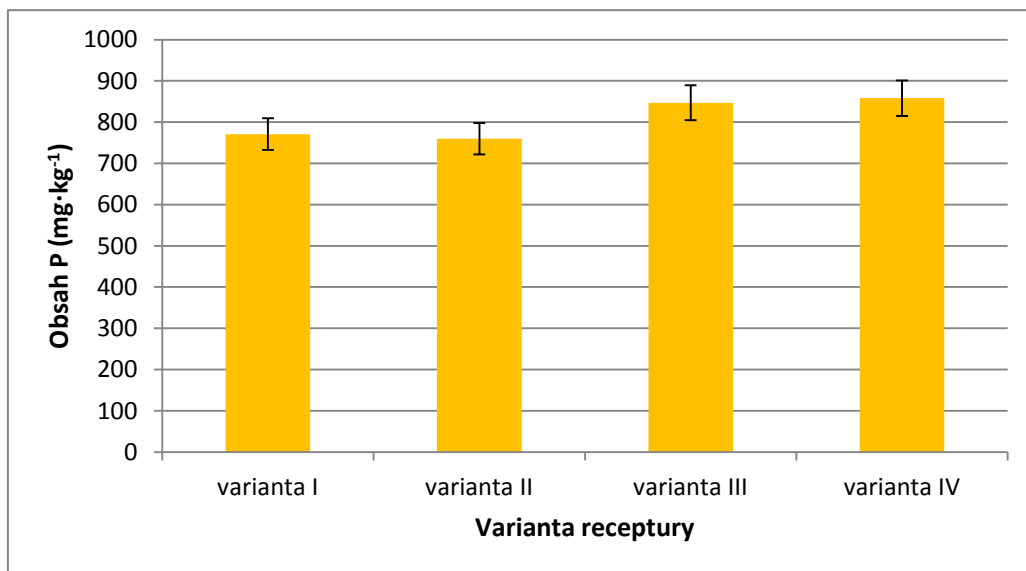
5.6.2 Obsah fosforu (P)

Výsledky rozboru zaměřené na stanovení obsahu fosforu v kompostech jsou uvedeny v grafech 18 a 19.



Graf 18: Obsah fosforu v kompostérech

U technologie kompostování v kompostérech byl nejvyšší obsah fosforu naměřen u varianty I dosahující hodnoty 802 mg·kg⁻¹, nejnižší byl naměřen u varianty IV v hodnotě 725 mg·kg⁻¹.



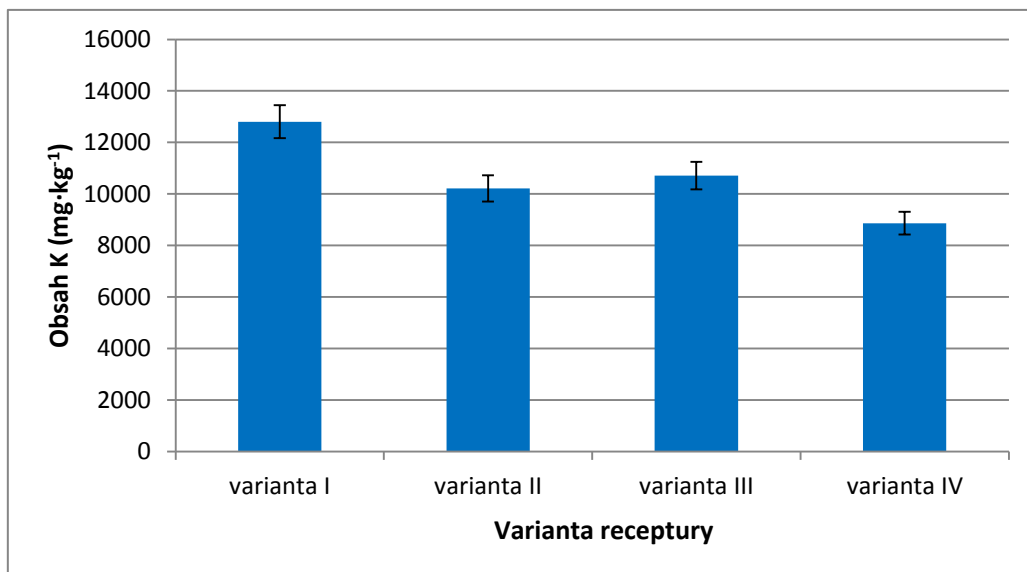
Graf 19: Obsah fosforu v pásové zákládce

Oproti kompostérům byl u pásové zákládce naměřen nejvyšší obsah fosforu u varianty IV v hodnotě 858 mg·kg⁻¹, nejnižší množství pak obsahovala varianta II s hodnotou 760 mg·kg⁻¹.

