

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: B 4131 Zemědělství

Studijní obor: Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině

Katedra: Agroekosystémů

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Výroba a jakost kompostů z pohledu agrochemika
a z pohledu zpracovatele organického odpadu**

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.

Autor: Vlasta Broučková

České Budějovice, 2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Vlasta BROUČKOVÁ**
Osobní číslo: **Z12368**
Studijní program: **B4131 Zemědělství**
Studijní obor: **Trvale udržitelné systémy hospodaření v krajině**
Název tématu: **Výroba a jakost kompostů z pohledu agrochemika a z pohledu zpracovatele organického odpadu**
Zadávající katedra: **Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií**

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

1. Na základě studia literárních pramenů popište zhruba současné metody výroby průmyslových kompostů v kompostárnách a způsob hodnocení jejich kvality.
2. Vysvětlete základní rozdíl požadavků na vlastnosti kompostu z pohledu zpracovatele odpadů a z pohledu zemědělce, který by chtěl považovat kompost za stabilizované organické hnojivo s významným obsahem pravého humusu.
3. Je obsah živin v kompostu opravdu tak významným znakem kvality, jak MZe ČR, výrobci i praktická literatura tvrdí? Našla byste lepší a významnější znaky kvality kompostu, který má zlepšit potenciální úrodnost půdy?
4. Jak by bylo možno tyto nové znaky kvality měřit?
5. Jak by bylo nutno adaptovat proces kompostování a jak upravit surovinovou skladbu, aby bylo možno takový zemědělsky cenný kompost v kompostárně vyrobit?
6. K čemu je vhodný současný standardní průmyslový kompost a k čemu by měl sloužit Váš nový kompost v zemědělské praxi?

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Rozsah pracovní zprávy: **40-50 stran**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**
Seznam odborné literatury:

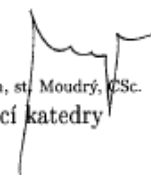
1. Literární rešerše o nových poznatcích v kompostování z přístupných databází, učebnic a praktických příruček.
2. Kritické zhodnocení literární rešerše na bázi poznatků z frakcionace půdní organické hmoty (materiály poskytné vedoucí bakalářské práce).
3. Kolář L., Kužel S.: Odpadové hospodářství. Skripta ZF, 2000.

Vedoucí bakalářské práce: **prof. Ing. Ladislav Kolář, DrSc.**
Katedra aplikovaných rostlinných biotechnologií

Datum zadání bakalářské práce: **10. února 2014**
Termín odevzdání bakalářské práce: **15. dubna 2015**


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

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


prof. Ing. Jan, st. Moudrý, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 26. března 2014

Prohlášení

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

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

V Českých Budějovicích 7. 4. 2015

Vlasta Broučková

Poděkování

Ráda bych poděkovala vedoucímu bakalářské práce prof. Ing. Ladislavu KOLÁŘOVI, DrSc., za metodickou a odbornou pomoc, za čas strávený při konzultacích a další cenné rady při zpracování této práce.

Abstrakt

V bakalářské práci je vysvětlen pojmový rozdíl mezi humusem a primární organickou hmotou, definován kompost a jeho organické látky a uveden rozdíl chápání kompostu z hlediska zemědělce a z hlediska zpracovatele organických odpadů. Následuje popis vývoje kompostování a výsledky výzkumu posledních let.

Výsledek práce přinesl zjištění, že kvalitní kompost s dostatkem humusových látek a vysokou iontovýměnnou kapacitou je možno vyrobit při respektování reálných zásad kompostování, ale s dlouhou dobou fermentace.

Klíčová slova

Kompost – kompostování – humus – iontovýměnná kapacita – kompost pro zemědělce – kompost pro zpracovatele organického odpadu

Abstract

In the thesis explains the conceptual difference between primary and compost organic matter, compost and defined its organic matter and compost understanding the distinction in terms of farmers and processors in terms of organic waste. Then the development of composting and research results in recent years.

The result of work revealed that the quality compost with plenty of humus substances and high ion exchange capacity can be produced while respecting the principles of real composting, but with a long fermentation time.

Key words

Compost - composting - humus - ion exchange capacity - compost for farmers - compost for organic waste processors

OBSAH:

1. ÚVOD

1.1. Hnojivo a organické hnojivo	9
1.2. Humus a primární organická hmota	10
1.3. Kompost a jeho organické látky	11
1.4. Kompost z hlediska agrochemika pro zemědělce a z hlediska zpracovatele organického odpadu	13

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Historie výzkumu a vývoje kompostování v ČR	14
2.2. Tradice kompostování odpadů v ČR v minulosti a očekávaný význam kompostování odpadů v budoucnosti	16
2.3. Nový výzkum a vývoj technologie kompostování – současný stav	19
2.4. Legislativa kompostování a uvádění kompostu do oběhu	25
2.5. Vývoj výzkumu kompostování v posledních letech	28

3. ODPOVĚDI NA OTÁZKY ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

3.1. Popište současné metody výroby průmyslových kompostů v kompostárnách a způsob hodnocení jejich kvality	42
3.2. Vysvětlete základní rozdíl požadavků na vlastnosti kompostu z pohledu zpracovatele odpadů a z pohledu zemědělce	42
3.3. Je obsah živin v kompostu opravdu tak významným znakem kvality, jak se obecně tvrdí? Našla byste lepší znak kvality kompostu, který má zlepšit potenciální úrodnost půdy?	42
3.4. Jak by bylo možno tyto nové znaky kvality měřit?	42
3.5. Jak by bylo nutno adaptovat proces kompostování a jak upravit surovinovou skladbu, aby bylo možno takový zemědělsky cenný kompost v kompostárně vyrobit?	45
3.6. K čemu je vhodný současný standardní průmyslový kompost a k čemu by měl sloužit Váš nový kompost v zemědělské praxi?	45

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	
4.1. Metodika	46
4.2. Výsledky	48
4.3. Diskuse	48
4.4. Závěr	48
5. SEZNAM LITERATURY	49 - 54

1. ÚVOD

1.1. Hnojivo a organické hnojivo

Komposty jsou organickým hnojivem a v úvodu je třeba upřesnit pojem „organické hnojivo“, protože nejen denní zemědělská praxe, ale často i odborníci směřují tento výraz s pojmem „hnojivo“.

Hnojivem je každá hmota, která je nositelem rostlinných živin a mikroživin. Už od dob Liebigových (Liebig, 1840) je známo, že rostliny mohou přijímat živiny ve formě iontové, tedy živiny minerální. Hnojiva mohou mít své živiny rostlinám přístupné, tedy ve formě minerální, ale i ve formě nepřístupné, ale vždy musí platit zásada, že z této nepřístupné formy mohou živiny hnojiv nějakým pravděpodobným způsobem přejít do formy přístupné rostlinám. Takovou transformací může být např. hydrolyza (třeba organicky nepřístupný dusík organické látky hydrolyzuje na minerální přístupný dusík uhličitanu amonného) nebo to může být chemická reakce (např. vápník z nerozpustného vápence podle reakce):



přechází na vodorozpustný a tedy přístupnější Ca^{2+} iont ve formě hydrogenuhličitanu vápenatého. Jinou transformací může být mineralizace, pozvolná oxidace organických látek na CO_2 a H_2O při současné změně nepřístupných rostlinných živin v organické formě na živiny minerální ve formě iontů, tedy přístupně.

Příklad:

Rohová moučka je organická hmota s organicky vázaným dusíkem, tedy nepřístupným dusíkem. Tato moučka v půdě velmi pomalu mineralizuje, její nepřístupný dusík se mění na dusík přístupný. Dusíku má málo, rychlost mineralizace je malá, je to ale přece jen hnojivo.

Moučka z rozemletého polyamidového odpadu také obsahuje organický dusík. Protože ale jeho vazba je tak stabilní, že nemineralizuje, není polyamidová moučka hnojivem.

Kompost je organická hmota, která mineralizuje, proto je oprávněně označován jako hnojivo. Ale proč organické?

K zodpovězení této otázky je třeba si předem ujasnit, co je základním znakem organického hnojiva. Starší agrochemická literatura za rozhodující považovala původ hnojiva. Jestliže byl organický, byla to organická hnojiva, např. hnůj, močůvka, kejda, sláma, zelené hnojení, komposty. Moderní agrochemie si spíše než původu hnojiva všímá jeho funkce.

Funkcí minerálního hnojiva je funkce nosiče minerálních živin.

U funkce organického hnojiva však funkce nosiče živin, které přejdou na živiny minerální, je sice cenná, vždyť jsou to „levné“ živiny, ale není to funkce hlavní. Hlavní funkcí organických hnojiv je mineralizovat, být zdrojem nejvýznamnějšího zdroje výživy rostlin – CO₂ a hlavně zásobovat energií půdní mikroedafon.

Vzácně by se to dalo vyjádřit tak, že organická hnojiva na rozdíl od hnojiv minerálních mají posílit rozvoj půdního mikroedafonu. Uvolnění jejich rostlinných živin je efekt sice příznivý a žádoucí, ale nikoliv hlavní, protože živiny je možno dodat do půdy minerálními hnojivy, energii mikroedafonu nikoliv, a také ničím jiným, jen lehce rozložitelnou organickou hmotou.