5.6.3 Obsah draslíku a hořčíku (K, Mg)

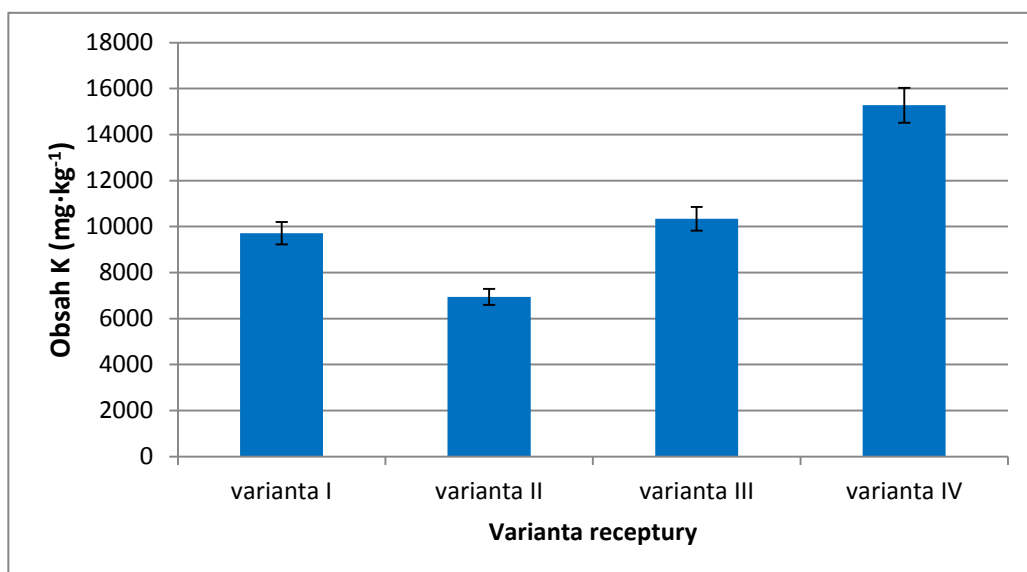
Draslík

Výsledné hodnoty rozboru orientované na stanovení obsahu draslíku jsou uvedeny v grafech 20 a 21. Z uvedených výsledků je patrný statisticky průkazný rozdíl mezi obsahem draslíku v recepturách kompostu u varianty I a varianty IV při využití technologie kompostování v kompostérech. Rovněž je tento rozdíl zřejmý mezi variantou II a variantou IV u způsobu kompostování v pásové zvládce.



Graf 20: Obsah draslíku v kompostérech

U způsobu kompostování v kompostérech byla stanovena jeho nejvyšší hodnota 12 804 mg·kg⁻¹ u varianty I. Nejnižší obsah tohoto makroprvku byl naměřen u varianty IV, kde dosahoval hodnoty 8 862 mg·kg⁻¹.

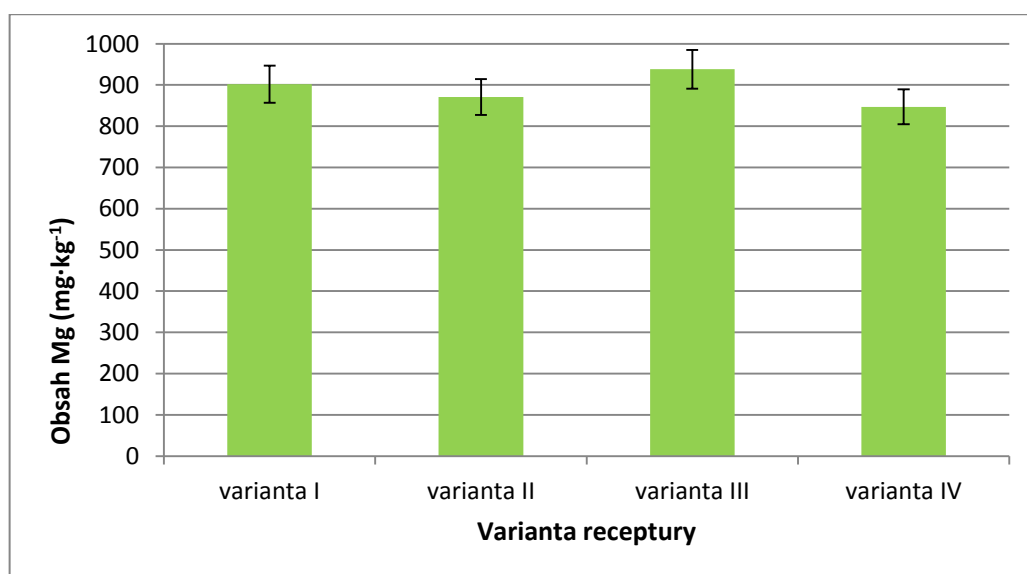


Graf 21: Obsah draslíku v pásové zvládce

V pásové zakládce byla naměřena nejvyšší hodnota draslíku $15\,274\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ u varianty IV, nejnižší poté u varianty II, kde byl jeho obsah $6\,948\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

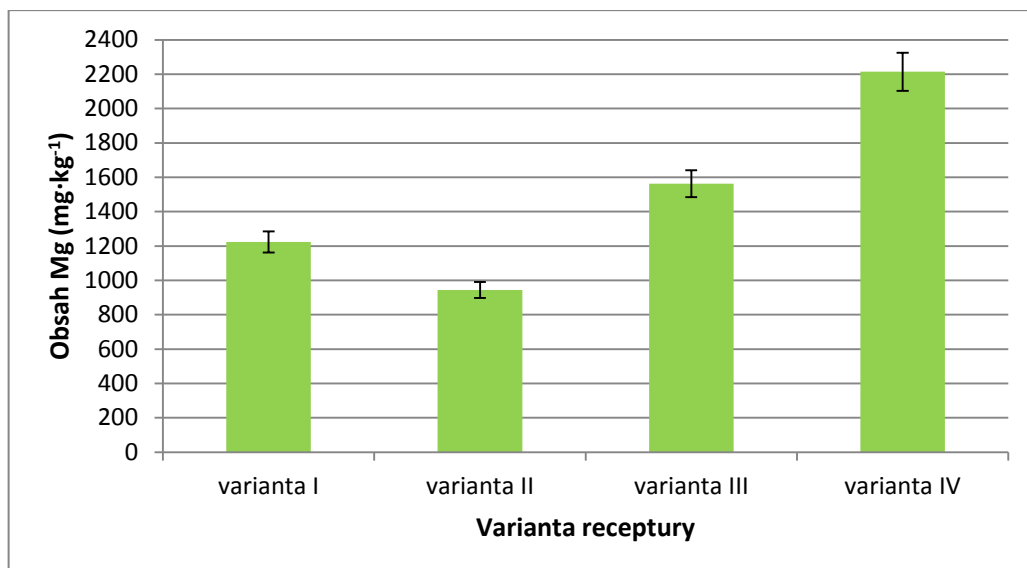
Hořčík

Výsledné hodnoty rozboru zaměřené na stanovení celkového obsahu hořčíku jsou uvedeny v grafech 22 a 23. Z předložených výsledků je zjevný statisticky průkazný rozdíl mezi obsahem hořčíku u varianty II a varianty IV při využití technologie kompostování v pásové zakládce.



Graf 22: Obsah hořčíku v kompostérech

Nejvyšší obsah hořčíku u kompostérů byl stanoven u varianty III, která obsahovala $938\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, nejnižší hodnota byla naměřena u varianty IV, kde byl obsah hořčíku $847\text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$.

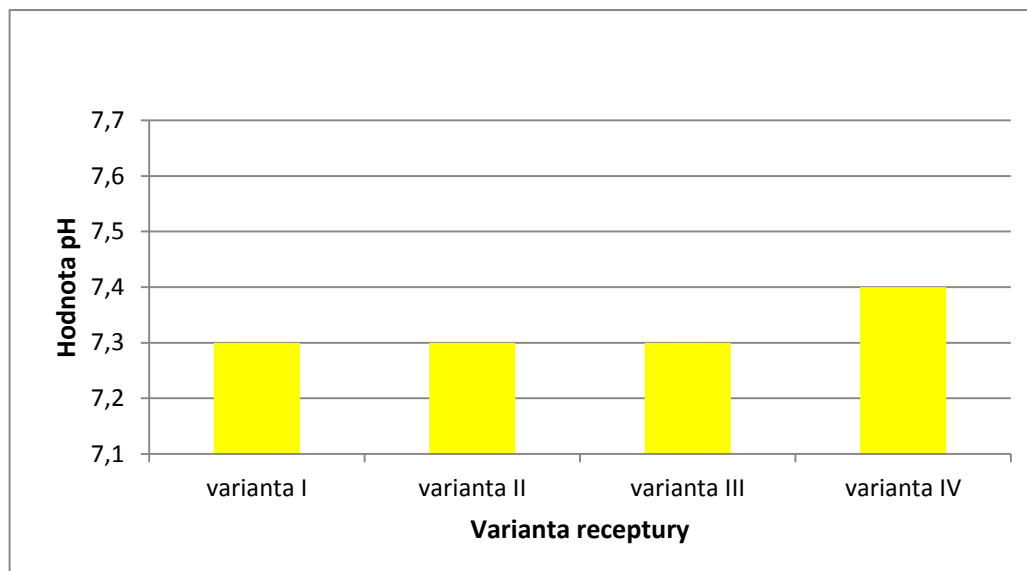


Graf 23: Obsah hořčíku v pásové zakládce

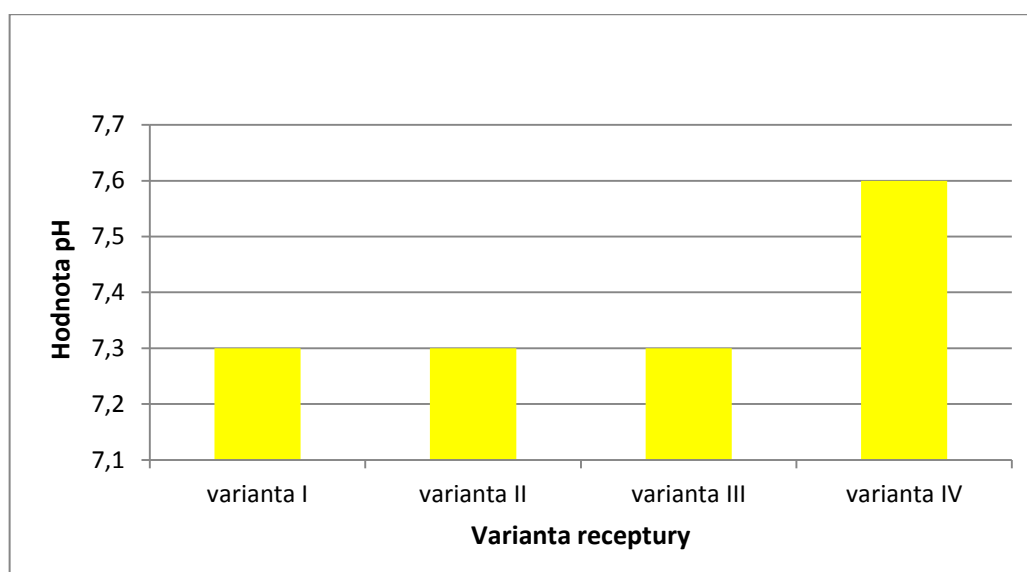
V technologii kompostování v pásové zakládce byl nejvyšší obsah tohoto makroprvku naměřen u varianty IV v hodnotě 2 214 mg·kg⁻¹, nejnižší hodnota byla naměřena u varianty II s obsahem hořčíku 944 mg·kg⁻¹.

5.6.4 Hodnota pH

V rámci laboratorní analýzy, byla přesně stanovena hodnota pH u jednotlivých variant kompostů. Stanovené hodnoty jsou znázorněny v následujících grafech 24 a 25.