Proč je potřeba posílit půdní mikroedafon? To proto, že biologický faktor je hlavním faktorem půdotvorného procesu a proto, že energie z mineralizace a enzymy půdního mikroedafonu umožňují v půdě tvorbu dalšího významného agens – půdního humusu v procesu humifikace, který je na rozdíl od exothermické mineralizace endothermický. Tedy při humifikaci se teplo neuvolňuje, ale naopak spotřebovává.

1.2. Humus a primární organická hmota

Humus má dvě základní vlastnosti: má schopnost iontové výměny, asi 5x vyšší, než koloidní minerální půdní částice. Další vlastností je to, že prakticky nemineralizuje. Skládá se z fulvokyselin (označovaných FK), huminových kyselin (označovaných HK) a z huminů. Nic jiného do humusu nepatří ! Fulvokyseliny se z poloviny rozkládají asi za 40 let, huminové kyseliny asi za 4000 – 6000 let. Huminy jsou ještě stabilnější. Nezhumifikovaná organická hmota je správně nazývána „primární organickou hmotou“ a může být nerozložená, ale i rozložená.

Rozložená primární organická hmota sice vypadá jako humus, ale humus to není. Nemá totiž téměř žádnou iontovýměnou kapacitu, i když může mít třeba značnou schopnost sorpční.

Vysvětlení rozdílu iontové výměny a sorpce: iontová výměna probíhá bez změny elektrického náboje a zúčastňují se jí minerální ionty. Sorpce probíhá se změnou elektrického náboje a zúčastní se jí převážně organické molekuly, ale i ionty.

Výkonná rostlinná výroba se dá provozovat jedině na půdách s vysoko iontovýměnou kapacitou, která omezuje vymývání živin z půdy, omezuje ztráty a zajišťuje vyšší využití živin, na rozdíl od sorpce usnadňuje čerpání živin rostlinami, protože se stále upravuje rovnováha mezi živinami poutanými a živinami v půdním roztoku.

To co bylo výše řečeno, by se dalo stručně vyjádřit takto:

Od minerálního hnojiva je očekáván pouze imput živin či mikroživin.

Od organického hnojiva je očekávána kromě méně významného imputu živin a mikroživin hlavně podpora půdního mikroedafonu dodávkou energie a dále možnost tvorby humusu.

Proč možnost? Každé organické hnojivo mineralizovat musí, jinak by to nebylo organické hnojivo. Ale humifikovat může, ale také nemusí. Nejsou-li příznivé podmínky pro humifikaci, může velmi snadno organická hmota pouze mineralizovat. To vysvětluje, že primární organická hmota v půdě rychle ubývá a musí se stále doplňovat, zatímco obsah skutečného humusu může v průběhu času stoupat jen nepatrně. Objem transformace organické hmoty mineralizací je nesrovnatelně větší a rychlejší, než její transformace humifikací.

1.3. Kompost a jeho organické látky

Co je očekáváno od kompostu z těchto hledisek:

1) Musí obsahovat dostatek primárně organické hmoty, pokud možno rozložené, aby působil jako organické hnojivo, tedy dodal energii půdnímu mikroedafonu a tím podpořil mikrobiální půdní aktivitu.

2) Musí obsahovat část organické hmoty, která prošla humifikací, ve které vznikly součásti půdního humusu, tedy fulvokyseliny, huminové kyseliny a huminy,

nebo alespoň jejich prekurzory, z nichž se součástí půdního humusu vytvoří až v kompostem hnojené půdě.

3) Již bylo uvedeno, že humus z hlediska lidského věku prakticky nemineralizuje. Ale jsou v tom velké rozdíly. Poločas mineralizačního rozkladu je u fulvokyselin zhruba 40 let, u vysoce kvalitních huminových kyselin 4000 – 6000 let. Ty vysoce kvalitní huminové kyseliny mají zpravidla relativní molekulovou hmotnost kolem 200 – 400 000, ale v kompostu, který při fermentaci také dobře humifikuje, mohou sice vznikat huminové kyseliny, ale mladé s nízkou relativní molekulovou hmotností. Bohužel tyto huminové kyseliny lze izolovat jako huminové kyseliny, tj. srážet je různými kyselinami z alkalických výluhů jako ve vodě nerozpustné látky. Ale svým chováním jsou blíže fulvokyselinám, než kvalitním huminovým kyselinám. Např. s těžkými kovy tvoří nerozpustné sloučeniny a tyto kovy neimobilizují, naopak tvoří s nimi vysoce mobilní vodoropustné cheláty, úplně stejně jako fulvokyseliny. Další nepříjemnou vlastností těchto nízkomolekulárních huminových kyselin je také to, že nemají takovou odolnost k mineralizaci, jako huminové kyseliny vysokomolekulární. To znamená, že jejich poločas rozkladu mineralizací se pohybuje v řádu desítek let, je to sice mineralizace pomalá, ale přesto reálná a o odolnosti k mineralizaci se u těchto mladých huminových kyselin nedá mluvit.

Od kompostu je očekáváno, že jeho organická hmota (rozumí se zhumifikovaná), bude stabilní a že hnojení půd takovým kompostem nejen zvýší iontovýměnnou kapacitu půdy jeho humusem, ale že toto zvýšení nebude jen přechodné, ale více méně trvalé. A to i na převzdušněných půdách, např. písčítých, kde organická hmota doslova „hoří“ a příznivý účinek hnojení organickými hnojivy na těchto půdách rychle mizí.

To tedy znamená, že od kompostu je očekáváno, že bude mít mladé huminové kyseliny něčím stabilizované, chráněné před rychlou mineralizací. Takovou ochranu jim může vytvořit jen stabilizace reakcí mladých huminových kyselin s jílovitou koloidní minerální frakcí.

To vysvětluje, proč staré komposty bývalých soukromých zahradníků, které fermentovaly často desítky let a obsahovaly také dostatek minerálních koloidů, měly pozoruhodnou vysokou iontovýměnnou kapacitu kolem 500 mmol.chem.ekv.

H¹/1000g a vysokou stabilitu organické hmoty i v lehkých půdách, zatímco moderní průmyslové komposty svojí primární organickou půdní hmotou přispívají rozvoji půdního mikroedafonu a jsou zdrojem minerálních živin, ale jejich iontovýměnná kapacita je nízká, často stejná, jako iontovýměnná kapacita špatné písčité půdy. Samozřejmě, že jejich organická hmota je velmi labilní, protože humus neobsahují a během krátké doby příznivý efekt organického hnojení takovým kompostem zvláště na lehkých půdách velmi rychle mizí.

Není třeba se proto divit, že zemědělská praxe o takové komposty nestojí, zdají se jí příliš drahé. A nemylí se. Stejného efektu, jakého zemědělec dosáhne při hnojení takovým kompostem, může dosáhnout prostým zaoráním strniště po obilnině nebo zeleným hnojením.

1.4. Kompost z hlediska agrochemika pro zemědělce a z hlediska zpracovatele organického odpadu

Agrochemik chce kompost jako směs vysoce labilní organické hmoty pro rozvoj půdního mikroedafonu a zhumifikované stabilní organické hmoty s vysokou iontovýměnnou kapacitou, která je navíc ještě stabilizovaná koloidní minerální frakcí. Vysoká puřovitost hnojiva je samozřejmým požadavkem. Zdroj minerálních živin je příznivým doplňkem vlastností tohoto produktu.

Zpracovatel organického odpadu má na kompost požadavek mnohem jednodušší. Chce, aby organická hmota byla rozložená, přičemž za znak rozložitelnosti pokládá fakt, že v hotovém kompostu nejsou okem patrné částičky hmot původní surovinové skladby. Dále žádá, aby vyzrálý fermentovaný produkt zaujímal podstatně menší objem, než původní surovinová skladba.

Živiny a vodu sleduje zpracovatel organického odpadu jen z hlediska budoucího zákazníka, aby produkt byl prodejný.

S lítostí musím konstatovat, že i zemědělské orgány, např. Ministerstvo zemědělství ČR přijalo za svou verzi optimálního kompostu právě kompost v představě zpracovatele organického odpadu, nikoliv zemědělce. Je to tristní. Důvodem je zřejmě mnohem vyšší výrobní cena kompostu v představě zemědělské a jsou obavy, že v dnešní době chaotického úprku za ekonomickou efektivitou všeho by klasický zemědělský kompost byl cenově neprodejný. K tomuto přistupuje fakt,

že ministerstvo zemědělství výrobu zemědělských kompostů příliš nepodporuje. Naopak ministerstvo životního prostředí, komunální hygiena a další organizace výrobu náročných kompostů silně podporují. Z toho plyne závěr, že se u nás budou vyrábět především komposty z pohledu zpracovatele organických odpadů.

2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

2.1. Historie výzkumu a vývoje kompostování v ČR

Známý mikrobiolog na bývalé Vysoké škole zemědělské v Praze prof. Ing. Dr. Václav Káš (1961) definoval proces kompostování takto: kompostování je řízená biologická výroba humusového hnojiva z rozličných organických hmot (včetně chlévské mrvy) ve směsi se zeminou.