Graf 24: Hodnota pH v kompostérech

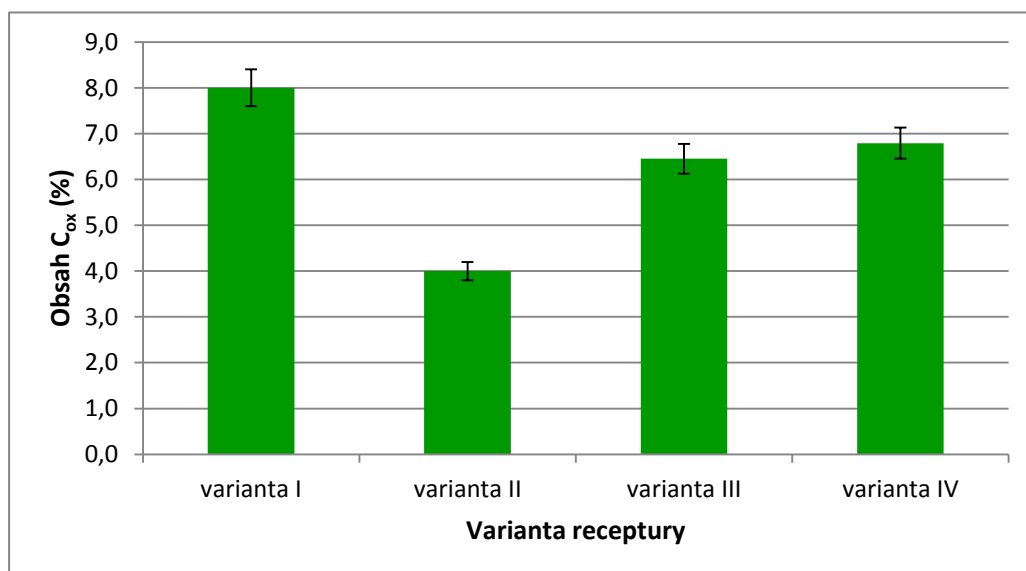


Graf 25: Hodnota pH v pásové zákládce

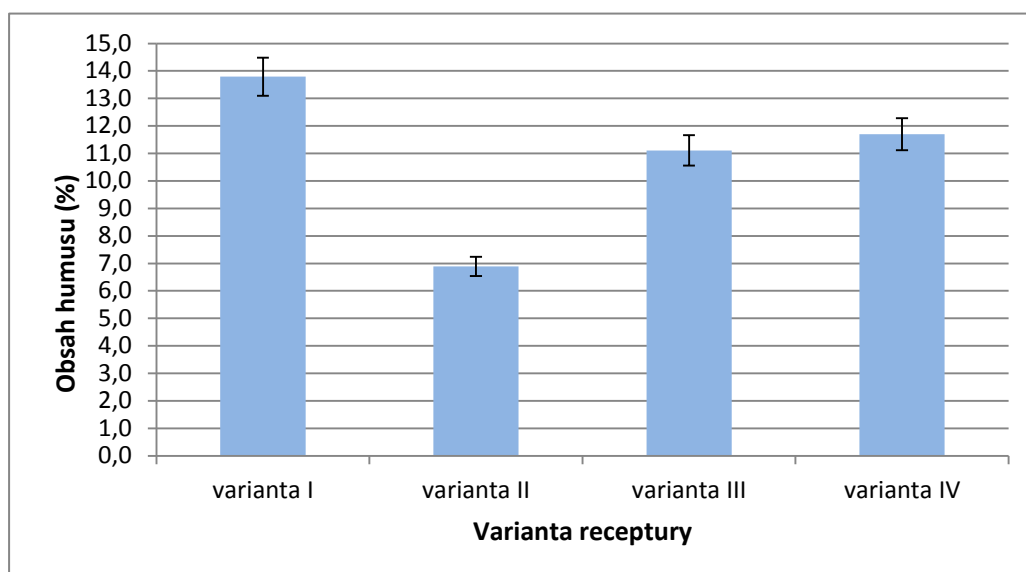
Hodnota pH dosahovala v obou technologiích u variant I–III hodnoty 7,3. U varianty IV dosáhla hodnota pH v zahradním kompostéru hodnoty 7,4 a v pásové zákládce hodnoty 7,6. Laboratorní analýza potvrdila, že jedná se o komposty s neutrálním až slabě zásaditým pH.

5.6.5 Obsah C_{ox} a humusu

Výsledné hodnoty rozboru zaměřené na stanovení procentuálního obsahu C_{ox} jsou uvedeny v grafu 26, následný přepoččet na obsah humusu je uveden v grafu 27. Z těchto výsledků je zřejmý statisticky průkazný rozdíl mezi obsahem C_{ox} i obsahem humusu v kompostu u varianty I a varianty II.



Graf 26: Obsah C_{ox} v pásové zvládce



Graf 27: Obsah humusu v pásové zvládce

Obsah oxidovatelného organického uhlíku byl stanoven pouze u variant v pásové zvládce. Z hodnot uvedených v prvním grafu je zřejmé, že všechny čtyři varianty dosáhly hodnot mezi 4 a 8 %. Následným přepočtem C_{ox} na procentuální obsah humusu bylo zjištěno, že se jedná o komposty s velmi vysokým obsahem humusu, jelikož výsledné hodnoty jsou vyšší než 5 %.

5.7 Test fytoxicity

Tab. 8: Výsledky testu fytoxicity

Vzorek	Průměrná délka kořínků	Klíčivost	Index klíčivosti
	(mm)	(%)	(%)
kontrola	6	100	100
Kompostér			
varianta I	5	100	83
varianta II	7	100	117
varianta III	8	100	133
varianta IV	8	100	133
Pásová zakládka			
varianta I	5	100	83
varianta II	8	100	133
varianta III	7	100	117
varianta IV	6	100	100

Z výše uvedené tabulky lze vyčíst, že klíčivost všech vzorků dosáhla 100 % a že se průměrná délka kořínků pohybovala od 5 do 8 mm. Ze získaných informací byl dopočítán index klíčivosti jednotlivých variant. Nejnižší hodnoty dosáhla varianta I u obou použitých technologií, která činila 83 %. Tento výsledek určuje tuto variantu jako dobře zralý kompost vhodný k aplikaci před setím. Oproti tomu varianty II–IV dosáhly hodnoty 100 % a vyšší, jež tyto varianty vyhodnocuje jako vhodné substráty pro zahradnictví a zelinářství se schopností stimulačních účinků.



Obr. 17: Kontrola po 24 h



Obr. 18: Měření délky kořínků

5.8 Bilance užívaných ploch a odpadů z nich vznikajících v areálu ZF

V následující tabulce 9 jsou přehledně znázorněny typy užívaných ploch a produkce biologicky rozložitelných odpadů na nich vznikajících. Informace o velikosti ploch byly získány ze správy Zahradnické fakulty, průměrná produkce BRO vychází z tabulek dle Zemánka et al. (2010). Celková hmotnost surovin byla vypočítána z těchto informací.

Tab. 9: Bilance ploch a BRO v areálu ZF

Typ plochy	Plocha	BRO	Průměrná produkce	Surovina celkem
	(ha)		(t·ha ⁻¹)	(t)
Okrasné	2,8		2,5	7
Orné	14		3,0	43
Ovocný sad	30		2,5	75
Vinice	7	réví	2,0	15
		matoliny	1,4	10
ZF celkem	53,8			150

Zahradnická fakulta celkem obhospodařuje 53,8 ha zemědělských ploch, ze kterých ročně vzniká 150 t biologicky rozložitelných odpadů.

Ze získaných informací byla následně vypočítána velikost plochy potřebné pro experimentální kompostárnu. Z údajů je známa celková hmotnost vstupních surovin - m_c , celková objemová hmotnost vstupních surovin - ρ_c , počet zakládek - n , výška trojúhelníkové pásové zakládky - h a šířka trojúhelníkové pásové zakládky - a .

$$m_c = 150 \text{ t} \quad \rho_c = 0,33 \text{ t} \cdot \text{m}^{-3} \quad n = 4$$

$$a = 1,5 \text{ m} \quad h = 0,9 \text{ m}$$

Výpočet plochy průřezu trojúhelníkové pásové zakládky:

$$S = \frac{1}{2} \cdot a \cdot h$$

$$S = 0,675 \text{ m}^2$$

kde: a - šířka trojúhelníkové pásové zakládky (m)

h - výška trojúhelníkové pásové zakládky (m)

Výpočet objemu kompostu připadající na 1 m² plochy:

$$\rho = \frac{S}{a}$$

$$\rho = 0,45 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-2}$$

kde: a - šířka trojúhelníkové pásové zakládky (m)

S - plocha průřezu trojúhelníkové pásové zakládky (m²)

Potřebná velikost kompostovací plochy při provedení 2 kompostovacích cyklů za rok:

$$S_k = \frac{m_c}{\rho_c} \cdot \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{\rho}$$

$$S_k = 504,54 \text{ m}^2$$

kde: m_c - celková hmotnost vstupních surovin (t)

ρ_c - celková objemová hmotnost vstupních surovin (t·m⁻³)

ρ - objem kompostu na 1 m² (m³·m⁻²)

Vypočítaná plocha představuje plochu pokrytou pásovými zakládkami. Pro výpočet celkové délky kompostovací plochy - l_c bylo nejprve nutné určit počet pásových zakládek. Délka kompostovací plochy je rovna délce pásových zakládek, kterou je nutné zvětšit cca o 5 m z každé strany z důvodu otáčení techniky.

$$l_c = \frac{S_k}{a \cdot n} + 10$$

$$l_c = 94 \text{ m}$$

kde: a - šířka trojúhelníkové pásové zakládky (m)

n - počet zakládek

S_k - plocha pokrytá pásovými zakládkami (m²)

Z důvodu průjezdu mechanizace je počítáno s pojezdovými uličkami odpovídajícími šířce traktorového překopávače - a₂ = 2 m mezi zakládkami a po obou stranách kompostovací plochy. Z těchto údajů je následně dopočítána celková šířka kompostovací plochy.

$$a_c = n \cdot a + (n - 1) \cdot a_2 + 2 \cdot 2,0$$

$$a_c = 14 \text{ m}$$

kde: a - šířka trojúhelníkové pásové zakládky (m)

n - počet zakládek

a₂ - šířka traktorového překopávače (m)

Výpočet celkové plochy

$$S_c = a_c \cdot l_c$$

$$S_c = 1\,316 \text{ m}^2$$

kde: a_c - celková šířka kompostovací plochy (m)

l_c - celková délka kompostovací plochy (m)

Z výpočtů lze zjistit, že pro zpracování 150 t biologicky rozložitelných odpadů je potřeba plocha experimentální kompostárny o rozloze 1 316 m².

5.9 Stanovení nákladů na 1 t kompostu

Pro stanovení nákladů na 1 t kompostu byla využita metodika dle Zemánka et al. (2010), která pracuje s nákladovými položkami uvedenými v následujících tabulkách.

Tab. 10: Receptura zakládek a množství surovin

Druh suroviny	Podíl	Množství	Objemová hmotnost
	(%)	(t)	(t·m ⁻³)
Dřevní štěpka	50	75	0,30
Matoliny	6	10	0,45
Travní hmota	5	7	0,30
Štěpka réví	10	15	0,20
Zelinářský odpad	29	43	0,40
Celkem	100	150	-
Produkce kompostu	70	105	0,33
Hmotnostní ztráta	30	45	-

Receptura zakládek uvedená v tab. 10 vychází z bilance BRO vyprodukovaných na ZF. Z celkového původního množství vstupních surovin 150 t je předpokládána hmotnostní ztráta 30 %. Roční produkce hotového kompostu činí 105 t.

V tab. 11 jsou uvedeny vypočítané náklady na provoz strojů dle daných sazeb.

Tab. 11: Náklady na provoz strojů

Operace	Množství	Sazba	Potřeba času	Provozní náklady
	(t)	(Kč·hod ⁻¹)	(hod)	(Kč)
Drcení ELIET PROF 5	90	450	110	49 500
Překopávání Z 8011 + EURO BAGGING NP 2,8	150	780	27	21 060
Úprava profilu UNC-060	150	500	12	6 000
Nakládání kompostu UNC-060	105	500	8	4 000
Náklady na provoz strojů celkem				80 560

Z dostupné mechanizace bude pro drcení dřevní hmoty a réví využíván drtič ELIET PROF 5, pro překopávání zakládek kolový traktor Zetor 8011 Crystal a nesený překopávač EURO BAGGING NP 2,8. Pro úpravu profilu zakládek a nakládání kompostů bude využíván nakladač UNC-060.