Tento odborník dále vysvětluje, že biologická výroba je to proto, že při složitých humusotvorných pochodech probíhajících v kompostové hromadě, které se souhrnně nazývají „zráním“ mají rozhodující úlohu mikroorganismy.

Je potřeba si všimnout zásadní myšlenky: už v roce 1961 charakterizuje prof. Káš kompost nikoliv jako hnojivo organické, ale humusové. Podivně s tím kontrastují zjištění na mateřské katedře, že většina současných průmyslových kompostů včetně vermikompostů sice organickou hmotu obsahuje, ale je to organická hmota primární, rozložená, ale žádný humus neobsahuje. Ionovýměnná kapacita těchto kompostů je podobná kationtové výměnné kapacitě (označovaná KVK) lehkých písčitých půd.

Prof. Káš (1961) dále píše: podstatnou úlohu z hlediska tvorby kvalitního humusu tu má příměs jílovité zeminy. Postupně vznikající humusové látky se váží na minerální koloidy (jíl) a tvoří s nimi stabilní jílovitohumusové komplexy, které jsou velmi odolné vůči další mineralizační činnosti mikroorganismů.

Také Baier (1962) považuje za vlastní účel kompostování tvorbu humusu. Pro její podporu jmenuje tyto hlavní faktory:

- 1) Optimální prostředí a výživa mikroorganismů (hlavně dusík a fosfor)
bez inhibicí mikrobiálního života
- 2) Optimální vlhkost (40% - 80% retenční vodní kapacity)

- 3) Optimální množství čerstvého vzduchu (překopávání, větrací systémy, zavlažování)
- 4) Optimální teplota (60 °C, později 35 – 40 °C)
- 5) Silnou pufraci pH (dosahuje se značným podílem mletého vápence)
- 6) Optimální pH (je to prostředí neutrální pH = 7)
- 7) Přídavek minerálních jílových částic (nejlépe ve formě jílového mléka)

Jestliže se obecně zdůrazňuje význam mikroflóry pro transformaci organických látek na humus, je nutno také zdůraznit nutnost opatřit při kompostování tuto mikroflóru. Veškeré pokusy očkovat surovinovou skladbu při kompostování čistými kulturami mikroorganismů a jejich směsmi vesměs selhaly. Ideální je směsná přirozená kultura mikroorganismů z prostředí, ve kterém běžně tyto mikroorganismy humifikační transformaci primární organické hmoty uskutečňují. Takovým zdrojem výkonných mikroorganismů je zdravá, organickými látkami často hnojená ornice, s dostatkem dusíku a fosforu. Tento materiál je očkovacím inokulem pro dobré zrání kompostu. Při správném kompostování by měly být používány dvě zeminy: jílovitá, jemně rozptýlená, jako stabilizátor nových, k oxidaci ještě choulostivých humusových látek, s kterými tvoří stabilní jílovito-humusové komplexy a dále biologická živá ornice, jako očkovací materiál pro další pomnožení mikroorganismů. Někteří autoři doporučují jako očkovací materiál hnůj, močůvku a kejdu. Je pravda, že tyto materiály jsou bohatým zdrojem mikroorganismů, také obsahují dostatek labilních organických látek, které jsou snadno přístupným zdrojem energie pro tyto mikroorganismy. Ale chybí adaptace na prostředí. Zažívací trakt zvířat je prostředí anaerobní, náhlá změna k aerobióze při styku těchto hnojiv se vzduchem v jímkách na kejdu či močůvku, ve stájích a na hnojišti vedou k rychlému rozvoji aerobů a takový očkovací materiál podporuje hlavně mineralizaci, humifikaci zcela minimálně.

Je pravda, že bez mineralizace by nebylo humifikace, protože endogenní humifikace je odkázána na převod části energie z exogenní mineralizace. Ale jde o podíl obou transformačních mechanismů přeměny primární organické hmoty. Proto by při kompostování nemělo být vynecháno očkování adaptovanými mikroorganismy, které jsou obsaženy ve zdravé organicky dobře hnojené a provzdušněné ornici. Na tom se shoduje řada odborníků (Baier, 1962; Duchoň,

1948, 1961; Duchoň, Hampl, 1959, 1962; Káš, 1947, 1961; Kroulík, Leitgeb, 1960; Němec, Řoutil, 1961; Novák 1956; Novák, Káš, Nosek 1958; Venkrbec 1962).

2.2. Tradice kompostování odpadů v ČR v minulosti a očekávaný význam kompostování odpadů v budoucnosti

Známý odborník na zpracování odpadů a kompostování z VÚRV v Praze – Ruzyni Ing. Váňa (2002) se k této otázce vyjadřuje takto:

Kompostování na území české republiky má téměř nejstarší tradici v Evropě, neboť první kompostárna s řízenou technologií u nás byla uvedena do provozu v r. 1912. Od té doby byl nepřetržitý rozvoj kompostování až do r. 1987, kdy se na území České republiky vyrobilo téměř 2,5 mil. t kompostu s významným zastoupením komunálních a průmyslových bioodpadů a čistírenských kalů v surovinové skladbě kompostů. Teprve po roce 1989, kdy kompostování odpadů ztrácí státní dotační podporu, se výroba kompostů minimalizuje na 200 - 400 tis. t. r⁻¹. Vyráběné komposty v tomto období jsou využívány především při rekultivacích a při zakládání a údržbě zeleně. K dočasnému zvýšení zájmu zemědělců o vyrobené komposty došlo v r. 2000, kdy byla zemědělcům poskytnuta podpora ze státního rozpočtu na hnojení zemědělské půdy registrovanými komposty. Ukončením této podpory byla v r. 2001 řada kompostárenských kapacit opět zastavena.

V minulosti bylo kompostování považováno za důležité z hlediska udržení úrodnosti zemědělské půdy s cílem dosažení soběstačnosti státu ve výrobě potravin. V podmínkách restrukturalizace zemědělství a současné agrární politiky není zájem zemědělského resortu o podporu kompostování. Kompostování však zůstává významným nástrojem v odpadovém hospodářství a při uplatňování nové legislativy odpadů bude jeho význam a podpora z resortu životního prostředí stoupat.

Nová právní úprava odpadového hospodářství (zákon č. 185/2001 Sb.) aproximuje Směrnici rady 99/31/ES „o skladování odpadů“. Jedním z požadavků této směrnice je omezení množství biologicky rozložitelných komunálních odpadů ukládaných na skládky. Biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu ukládaného na skládky musí být postupně omezován v souladu s harmonogramem stanoveným v Plánu odpadového hospodářství České republiky a krajů (tj. snížit tento podíl do roku 2010 na 75%, do roku 2013 na 50% a do roku 2020 na maximálně 35% celkového

množství hmotnosti biologicky rozložitelného komunálního odpadu vzniklého v roce 1995).

Další potřeba kompostování více než 100 tis. t ročně vzniká v oblasti s čistírenskými kaly, kde kompostování zabezpečuje především hygienizaci. Je tedy možno očekávat stoupající význam kompostování s nutností budování dalších kompostáren s nárůstem stávající kapacity o 0,5 mil. t roční produkce.

Při kompostování komunálních bioodpadů je nutno se zaměřit především na odpady ze zeleně, na kuchyňské odpady z restaurací a jídelen na živnostenský odpad ze skladování a prodeje zeleniny z tržišť. Další komunální bioodpady bude nutné získávat odděleným sběrem tuhého domovního odpadu, což si vyžádá dalších investičních a provozních nákladů, ale též intenzivní osvětu a výchovu obyvatelstva“ (Váňa, 2002).

Velkým úspěchem v historii českého kompostování byla výroba Vitahumu a dalších hnojiv, kterou přesně popisuje nestor české agrochemie prof. Duchoň z pražské Vysoké školy zemědělské (Duchoň, 1956).

Obdobou racionalizačních snah, které se projevují v soustavném sběru odpadních surovin, je i snaha našeho zemědělského výzkumu mobilizovat všechny odpadní hmoty mající hnojivé hodnoty a vracet je do koloběhu. Prvním způsobem zachycení hnojivých hodnot stokových kalů byla Ernestova - Krouhlíkova „feka“ vyráběna již před 50 lety v pražské kanalizační stanici. Princip výroby feky již naznačoval metodu, jak zušlechtit i ostatní látkové trosky.

Spočíval v několika procesech:

1. struskami, které zároveň rozrážely rosolovitou konzistenci plst'ových zahuštěných kalů.
2. Funkci strusek doplňovala rašelina svou mohutností.
3. Všechny suroviny se drtily a pak podrobily fermentaci.

Výroba byla po dosaženém úspěchu napodobována a byly dodávány podobné, ale nedokonale vyzrálé produkty pod jmény feka-humát, fertil-humus apod.