Kalkulace mzdových nákladů uvedené v tab. 12 vycházejí z předpokladů, že jednotliví pracovníci mají odpovídající kvalifikaci pro obsluhu mechanizačních prostředků využívaných při práci na kompostárně.

Tab. 12: Mzdové náklady na obsluhu kompostárny

Operace	Spotřeba pracovního času	Hodinová sazba	Pracovní náklady
	(hod)	(Kč·hod ⁻¹)	(Kč)
Drcení	110	136	14 960
Překopávání	27	136	3 672
Práce s nakladačem UNC	20	136	2 720
Mzdové náklady na obsluhu kompostárny celkem			21 352

V tab. 13 jsou shrnuty výsledky ekonomické bilance jednotlivých nákladových položek a stanovení celkových provozních nákladů kompostárny.

Tab. 13: Celkové provozní náklady kompostárny

Náklad	(Kč·r ⁻¹)
Náklady na provoz strojů	80 560
Mzdové náklady na obsluhu kompostárny	21 352
Provozní náklady celkem	101 912

Náklady na 1 t kompostu jsou vypočítány jako:

$$\frac{\text{celkové provozní náklady}}{\text{produkce kompostu}} = \frac{101\,912}{105} = 970 \text{ Kč} \cdot \text{t}^{-1}$$

6. Diskuze

V rámci této diplomové práce byla řešena problematika kompostování matolin jako odpadního materiálu z vinařské výroby. V kombinaci s ostatními biologicky rozložitelnými materiály byly pro experimentální část sestaveny čtyři varianty receptur s různým podílem matolin, u kterých byly sledovány parametry kompostovacího procesu. V první části byly navržené varianty testovány technologií kompostování v zahradních kompostérech, následně byly v druhé experimentální části ověřeny kompostováním v pásové zakládce.

Jedním z nejdůležitějších parametrů je teplotní vývoj, kdy Roy (2013) uvádí optimální teplotu pro rozklad organických látek v rozmezí 50–60 °C, ovšem také je uváděno širší rozmezí 43–65 °C. Z těchto teplot vychází také potřebná teplota vyšší 45 °C pro dodržení doby hygienizace dle ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“.

V první části byly tyto varianty testovány technologií kompostování v zahradních kompostérech. U této technologie nedošlo v průběhu kompostovacího procesu k dosažení teploty vyšší než 45 °C, jenž je požadována v rámci ČSN 46 5735. Avšak tato skutečnost potvrzuje hypotézu dle Plívy et al. (2016) o dosažení nižších teplot a prodlužování doby přeměny v zahradních kompostérech, kdy tato zařízení mohou být zaplněna téměř po celý rok. Následným ověřením těchto receptur technologií kompostování v pásové zakládce bylo prokázáno správné sestavení použitých variant receptur, jelikož všechny čtyři varianty dosáhly teploty přes 55 °C po dobu odpovídající požadavkům pro hygienizaci. Tyto teploty korelovaly se správným průběhem termofilní fáze a vysokou aktivitou žádoucích termofilních mikroorganismů. V mezofilní fázi došlo k snížení teploty, změně struktury zakládek. V poslední fázi docházelo postupně k vyrovnání teploty zakládek, které vypovídalo o útlumu aktivity mikroorganismů a o stabilizaci kompostu. Zjištěné výsledky experimentu neprokázaly výrazný vliv různých podílů matolin na teplotní vývoj v kompostovacím procesu.

Z požadavků jakosti dle ČSN 46 5735, ze které vycházejí i ostatní čeští autoři, se musí hodnota optimálního pH u zralého kompostu pohybovat v rozmezí hodnot od 6,0 do 8,5. Tento předpoklad splnily všechny varianty kompostů u obou použitých technologií, jelikož výsledné hodnoty se pohybovaly v rozmezí 7,3–7,6.

Z výsledků rozboru živin nelze na první pohled s jistotou říci, o jaké komposty se jedná ze stránky obsahu makroprvků, neboť žádný autor nepublikoval přesné minimální nebo maximální hodnoty obsahu stanovovaných živin v $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Známý jsou pouze procentuální hodnoty u celkového dusíku, fosforu a draslíku obsažené v sušině. Do budoucna by bylo vhodné se této problematice více věnovat a předložit jednotlivé hodnoty makroprvků, tak aby bylo možné je reálně vyhledat a jednodušeji interpretovat.

Burg et al. (2011) považují za kvalitní komposty ty, které dosahují minimálně 2,6 % obsahu dusíku. Ovšem dle ČSN 46 5735 musí hodnota dusíku (přepočtená na sušinu) dosahovat minimálně 0,6 %. Tento požadavek nesplnila varianta II a varianta IV v pásové zakládce, kde byly výsledné hodnoty výrazně nižší. U těchto variant by se dalo polemizovat, zdali se jednalo pouze o vzniklou anomálii či nikoliv, jelikož u technologie kompostování v zahradních kompostérech tyto varianty dosahovaly vyšších hodnot. Konkrétně varianta II dosahovala hodnoty 1,34 % v sušině a varianta IV dosahovala hodnoty 1,01 % v sušině.

Dalšími hodnocenými výsledky byly obsah C_{ox} a následný přepočet na obsah humusu ve variantách receptur kompostovaných v pásové zakládce. Jak už je psané ve výsledcích, všechny varianty dosáhly hodnoty C_{ox} v rozmezí 4–8 %. Následným přepočtem na obsah humusu bylo zjištěno, že tyto varianty obsahovaly velmi vysoký obsah humusu. Tato vyhodnocení mimo jiné potvrzuje i Kutílek (1978).