Dalším pokrokem v probíjování snah zachytit odpadní hnojivé hodnoty byla v době okupace výroba prahnoje, biohnoje, vyráběného v pražské spalovací stanici

z prosevu, rašeliny, kanalizačních kalů a jiných odpadních látek. Po květnu 1945 se ujal problematiky pražský výzkumný ústav pro výživu rostlin, který prozkoumal velký počet nejrůznějších odpadních hmot, jednak analyticky a jednak v pokusech vegetačních, a po získání velkého počtu velmi nadějných výsledků přistoupili Duchoň a Havlíček v režii Rašelinářských závodů, n.p., k vybudování prvního prototypu výroby průmyslových kompostů v opuštěném cukrovaru v Mratíně u Prahy. Pokusné várky byly stále prověřovány vegetačními a polními pokusy a konečná receptura vedla k průmyslovému kompostu, který byl označen jako „vitahum“ (vita = život, humus = oživený). V r. 1950 bylo již vyrobeno na 200 000 q vitahumu a naplánovány další výroby v ostatních velkých městech státu.

Princip je prostý: odpadní suroviny nejrůznějšího původu, ať prosevy, kožedělné a textilní odpady, farmaceutické louhy, uhelné prachy atd., po smíšení s rašelinou a naočkování kanalizačními kaly prodělávají zrání, při němž probíhá termické kvašení a střídají se stadia mikrobiálních sukcesí, počínajíc rozvojem paprscitých plísní atd.; tyto sukcese vyženou počáteční teplotu na 65° C a humifikace a částečná mineralizace jsou řízeny střídavým provzdušňováním a zavlažováním (Duchoň, 1942).

Humifikace v průmyslových kompostech vykázala dvě fáze:

1. rozklad, který zahajují Actinomycety (rozkládají i ligniny a keratiny) následované celulózovými myxobaktériemi, které produkují slizy s poměrně vysokým obsahem uronových kyselin, pak Aspergillus, tvořící fulfokyseliny atd.,

2. syntézu vysokomolekulárních sloučenin většinou cyklických forem, které jsou podstatou velmi komplikovaných látek zvaných humus.

Podmínkou láce výrobku je:

1. odvodněná rašelina
2. bezplatné dodávání odpadních hmot (jen za nakládací výlohy)
3. úplná mechanizace výroby

Již delší dobu jsou navrženy mechanizační agregáty a výzkumem byla prověřena receptura, kterou je nutno dodržovat. Bohužel ve snaze po množství se tak neděje a pak přirozeně jakost výrobku není valná. Pouze smíchat suroviny

a neumožnit jim proces postupného zrání nemá smysl, protože zemědělství by si mohlo tyto suroviny kompostovat samo.

Otázka zužitkování odpadních hnojivých hmot není otázkou lokální. Zabývali se jí tehdy intenzívně v Anglii (Hopkins, 1954), v Holandsku (Kortleven, 1950), v SSSR (Piguta, 1945), což je při tamějším nadbytku panenských půd nejpozoruhodnější a rovněž v USA (Václavík, 1936), Maďarsku, Polsku (Skibniewski, 1951) a jinde. Výrobní praxe ukázala, že z jinak zahálejších odpadních látek lze vyrobit kompost, který například podle analýz kompostu – vitahumu prostějovského (43 vzorků) může obsahovat: 44 % H₂O, 22 % organických látek, 33 % anorganických látek, 0,6 % dusíku, 1,17 % kyseliny fosforečné, 0,89 % drasla a 7,41 % vápna při pH 7,6. Mratínský vitahum vyráběný dříve podle kontrolované receptury z nejjakostnějších surovin, vykázal v průměru tříletých analýz organických látek 31 %, N celkem 1,40 %, z toho 0,25 % N amoniakálního a 730 mg N ledkového na 1 kg, 0,87 % P₂O₅, 0,34 % K₂O, 5,3 % CaO, 0,67 % MgO, 1,09 % SO₂, jódu 5,30 mg/kg, bóru 30,0 mg/kg, 470 mg/kg manganu, 3,8 mg molybdenu, 100 mg vanadu atd.

Návrh čs. normy vyžaduje maximální obsah vody 40 %, látek organických 25 ± 5 %, dusíku 1,4 ± 0,5 %, kyseliny fosforečné 1,2 ± 0,5 %. Poměrně vysoká tolerance je správná, protože jakost surovin silně kolísá a hodnota nespočívá jen v absolutním obsahu živin běžně oceňovaných v hnojivech koncentrovaných, nýbrž v univerzalitě výrobku jako bioorganickominerálního komplexu.

2.3. Nový výzkum a vývoj technologie kompostování - současný stav

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 provázena uvolňováním tepla a zahříváním zrajícího kompostu na teplotu 50 – 65°C. V této fázi se uplatňují též termofilní houby, rozkládající lignocelulózoové hmoty. Při těchto hydrolyzních 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.

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.

Proces kompostování probíhá intenzivně v podmínkách provzdušňování. Provzdušňování se provádí nejčastěji překopáváním kompostu, ale též tlakovou aerací nebo odsáváním vzduchu nasyceného oxidem uhličitým z kompostu zpravidla přes vzdušný filtr. Se stoupající intenzitou provzdušňování dochází k rychlejšímu uzrání kompostu. Při nedostatečném provzdušňování zrajícího kompostu nastupují anaerobní procesy (hnití) a kompost tzv. „kysne“. Největší potřeba provzdušňování zrajícího kompostu je v hydrolyzní fázi zrání.

Pro vytvoření optimálních podmínek pro rozvoj mikroorganismů je třeba zabezpečit zejména správný poměr uhlíku a dusíku (C:N) vhodnou surovinovou skladbou čerstvého kompostu. Poměr C:N by měl být v čerstvém kompostu v rozmezí 30-35:1 a ve zralém kompostu 25-30:1. Příliš široký poměr C:N prodlužuje zrání kompostu. Při příliš úzkém poměru C:N v čerstvém kompostu převyšuje obsah dusíku metabolickou přeměnu mikroorganismů, vznikají ztráty čpavkového dusíku a klesá produktivita tvorby humusových látek.

Vlhkost čerstvého kompostu je optimalizována na hodnotu, při níž je cca 70 % objemu pórovitosti kompostu zaplněno vodou. Nedostatečná vlhkost způsobuje vývoj nevhodné mikroflóry s převahou plísní a aktinomycet. Při nadbytečné vlhkosti dochází rychle k nedostatku kyslíku v kompostu a k vývoji anaerobní mikroflóry. Komposty zemité vyžadují optimální vlhkost 50 – 55 % a komposty s převahou dřevní štěpky nebo stromové kůry vlhkost 65 – 70 %.

Požadavek na minimální přítomnost fosforu v kompostu je 0,2 % P₂O₅ v sušině. Surovinová skladba kompostu musí zabezpečovat přítomnost lehce rozložitelných organických látek pro počáteční rozvoj mikroorganismů a zároveň vhodnou mikroflóru. Doplnění mikroflóry inokulací se při praktickém kompostování jeví jako značně problematické a zpravidla méně účinné. Výhodnější je očkování čerstvého kompostu zrajícím kompostem, nebo zeminou (ČSN 465735, Himmelhuber, 2004; Kalina, 2004; Plíva, 2008; Váňa, 2002).

Kompostování odpadů ze zeleně a dalších bioodpadů se z organizačního hlediska může provádět na následujících úrovních:

- domácí kompostování (v rodinných zahradách),
- komunitní kompostování (na sídlištích, u škol, v zahrádkářských koloniích),
- centrální kompostování (průmyslové kompostování).

Domácí kompostování je jednoduchý způsob jak omezit podíl odpadů ze zahrad a kuchyňského bioodpadu ve směsném tuhém domovním odpadu. Podpora tohoto způsobu kompostování by měla být prostřednictvím informačních akcí a finančními výhodami vyplývajícími z nižších poplatků za odvoz odpadu. Informační letáky pro občany by měly vysvětlit ekologický význam kompostování, hlavní technologické zásady kompostování, objasnit, co lze kompostovat a upozornit na nebezpečné a problematické materiály pro kompostování. Je výhodné spojit domácí kompostování odpadů ze zahrady s kompostováním odděleně sbíraného domovního bioodpadu. Domácí kompostování je možno organizovat v kompostových zakládkách v boxech nebo v kompostérech. Domácímu kompostování občané zemí Evropské unie věnují stejnou péči jako ostatním zahrádkářským činnostem. Při tom úspěšně uplatňují nejrůznější podpůrné prostředky zejména kompostované startéry pro urychlení kompostování, nebo různé dynamické postřikové substance pro zintenzivnění fermentačního procesu a zvýšení agronomické účinnosti kompostu.

Při komunitním kompostování občané třídí své odpady a vytříděný bioodpad přinášejí na kompostovinu, které je společným zařízením příslušné komunity. Komunitní kompostování je vhodné pro sídliště, ve kterých občané nemají své vlastní zahrady, ale jsou zde zelené plochy nebo společná zahrada, např. v uzavřených domovních blocích. Další příležitostí pro komunitní kompostování jsou zahrádkářské kolonie nebo společné kompostování několika majitelů zahrad.

Komunitní kompostování se u nás pokoušejí organizovat aktivisté ekologických organizací, případně zahrádkářské svazy. Obdobná organizační forma přichází též v úvahu u základních škol a ekologických středisek pro mládež jako součást ekologické výchovy. Zpravidla jde o roční výrobu kompostu v rozsahu

10 - 20 t. Vhodnou formou podpory jsou granty místních úřadů pro organizátory komunitního kompostování.