Podle Plívy et al. (2016) prokázaly výsledky testu fytoxicity zralost všech variant vyrobených kompostů. Interpretované výsledky indexu klíčivosti zařadily varianty II-IV jako typ kompostů se stimulační schopností využitelné jako zahradnické substráty. Varianta I byla vyhodnocena jako dobře zralý kompost aplikovatelný před setím. Zajímavé je, že u tohoto testu nebyl prokázán žádný vliv průběhu kompostovacího procesu u jednotlivých technologií, s ohledem na teplotní vývoj u variant v zahradních kompostérech.

Dalším cílem této práce byla bilance biologicky rozložitelných odpadů vznikajících na obhospodařovaných plochách ZF a na těchto základech byla navržena experimentální kompostárna. Metodikou dle Zemánka et al. (2010) byla vypočítána potřebná velikost kompostovací plochy potřebná pro zpracování 150 t každoročně vznikajících biologicky rozložitelných odpadů. Podle Zemánka et al. (2010) byly také vypočítány celkové provozní náklady kompostárny a náklady na výrobu 1 t kompostu.

Ve výpočtech bylo prozatím počítáno pouze se dvěma kompostovacími cykly a se zpracováním biologicky rozložitelných odpadů jen z areálu Zahradnické fakulty.

Náklady na výrobu 1 t kompostu byly vykalkulovány ve výši 970 Kč. Zemánek et al. (2010) uvádí, cenu na výrobu 1 t kompostu 487 Kč, Kovaříček et al. (2012) ve výši 800–1000 Kč. Ke snížení výrobních nákladů na 1 t kompostu by mohlo přispět zvýšení příjmu biologicky rozložitelných odpadů např. z údržby veřejných ploch obce Lednice nebo ze zámeckého parku. Tyto možnosti snížení nákladů uvádí ve své studii Šeflová (2010).

7. Závěr

Kompostování jako technologie zpracování biologicky rozložitelných odpadů má nespočet výhod. Ať už se jedná o šetrné řešení nakládání se vznikajícím odpadním organickým materiálem k životnímu prostředí či o následné využití kompostu jako organického hnojiva zlepšující půdní vlastnosti.

Využití matolin při kompostování se ukázalo jako velice výhodné řešení problematiky, jak s nimi naložit jakožto se sezónním odpadem. Z interpretovaných výsledků v této diplomové práci je zřejmé, že ze čtyř sestavených variant receptur vycházela nejlépe varianta III obsahující 25% podíl matolin. Tato varianta dosáhla během kompostování nejvyšší naměřené teploty 63,1 °C. Obsah živin u této varianty dosahoval hodnot 1,10 % dusíku, 858 mg·kg⁻¹ fosforu, 10 336 mg·kg⁻¹ draslíku a 1 562 mg·kg⁻¹ hořčíku. Hodnota pH byla 7,3. Obsah oxidovatelného organického uhlíku byl 6,45 %, což po přepočtu odpovídá 11,11 % humusu. Index klíčivosti dosahoval hodnoty 117 %.

V rámci této práce byl v areálu Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně proveden průzkum obhospodařovaných ploch a ze získaných informací vypracována bilance vznikajících biologicky rozložitelných odpadů. Tímto průzkumem bylo zjištěno, že Zahradnická fakulta obhospodařuje 53,8 ha zemědělských ploch, ze kterých ročně vzniká 150 t biologicky rozložitelných odpadů. Z tohoto množství vznikne kompostováním 105 t kompostu. Z těchto údajů byla pomocí výpočtů stanovena potřebná plocha experimentální kompostárny, která činí 1 316 m². Celkové provozní náklady byly vypočítány ve výši 101 912 Kč. Náklady na výrobu 1 t kompostu činí 970 Kč.

Uvedené výsledky mohou značně přispět k rozšíření vědomostí o možnostech kompostování matolin a o následném zpětném využití kompostů ve vinicích nebo dalších především zemědělsky obhospodařovaných plochách.

8. Souhrn

Tato diplomová práce s názvem **Hodnocení parametrů kompostovacího procesu při kompostování matolin** se věnuje problematice nakládání s matolinami a ostatními biologicky rozložitelnými odpady vznikajícími ze zemědělské činnosti jako vhodnými surovinami pro kompostování. V literární části jsou popsány jednotlivé vstupní suroviny a proces kompostování. Základem pro experimentální část bylo navržení čtyř variant receptur s různým podílem matolin a jejich následné ověření v kompostářské praxi.

Současně byl proveden průzkum obhospodařovaných ploch a bilance biologicky rozložitelných odpadů vznikajících v areálu Zahradnické fakulty Mendelovy univerzity v Brně. Ze získaných informací byla vypočítána velikost plochy potřebná pro založení experimentální kompostárny a stanoveny náklady na výrobu 1 tuny kompostu.

Klíčová slova: matoliny, kompostování, biologicky rozložitelný odpad, ZF MENDELU

9. Summary

This master's thesis entitled **The Evaluation of the Parameters of the Composting Process in the Composting of Grape Marcs** deals with the issue of the treatment of grape marcs and other biodegradable wastes originating in agricultural activities as suitable raw materials for composting. In the literary part are described the individual input raw materials and the composting process. The basis for the experimental part was the proposing of four variants of recipes with different proportions of grape marcs and their subsequent verification in composting practice.

At the same time, both of survey in the areas under cultivation and a balance of biodegradable waste generated at the Faculty of Horticulture, Mendel University in Brno were conducted. From the information obtained, the size of the area needed for setting up an experimental composting plant was calculated and the costs of production of 1 tonne of compost was determined.

Key words: grape marcs, composting, biodegradable waste, Faculty of Horticulture

10. Seznam použité literatury

ALTMANN, V.; BURG, P.; POSPÍŠILOVÁ, L. et al. 2013. *Využití kompostu pro optimalizaci vodního režimu v krajině*. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2013. 101 str. ISBN 978-80-87226-26-1.

ALTMANN, V. 2010. Nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. *Biom.cz* [online] 2016. [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-biologicky-rozlozitelnymi-odpady>. ISSN 1801-2655.

BURG, P.; ZEMÁNEK, P.; MICHÁLEK, M. 2011. *Acta Mendelovy zemědělské a lesnické univerzity v Brně: Vyhodnocení vybraných parametrů kompostování*. Brno, Editační středisko MZLU v Brně, 2011. 176 str. ISBN: 978-80-903548-8-3.

BENDA, V. 2012. *Obnovitelné zdroje energie*. Praha: Profi Press, 2012. 208 str. ISBN 978-80-86726-48-9.

DIAZ, L. F.; DE BERTOLDI, M.; BIDLINGMAIER, W. et al. 2007. *Compost science and technology*. Boston, MA: Elsevier, 2007. p. 380. ISBN 978-0-08-043960-0.

EPSTEIN, E. 1996. *The Science of Composting*. CRC Press, 1996. p. 504. ISBN 978-1566764780.

FLOWERDEW, B. 2011. *Kompost. Metafora*, 2011. 112 str. ISBN 978-80-7359-274-5.

HEJÁTKOVÁ, K.; JELÍNEK, A.; PLÍVA, P. et al. 2003. *Faremní kompost vyrobený kontrolovaným mikrobiálním kompostováním. Realizační pomůcka pro zpracování podnikové normy*. Reprografické služby VÚZT Praha, 2003. 64 str. ISBN 80-238-9749-7.

KALINA, M. 2004. *Kompostování a péče o půdu*. 2., upr. vyd. Praha: Grada, 2004. 116 str. ISBN 80-247-0907-4.

KÁRA, J.; PASTOREK, Z.; JELÍNEK, A. 2002. Kompostování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online] 2002. [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655.

KOMPOSTUJ. 2017. Komunitní kompostování. *Kompostuj.cz* [online] 2017. [cit. 01. 02. 2017]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/komunitni-kompostovani/>

KOMPOSTUJ. 2017. Vermikompostování. *Kompostuj.cz* [online] 2017. [cit. 01. 02. 2017]. Dostupné z: <http://www.kompostuj.cz/vime-jak/vermikompostovani/>

KOVAŘÍČEK, P.; PLÍVA, P.; ABRHAM, Z. et al. 2012. Modelové postupy výroby kompostu na farmě pro vlastní spotřebu. *Komunální technika*. 2012. roč. 6. č. 5. 11 str. ISSN 1802-2391.

KUTÍLEK, M. 1978. *Vodohospodářská pedologie*. 2. přeprac. vyd. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1978. 295 str.

MODERY, A.; KÖTTER, E. 2015. *Kompost für alle Zwecke*. Cadmos, 2015. p. 128. ISBN 978-3840475399.

NA ZELENO. 2016. Biomasa. *Nazeleno.cz* [online] 2016. [cit. 15. 11. 2016]. Dostupné z: <http://www.nazeleno.cz/biomasa.dic>

PLÍVA, P. ROY, A.; SOUČEK, J. et al. 2016. *Kompostování a kompostárny*. Praha: Profi Press, 2016. 152 str. ISBN 978-80-86726-74-8.

PLÍVA, P. et al. 2009. *Kompostování v pásových hromadách na volné ploše*. Praha: Profi Press, 2009. 136 str. ISBN 978-80-86726-32-8.

PLÍVA, P. 2010. Plochy vhodné pro kompostování v pásových hromadách. *Biom.cz* [online] 2010. [cit. 14. 03. 2017]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plochy-vhodne-pro-kompostovani-v-pasovych-hromadach>. ISSN 1801-2655.

PLÍVA, P. JELÍNEK, A.; KOLLÁROVÁ, M. et al. 2006. *Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2006. 65 str. ISBN 80-868-8411-2.

ROY, A. 2013. Měření teploty kompostu – primárního indikátoru průběhu kompostovacího procesu. *Biom.cz* [online] 2013. [cit. 01. 05. 2017]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz-bioodpady-a-kompostovani/odborne-clanky/mereni-teploty-kompostu-primarniho-indikatoru-prubehu-kompostovaciho-procesu>. ISSN: 1801-2655.

ŠEFLOVÁ, J. 2010. *Odborné kapitoly k nakládání s biologicky rozložitelnými komunálními odpady a příklad Moravskoslezského kraje*. Vyd. 1. Praha: IREAS, Institut pro strukturální politiku, 2010. 114 str. ISBN 978-80-86684-60-4.

ZEMÁNEK, P.; BURG, P.; KOLLÁROVÁ, M. et al. 2010. *Biologicky rozložitelné odpady a kompostování*. Praha: Výzkumný ústav zemědělské techniky, 2010. 113 str. ISBN 978-80-86884-52-3.

Právní předpisy a legislativa

ČSN 46 5735 „Průmyslové komposty“

Vyhláška č. 341/2008 Sb.

Zákon č. 156/1998 Sb. *Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení půd*

Zákon č. 185/2001 Sb. *Zákon o odpadech a změně některých dalších zákonů*

11. Přílohy

Agrolab spol. s r.o. 664 41 Troubsko

tel.: 547 138 837, 547 357 054 e-mail : agrolab@vupt.cz www.agrolab-troubsko.cz

Výsledky rozboru kompostu

Zadavatel : Zemědělský výzkum spol. s r.o., Zahradní 1a, 664 41 Troubsko
Ing. Badalíková

Č.vz.	Materiál	Popis vzorku
179	PŮDY	kompost I
180	PŮDY	kompost II
181	PŮDY	kompost III
182	PŮDY	kompost IV

Č.vz.	K mg/kg	Mg mg/kg	P mg/kg	sušina %	Nc %	Cox %	pH
179	9717	1223	771	52,8	1,16	8,00	7,3
180	6948	944	760	76,2	0,08	4,00	7,3
181	10336	1562	847	67,6	1,10	6,45	7,3
182	15274	2214	858	62,0	0,20	6,79	7,6

V Troubsku dne : 3.3.2017