Z technologického hlediska se při komunitním kompostování využívají kompostové zakládky jako na centrální kompostárně, vhodné je i kompostování v otevřených boxech. Jako mechanizační prostředek k překopávání slouží nakladač, v menším rozsahu může jít o překopávání manuální. Při kompostování u škol je možno použít velkého kompostéru nebo biofermentoru s řízenou aerací.

Centrální kompostování (průmyslové kompostování) organizují obce, jejich technické služby a další většinou soukromé podnikatelské subjekty. Jde o náročnou činnost, která musí splňovat řadu předpisů vodohospodářských, hygienických a z hlediska legislativy odpadů. Další požadavky jsou kladeny na kompostárny, jestliže se vyrobený kompost uvádí do oběhu prodejem.

Centrální kompostování se zajišťuje na kompostovišti (s roční produkcí 50 -500 t) nebo na průmyslové kompostárně (s roční produkcí kompostu minimálně 500 t). Na těchto zařízeních se provádí kompostování většinou na kompostových zakládkách nebo v biofermentorech. Tyto centrální zařízení bývají tradičně označovány jako průmyslové kompostárny a způsob výroby kompostu je usměrněn platnou ČSN 465735 Průmyslové komposty. Při kompostování je třeba dodržovat právní předpis č. 254/2001 Sb. Zákon o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon), podle které jsou aerobně stabilizované komposty některé kompostované odpady považovány za látky ohrožující jakost nebo zdravotní nezávadnost vod. Kompostoviště nebo kompostárny musí být zabezpečeny nepropustnou úpravou proti riziku úniku závadných látek do půdy nebo do vod a zároveň musí zabraňovat nežádoucímu smísení látek se srážkovými vodami. Výrobní plochy kompostárny musí být nepropustné a musí být chráněny proti vniknutí přívalových srážkových vod obrubníky a musí být konstrukčně řešeny tak, aby umožnily odvod srážkových vod a splachů z kompostů nebo nadzemní jímky odpovídající kapacity. Jelikož vodohospodářsky zabezpečená kompostárna je investičně nákladná (1m² cca 3000 Kč), tak se dnes pro kompostování odpadů často využívají vodohospodářsky zabezpečené silážní žlaby, hnojiště a zemědělská složiště a ve městech též areály bývalých uhelných skladů. Rekonstrukce těchto zařízení na kompostárnu probíhá s minimálními úpravami.

Na základě zkušeností ze SRN je možné doporučit, aby průmyslové kompostárny byly doplněny malým sběrným dvorem, neboť pro občany je výhodné, aby při dovážení odpadů ze zahrad na kompostárnu zároveň dováželi i vyřazené zařízení z domácnosti včetně oddělené shromažďovaných nebezpečných složek komunálního odpadu a nazpět přiváželi komposty a substráty pro zahradu.

Průmyslové kompostování je finančně náročné s ohledem na investiční náklady vodohospodářsky zabezpečených kompostáren. Výkonná mechanizace, zabezpečující jednotlivé operace při kompostování odpadů je soustava většinou jednoúčelových strojů, které na velké kompostárně nebývají dostatečně využity a finanční odpisy těchto prostředků vytvářejí neúměrnou režii. V případě použití univerzálních mechanizačních prostředků – nakladačů, není možno zabezpečit takovou kvalitu prováděných technologických operací jako u použití jednoúčelových strojů a jednotkové náklady mzdové a na pohonné hmoty jsou u nakladačů značně vyšší než u jednoúčelové výkonné mechanizace. Tento problém je u zahraničních kompostáren řešen půjčovnami výkonných strojů na krátké období. V České republice spíše připadají v úvahu mobilní technologické linky, které jezdí v dohodnutých intervalech od kompostárny ke kompostárně a formou placené služby provádějí technologické operace, většinou štěpkování, překopávání a prosévání vyrobeného kompostu. Z ekonomického hlediska je tento způsob výhodnější, než zabezpečení vlastní mechanizace. Další možností využívání mobilních linek je sdružování několika provozovatelů kompostáren v daném regionu, nebo provozování několika kompostáren jedním subjektem.

Technické vybavení kompostáren:

Základním vybavením pro kompostování na zakládkách jsou drtiče a štěpkovače pro úpravu rostlinného odpadu, překopávače kompostu a prosévače kompostu (nejčastěji rotační síta).

Kompostovací biofermentory zajišťují zrání čerstvého kompostu v řízených podmínkách intenzivní aerace při dodržování spolehlivých hygienizačních teplot 65 – 75 °C. Jde o mobilní, tepelně izolované kontejnery o rozměru 8 x 4 x 3,5 m s předním nebo horním plněním (firma AGROFUTURE) a se zabudovanou vzduchotechnikou napojenou na aktivní biologický filtr. Soustava těchto

kontejnerových fermentorů je většinou řízena výpočetní technikou (Habart, 2010; Hohenberger, 1999; Váňa, 2002; Váňa, 2008; Venkrbec, 1962).

Další tuzemské biofermentory jsou stavebně budované o výšce cca 4 m s aerací zajištěnou dvěma ventilátory (firma AGRONOM).

Oba dva tyto typy diskontinuálních fermentorů se uplatňují při kompostování hygienicky rizikových odpadů, zejména čistírenských kalů a zvířecích fekálií s přípravkem vhodných strukturních materiálů a s možností zpracování odpadů ze zeleně. Nezbytným předpokladem je další dozrání kompostu, který prošel intenzivní fermentací po dobu 2 – 7 dnů ještě klasickým způsobem v základce při zabezpečování aerobních podmínek.

Další tuzemský výrobce kontinuálních kompostovacích biofermentorů je VÚCHZ Brno. Kompostovací linka je instalována na kompostárně komunálních bioodpadů v Nové Pace, kde se kompostují zelené odpady a separovaný domovní bioodpad (80 % hm.) a zbytek surovinové skladby tvoří drcená stromová kůra a směs hoblin a pilin. Vyrobený kompost je registrován a prodáván jako organické hnojivo.

Klíčovým aparátem kompostovací technologie VÚCHZ je tepelně izolovaný ležatý bioreaktor. Má tvar uzavřeného boxu a je vybaven mechanismem na lineární posun materiálu. Průřez reaktoru je obdélníkový, jeho dno je opatřeno systémem kanálů a otvorů pro přívod vzduchu do reakčního prostoru. Do objemu 50 m³ se reaktory dodávají v celokovovém provedení, větší až do objemu 200 m³ se stavějí betonové s kovovými vestavbami. Obě verze reaktorů je možné skládat vedle sebe do baterií. Kromě jednoho či více reaktorů tvoří kompostovací linku zpravidla zásobníky, drtič, mísič a dopravníky, příp. manipulační a nakládací mechanismus. Skladba celé linky a její uspořádání je závislé na druhu zpracovávaných odpadů a na požadavcích na mechanizaci celé technologie.

Svážené odpady se vysypávají do příjmových zásobníků, odkud se dopravují do mísiče, příp. i drtiče a z něho pak do násypného otvoru reaktoru. V reaktoru se před každým založením další dávky odpadů nejprve lineárně posune celý objem vsádky o určitou délku směrem k výstupním vratům a část zkompostované hmoty se tak vysype. Založený materiál se začne působením chemických a biochemických pochodů rychle zahřívat, přestože se do reaktoru vhání pouze studený vzduch. Teplotního maxima 55 - 70°C se dosáhne v přední části reaktoru. Čím více se

postupným posouváním blíží reagující hmota k výstupnímu otvoru, tím termofilní reakce ztrácí na intenzitě. Po dokončení této intenzivní biodegradační fáze, která u snadno kompostujících látek činí pouze 5 – 10 dní, se materiál dopraví na dozrávací plochu, kde chladne a nadále se zbavuje vody. Přitom v něm probíhají další procesy, na nichž se podílejí mezofilní bakterie a vyšší organizmy. Dozrávání trvá obvykle 5 – 6 týdnů.

Kompostované reaktory s lineárním posunem se vyrábějí s reakčním objemem 10 – 50 m³ odpadů denně.

V budoucí kompostárně v městě Kyjov je instalováno modulární kompostovací zařízení KNEER. Kompost bude vyráběn z čistírenských kalů a odpadů ze zeleně. Kontejnery, které se plní čerstvým kompostem jsou uzavřeny, mobilní a připojitelné na přívod vzduchu a odvod odplynu a na potrubí odvádějící přebytečnou vlhkost.

2.4. Legislativa kompostování a uvádění kompostu do oběhu

Kompostárnu lze jako zařízení k využívání odpadů provozovat pouze ze souhlasem příslušného krajského úřadu, který současně obsahuje i souhlas s provozním řádem kompostárny. Udělení souhlasu může úřad vázat na podmínky. Obsah provozního řádu je stanoven vyhláškou (Podrobnosti nakládání s opady).

Z pohledu zákona č. 254/2001 Sb., o vodách (vodní zákon) jsou aerobně stabilizované komposty „závadnou látkou“ ohrožující jakost a zdravotní nezávadnost vod. Lze tedy provozovat jen vodohospodářsky zabezpečené kompostárny.

Uvádění kompostů do oběhu prodejem a užívání kompostů na zemědělskou půdu spadá pod zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech.

Způsob výroby kompostu na kompostárně je usměrněn platnou ČSN 465735 Průmyslové komposty. Závaznost této normy je jen v některých bodech. Podle této ČSN musí být průmyslový kompost hnědá, šedočerná až černá homogenní hmota, drobtovitá až hrudkovité struktury bez nerozpojitelných částic. Nesmí vykazovat pachy svědčící o přítomnosti nežádoucích látek.

Závazný je požadavek ČSN na nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v kompostovatelných odpadech. Další ustanovení ČSN jsou závazné pouze při

výrobě registrovaného průmyslového kompostu. Jde zejména o požadované jakostní znaky s výjimkou znaku homogenity (tab. č. 1).

Tab. č. 1 Požadavky na jakost kompostu (ČSN 465735)

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

Požadavky na nejvyšší přípustné množství sledovaných látek v kompostu (tab. č. 2 a č. 3) uváděných do oběhu upřesňuje vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva. Z této vyhlášky vyplývá, že registrované komposty musí splňovat požadavky podle třídy I.

Tab. č. 2 Nejvyšší přípustná množství sledovaných látek v kompostu a surovinách pro přípravu kompostu (ČSN 465735)

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

Tab. č. 3 Nejvyšší přípustná množství sledovaných látek v kompostu a surovinách pro přípravu kompostu (ČSN 465735)

Sledované látky	Nejvyšší přípustné množství sledované látky v mg v 1 kg vysušeného vzorku suroviny
As	50
Cd	13
Cr	1000
Cu	1200
Hg	10
Mo	25
Ni	200
Pb	500
Zn	3000

Pro registrované komposty doba zrání po ukončení homogenizace (homogenizační překopávka) trvá minimálně 60 dní. Během doby zrání je nutno kompost minimálně ještě jednou překopat. Interval mezi první a druhou překopávkou musí být delší než 21 dnů s výjimkou ověřených technologií, kde může být stanovena doba kratší. Výška kompostovaných zakládek musí být dle normy od 2 – 4 m. U kompostů vyráběných z tuhých domovních odpadů, čistírenských nebo farmaceutických kalů nebo z látek s důvodným podezřením na obsah patogenních zárodků musí kompost v procesu zrání dosáhnout minimální teploty 55°C po dobu 21 dnů a u ostatních kompostů teploty 45°C po dobu 5 dnů. Teplota kompostu se měří ve středu výšky zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu zakládky v intervalech umožňujících sledovat průběh zrání. Průmyslový kompost je možné expedovat nejdříve 14 dní po skončení druhé překopávky, jestliže je jeho teplota nižší než 45°C.

V provozních řádech kompostáren musí být zakotven způsob vedení technologické evidence o každé kompostové zakládce (vyráběné partii kompostu) podle ČSN 465735. Tato evidence musí minimálně obsahovat údaje o stanovišti zakládky, výsledky rozborů surovin, množství použitých surovin, údaje o technologii, zejména data technologických operací a výsledky měření teplot.

Komposty a pěstební substráty se uvádějí do oběhu prodejem podle zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech. Podle tohoto zákona smějí výrobci a dodavatelé uvádět do oběhu pouze komposty, které jsou registrované podle tohoto zákona. O registraci hnojiva rozhoduje Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský na žádost výrobce, který je oprávněn k podnikání. Při podání žádosti je žadatel povinen poskytnout potřebné vzorky, nebo umožnit jejich odběr, uhradit správní poplatek (3000 Kč), uhradit náklady na rozbor vzorků a poskytnout další podklady a informace, nezbytné pro registrační řízení. Zpravidla je dostačující informací provozní řád kompostárny, schválený krajským úřadem a předložení dokladů o právní subjektivitě žadatele a o oprávnění k podnikání (živnost výroba hnojiv). Součástí registračního řízení je i předložení příbalového letáku, kde musí být uvedeny veškeré náležitosti požadované zákonem č. 156/1998 Sb., o hnojivech a především rozsah a způsob použití kompostu.

Vyhláška ministra zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva uvádí rizikové prvky a jejich limitní hodnoty v hnojivech a substrátech a stanoví typy hnojiv. Podle této vyhlášky patří průmyslové komposty mezi organická hnojiva (číslo typu 18.1.a.). U balených kompostů a u kompostů, které jsou určeny ke hnojení rekreačních a sportovních ploch a dětských hřišť se vyžaduje hodnocení mikrobiologického znečištění.

V případě, že provozovatel kompostárny kompost neprodává a využívá ho při svých dalších činnostech (např. zakládání veřejné zeleně), nemusí kompost registrovat.

2.5. Vývoj výzkumu kompostování v posledních letech

Vývoj v této oblasti v posledních letech vyjadřuje stručně extrakt z mnoha výzkumných prací, jak jej uvádějí Kolář a Kužel (2000). V podstatě jde o důsledné dodržování již dávno známých zásad, na které praxe poněkud zapomněla a novinkou je tam otázka přítomnosti C a N při nastavení optima C : N pro zdárné kompostování.

Výroba kompostů je obecně velmi nákladná. Vysvětlení je zřejmé z definice kompostu: je to rozložená organická hmota, částečně transformovaná na humusové látky, stabilizovaná minerální koloidní půdní frakcí.

Z této definice vyplývá, že kompostem, má-li mít význam jej vyrábět a vynakládat na jeho výrobu finanční prostředky, nemůže být jakákoliv homogenizovaná směs organického materiálu a libovolné minerální složky, rozložená krátkodobou fermentací.

Základní složkou surovinové skladby pro dobrý kompost je organická hmota. Musí však být snadno rozložitelná mikroorganismy, které transformační procesy v kompostu uskutečňují. Kdyby tato důležitá zásada byla přehlédnuta a do surovinové skladby kompostu byla určena organická hmota hůře mikrobiálně rozložená, byla by vyrobena pouze organominerální směs, bez valné ceny, nikoliv kompost. Nedošlo by totiž k dosažení potřebné teploty v kompostové směsi při kompostování. A právě výše dosažené teploty a délka trvání této maximální teploty v kompostu je zárukou, že k žádoucím změnám organické hmoty a k jejímu reakčnímu spojení s koloidní minerální půdní frakcí (jílem) opravdu dojde.

Skutečný kompost je tedy charakterizován takto:

1) Musí obsahovat hotové humusové látky, stabilizované jílem, se kterým musí vytvořit organominerální komplexy. Tím je zajištěno, že organická hmota dobrého kompostu mineralizuje celkem málo a je proto možné kompostem organicky hnojit i velmi lehké, převzdušněné půdy, ve kterých např. i hnůj velmi rychle mineralizuje a z hlediska přírůstku obsahu humusu prakticky bez užitku.

2) Obsah humusových látek v kompostu je příčinou jeho vysoké sorpční a iontovýměnné kapacity. Měření této iontovýměnné kapacity lze využít jako metody hodnocení kompostu.

Aby komposty byly vysoce kvalitním organominerálním hnojivem a splňovaly všechny agrochemické požadavky, je nutno při jejich výrobě zajistit:

- a) optimální rozvoj mikroflóry úpravou pH prostředí a jeho živinného režimu, zvláště však rovnováhu mezi vzduchem a vodou v kompostové směsi;
- b) minimální ztráty tepla z fermentující směsi vedením, sáláním a prouděním tepla;
- c) dokonalou homogenizaci;
- d) omezenou aerobiózu a dostatek mobilního fosforu k zajištění energetiky humifikace (přenosu energie z exothermní mineralizace do endothermní humifikace energetickými organofosfáty);

- e) optimalizaci poměru C : N složek a snadnou mikrobiální rozložitelnost organické složky kompostové směsi;
- f) dostatek koloidní minerální půdní frakce (jílu) v homogenizované formě;
- g) zaočkování kompostované směsi nikoli střevními (močůvka, hnůj), ale půdními mikroorganismy. To znamená, že k očkování lze použít jedinečně mikrobiálně živou středně těžkou, neutrální ornici;
- h) nepřítomnost organických polutantů, zdrojů minerálních škodlivin a mikrobiálních jedů, těžkých kovů, insekticidů, obecně všech pesticidů, tenzidů, tuků a olejů.

Z výše uvedené úvahy je zřejmé, že skutečným kompostem nemusí být ani výrobek, který normě ČSN 465735 vyhovuje. Na druhé straně je nutno otevřeně říci, že nespĺňují-li komposty uvedené základní dva požadavky, je bezpředmětné je vyrábět. Lze pak organickou hmotu použít jako organické hnojivo k přímému hnojení, třeba s doplněním dusíku. Bude to z hlediska látkové bilance dokonce výhodnější, protože zaoráním organické hmoty do půdy se zpomalí její mineralizace a uvolněný CO₂ obohatí půdní vzduch, zatímco při rychlé mineralizaci v hromadě organického materiálu s nevhodnými minerálními přísadami se CO₂ bez užitku mísí s ovzduším.

Proč norma ČSN 465735 v kapitole „Technické požadavky“ na průmyslový kompost (kap. 3.1.) uvádí jako znak jakosti vlhkost spalitelné látky ve vysušeném vzorku, celkový dusík, poměr C : N, hodnotu pH, obsah rozložitelné příměsi a homogenitu celku a neuvádí obsah humusových látek schopných reakce s minerální (jílovou) koloidní frakcí, když tyto látky vlastně skutečný kompost charakterizují? Důvod je prostý. Doba fermentace kompostu by byla příliš dlouhá, volba organické složky surovinové skladby ještě komplikovanější a cena vyrobeného kompostu neúnosná. Proto se předpokládá, že humifikační a stabilizační procesy čerstvého kompostu proběhnou až po jeho zaorání do hnojené půdy. V půdách dobře vápněných, s vysokou mikrobiální aktivitou, k tomu opravdu dojde. Ve špatných půdních podmínkách je však takový kompost jen organominerální směsí.

Z výše uvedených myšlenek je zřejmé, že norma ČSN 465735 určuje požadavky, které při kompostování musí být splněny. Ideálem jsou však staré černé

zahradnické komposty, které zkušeni zahradníci ošetřovali desítky let. V intervalu těchto výrobků by měl být nalezen snesitelný kompromis (Kolář, Kužel, 2000).

Stavba surovinové skladby

Celou surovinovou skladbu budoucího kompostu je nutno počítat na základě obsahu uhlíku organických látek suroviny. Protože však organická hmota surovin je velmi různorodá a může být více či méně (nebo vůbec) ovlivněna soly hydratovaných oxidů železa a hliníku, které její mikrobiální rozložitelnost velmi silně snižují, je vhodné si udělat jednoduchou orientační zkoušku rozložitelnosti organického podílu suroviny.

V surovině byl stanoven organický uhlík C_{ox} oxidimetrickou dichromanovou metodou, která je běžně užívána při stanovení organických látek v půdách; druhá část suroviny byla obohacena 1 % peptonu, zaočkována 1 % vodné suspenze zdravé, úrodné ornice (poměr půda : voda = 1 : 10) a uložena do termostatu při 28 °C na dobu 30 dnů. Pak byl opět stanoven ve vzorku C_{ox} . Je-li rozdíl C_{ox} prvního a druhého stanovení menší než 2,5 % C_{ox} původního vzorku, je organický materiál špatně rozložitelný. Je-li tento rozdíl 2,6 – 12,5 % C_{ox} původního vzorku, je středně rozložitelný. Rozdíl nad 12,5 % C_{ox} původního vzorku prozrazuje velmi dobře rozložitelný organický materiál.

Jestliže není možnost stanovit organický uhlík C_{ox} laboratorně dichromanovou metodou, je možno z nouze použít méně přesného údaje o spalitelných látkách, jak je určen kapitolou 5. a 6. ČSN 465735. Spalitelné látky bohužel mají různý obsah uhlíku a analytický údaj navíc zkresluje případné přítomné CO_3^{2-} , které uvolňují při spalování CO_2 . Přesto chyba není velká. Údaj o spalitelných organických látkách je nutno násobit faktorem 0,9 proto, že průměrný obsah organických látek ve spalitelném podílu je asi 90 %. Organické látky je však ještě nutno přepočítat na C_{ox} . Protože surovina většinou obsahuje rozložené a polorozložené rostlinné zbytky a protože obsah uhlíku v sušině organické hmoty rostlin kolísá v intervalu 40 – 48% (je tvořena převážně celulórou), je vhodný přepočtový koeficient 0,42, který bere v úvahu i zvýšení obsahu uhlíku v částečně zhumifikovaném podílu organické hmoty suroviny. Celkově byl tedy násoben údaj o množství spalitelných látek v sušině suroviny faktorem $0,9 \times 0,42 = 0,38$ a tak získáme údaj o obsahu C_{ox} v sušině.

Je zcela markantní, že je mnohem přesnější hodnotu C_{ox} přímo stanovit, jak v předchozím textu doporučuji.

Výsledný kompost by podle ČSN 465735 měl mít spalitelných látek minimálně 25 % v sušině. Musí být počítáno s tím, že u surovin s dobře rozložitelnými organickými látkami během kompostování až 50 % spotřebují jako zdroj energie mikroorganismy v kompostu a oxidují tak tuto organickou hmotu na CO_2 . Proto u některých surovin je nutno organickou hmotu doplnit. Je třeba dbát při tom pouze na dvě zásady:

- 1) Organický materiál musí být snadno rozložitelný
- 2) S původní surovinou musí být dokonale zhomogenizován. Aby to bylo možné, musí být organický materiál rozřezán, či rozdrcen. Přidávání celých rostlin (sena, slámy) je zcela nepřijatelné.

I u doplňujících organických surovin (rostlin, odpadů atd.) je lépe přímo stanovit C_{ox} , než spalitelné látky. Už proto, že podle C_{ox} je určena dávka dusíku. Velkou chybou je postup, kdy dávku dusíku určují někteří kompostáři podle spalitelných látek. Z přepočtového koeficientu, který je výše v textu odvozen, je zřejmé, že údaj C_{ox} a spalitelných látek zdaleka není totožný. Dávka dusíku je pak příliš vysoká, zrající kompost je zdrojem vyplavujících se nitrátů, které mohou přinést ekologické problémy a hlavně, je to výroba nevhodná.

Při stanovení dávky dusíku do kompostu tedy je nutno vyjít z celkového množství C_{ox} v sušině suroviny (případně s přísadou další organiky) a toto množství upravit dle stupně rozložitelnosti organického materiálu suroviny, případně s přísadou, takto:

Organický materiál	Koeficient
velmi dobře rozložitelný	1,0
středně rozložitelný	0,7
špatně rozložitelný	0,5

Požadovaný poměr C: N v hotovém kompostu podle ČSN 465735 je max. 30.

Je však nutno si uvědomit, že přeměny organických látek probíhají dobře při poměru $C_{ox} : N = 15 - 20$ a že během kompostování musí být počítáno i se ztrátami

dusíku nejen elucí, ale i vytěkáním do ovzduší. Proto je surovinová skladba nastavena na spodní hranici optimálního poměru C : N, tedy na 15. Je nutné vědět, kolik celkového dusíku N_{tot} je obsaženo v surovině. Tento dusík N_{tot} se však uplatní jen svojí hydrolyzovatelnou složkou, čili mineralizovatelným podílem a minerálním podílem celkového dusíku N_{tot} . Tyto hodnoty samozřejmě lze stanovit, ale stanovení dusíku je přece jen dražší a složitější. Protože však mineralizovatelného dusíku v celkovém dusíku je většinou 20 – 40 % je násoben údaj N_{tot} v surovině faktorem 0,3 a získaný výsledek odečten od vypočtené dávky dusíku, která je určena takto:

$$\frac{C_{ox} \cdot \text{koeficient rozložitelnosti}}{15} = N$$

Počítáno v kg na m^3 či 1 t nebo celý kompost.

Je-li stanoven přídavek dusíku k žádoucímu množství uhlíku v surovině, je už další tvorba receptury celkem jednoduchá. Při prudkém rozkladu snadno rozložitelných organických látek a při počátečních fázích humifikace se tvoří velké množství kyselin, a proto surovinová skladba musí být obohacena pufrčním prostředkem. Je to vždy vápenec, nejlépe dolomitický, co nejjemněji mletý. Nemělo by to být pálené vápno, půdní mikroorganismy ničí šokem změny pH. Je přidáváno 1 – 3 kg $CaCO_3$ na 1 m^3 kompostu (podle ekonomické možnosti). Je třeba si uvědomit, že přebytek vápence nevádí a že hotový kompost podle ČSN 465735 má mít pH = 6,0 – 8,5 a že jen smícháním samotného vápence se zeminou v poměru 1 : 1 se dostaneme k hodnotě pouze kolem pH = 8,6. Proto vápencem není třeba šetřit!

Další součástí kompostu, zásadně nutnou pro stabilizaci vznikající humusových látek, je jíl. Může to být mrtvý jíl ze stavebních výkopů, ale zásadně nesmí být na surovinu aplikován v kusech, dokonce ani po rozmělnění. Měl by být přidán v dávce 4 – 5 % spalitelných organických látek kompostu ve formě vodné suspenze, tedy jílového mléka, do písčitých surovin.

Fosfor pro usnadnění huminifakčních procesů je aplikován ve formě vodorozpustných fosforečných hnojiv v dávce alespoň 0,1 kg P na 1 m^3 kompostu. Dovolí-li to ekonomické podmínky výroby, je vhodné aplikovat také 2 kg síranu

draselného na 1 m³ kompostu. Nelze použít draselnou sůl, protože se enormně zvyšuje mobilita vápníku v kompostové hmotě.

Surovinová skladba je zaočkována přídatkem 5 – 10 kg neutrální, mikrobiálně aktivní ornice na 1 m³ kompostu (Kolář, Kužel, 2000).

Hospodaření s teplem při kompostování

Výše dosažené teploty v kompostu a doba jejího trvání jsou dva základní ukazatele dobrého průběhu kompostování. Ovlivňují hloubku a rychlost transformačních procesů kompostované organické hmoty i rozsah reakce organických humusových částic s jílovou koloidní minerální frakcí. Jestliže hloubka transformačních reakcí je malá, což se projevuje relativně nízkou teplotou a krátkou dobou jejího zvýšení, k tvorbě humusojílových částic, které představují stabilizovanou organickou hmotu kompostu, vůbec nedojde. To proto, že primární organická hmota s jílem není schopna reagovat. Je pravda, že už polorozložená primární organická hmota, která ještě vůbec není humusem, ale obsahuje pouze prekursorů humusu, se s jílovými koloidními látkami váže. Ale jen v důsledku povrchových adhezních sil, je to vazba relativně slabá a o stabilizaci půdní organické hmoty v tomto případě ani nelze mluvit.

Jak již bylo uvedeno, vzestup teploty a doba, po kterou v průběhu kompostování tato teplota trvá, je funkcí těchto faktorů:

- 1) Stupně rozložitelnosti organické hmoty kompostu.
- 2) Množství rozložitelné organické hmoty.
- 3) Množství vzdušného kyslíku, které potřebují aerobní mikroorganismy k mineralizaci části organické hmoty kompostu.
- 4) Velikosti mikrobiálního osídlení kompostu, čili jeho mikrobiální aktivitě.
- 5) Existencí optimálních podmínek pro rozvoj mikroflóry kompostu. Jde především o přítomnost dostatečného množství pufrčního prostředku (vápenec) k znemožnění okyselení kompostové hmoty. Jde ale také o rovnováhu mezi vzduchem a vodou v kompostu, protože mikrobiální život se nemůže rozvíjet v suchu, ale přebytek vody by nepříznivě ovlivnil aerobiózu prostředí. Je pochopitelné, že právě z hlediska tohoto faktoru surovinová skladba nesmí

obsahovat žádné xenobiotické látky, které by mohly působit jako mikrobiální jedy. Z tohoto hlediska je třeba zvlášť pečlivě zkoumat nabízené organické odpady z potravinářského a chemického průmyslu. Už malé zbytky dezinfekčních prostředků mohou zdárný průběh kompostování velmi markantně záporně ovlivnit.

- 6) Větrání kompostu. Tomuto faktoru se většinou věnuje velmi málo pozornosti. Komposty se buď nevětrají vůbec, nebo příliš. U nevětraných kompostů při počáteční rychlé mineralizaci organické hmoty kompostu dochází k silnému zvýšení koncentrace CO_2 v pórech mezi jednotlivými částicemi kompostu. A protože se kompost nevětrá, zvláště u objemných hromad kompostované hmoty, rychlost výměny čerstvého vzduchu a CO_2 je pomalá, CO_2 nepříznivě ovlivňuje životní podmínky aerobních bakterií a transformace organické hmoty kompostu se zpomaluje. Dochází k poklesu teploty. U větraných kompostů, zvláště když větrání je realizováno děrovanými trubkami v hmotě kompostové hromady, dochází k jevu opačnému, k příliš rychlé výměně venkovního a kompostovaného vzduchu, která je ještě urychlována vyšší teplotního rozdílu venkovního vzduchu a vnitřku kompostové hromady. Při ranním poklesu teploty není zvláštností slyšet v trubním systému dobře zrajícího kompostu hučení proudícího vzduchu. Je samozřejmé, že i při aeraci tak dokonalé se kompost velmi rychle vysušuje ztrátou vodních par, které unikají s teplým kompostovým vzduchem a především se ochlazuje, protože teplo vznikající mineralizačním procesem v kompostu nestačí uhrazovat tepelné ztráty. Teplota v kompostu rychle klesá, kompostovací procesy se zastavují.
- 7) Úrovně tepelné izolace kompostu. Průtok tepla stěnou je přímo úměrný ploše stěny a nepřímo úměrný součiniteli tepelného odporu, vyjádřeného obvykle v $\text{m}^2 \text{ hod.}^\circ\text{C}/\text{kJ}$.

Podle rovnice Newto – Fouierovy průchod tepla povrchem kompostu

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t_s \quad [\text{kJ/hod.}]$$

kde: K = součinitel průchodu tepla v $\text{kJ}/\text{m}^2 \cdot \text{hod.}^\circ\text{C}$

F = plocha v m^2

Δt_s = střední rozdíl teplot vně a uvnitř stěny v $^\circ\text{C}$

je závislý na celkové ploše kompostu, která je ve styku s okolní atmosférou a podkladem, na součiniteli průchodu tepla povrchové vrstvy kompostu a na rozdílu teplot venkovního vzduchu (i základní hromady) a teploty v podpovrchové vrstvě kompostu. Protože ale stejná rovnice platí pro n-vrstev celého kompostu, uplatňuje se teplotní rozdíl venkovního vzduchu a průměrné teploty celého kompostu.

Reciprokou hodnotou tepelného odporu je tepelná vodivost, vyjádřená $\text{kJ/m}^2 \cdot \text{hod. } ^\circ\text{C}$, která v rozmezí teplot $0 - 100^\circ\text{C}$ je pro různé hmoty zřejmá z tabulky:

beton	4,60
led	8,37
piliny	0,29
písek	2,51
cihelné zdivo	7,72
vzduch	0,10

Z této tabulky je zřejmý důležitý poznatek: tepelná vodivost základu kompostové hromady je vždy větší, než tepelná vodivost vzduchu, obklopujícího kompost. Pokud je to možné, měla by být pod základ hromady dána vrstva dřevěných pilin. Půda, zvláště mokrá a zmrzlá, je relativně dobrým vodičem tepla. Čili základ kompostu by měl být izolován více, než vnější stěny kompostové hromady. Hlavní ztráty tepla kompostu jsou způsobeny prouděním tepla základem hromady a únikem tepla s větracím vzduchem. I když vzduch je špatným vodičem tepla, nelze zapomenout, že při velkém nepoměru mezi plochou kompostu a jeho objemem by i nízká tepelná vodivost vzduchu nám byla málo platná. Ideálním tvarem kompostu by byla koule; prakticky ale nejlépe vyhovuje kompost v silu čtvercového průřezu s tepelně izolovaným dnem a stěnami. Budou-li suroviny kompostovány na volném prostranství je třeba dodržovat zásadu, aby komposty byly lichoběžníkového průřezu, s dostatečnou výškou (minimálně 2,5 m, maximálně 4 m) se základem z vrstvy pilin či řezaného organického materiálu pobřežních rostlin. Zcela zásadně je nutno odmítnout komposty nízké, tzv. „na přeorávku“. Optimální teplota, dosažená při kompostování, by měla být $50 - 65^\circ\text{C}$ a její trvání by mělo být 25 - 45 dnů. Je-li možná analytická kontrola fermentace, je vhodné využít informace, že během

fermentace (rozdíl na začátku a na konci) se produkce CO₂ [mg CO₂/100 g vzorku v sušině za hodinu] snižuje zhruba na polovinu a obsah amonného dusíku [mg %] zhruba na třetinu.

Je-li zařízení v kompostu větrání, vždy musí mít možnost omezení. Trubkové větrací systémy jsou sice velmi účinné, ale nutně vyžadují každodenní ranní a večerní obsluhu.

Jak již bylo výše uvedeno, aerobní procesy v kompostu jsou zárukou rychlé mineralizace organické hmoty kompostu a uvolnění velkého množství energie, která se projevuje jako teplo. Cílem kompostování však není rozkladný, analytický proces, ale humifikace, tedy proces syntetický, s tvorbou vysokomolekulárních humusových látek nebo alespoň jejich prekurzorů. Ale humifikace je proces endotermický, spotřebovává energii, uvolněnou při mineralizaci. Rozhodující je, kolik energie z procesu mineralizace se podaří převést do procesu humifikace. Proto jsou přísádky a mobilita fosforu jako zdroje energetických organofosfátů tak důležité. Zvláštností humifikace je fakt, že největší produktivity i intenzity humifikace je dosaženo při aerobióze. (Ale pozor! Nikoli při anaerobióze!) Je proto třeba v posledních fázích kompostování větrat málo a také kompost už nepřehazovat!

ČSN 465735 doporučuje dvojí překopání při výrobě průmyslových kompostů. Při zavedeném větrání a dokonalé homogenizaci surovin při zakládání hromady stačí při kompostování materiálu jen jedna překopávka a byly úspěšné i pokusy kompostovat za těchto podmínek úplně bez překopávky. V nevětraných kompostech jsou ale dvě překopávky minimem (Kolář, Kužel, 2000).

Voda v kompostu

Norma ČSN 465735 v odst. 2. 6. Obsah vody v kompostu s cílem praktické jednoduchosti záměrně nestanovuje a regulaci vody ve zrající kompostové hmotě doporučuje řídit podle akutního nebezpečí průsaku či volného odtoku kapalné složky z hromady. Výrobce kompostů sice tento postup neodradí, ale zvláště pečlivější výrobce má pak kompost „utopený“ a i při dostatku snadno rozložitelných organických látek takový kompost zraje pomalu a dosažené teploty jsou nízké. Podle této normy pečlivý výrobce nastavuje vlhkost kompostové směsi na 100 % její

retenční vodní kapacity. Ale optimální podmínky pro mikrobiální život v kompostu nastávají při 50 - 60 % nasycení této retenční vodní kapacity surovinové skladby.

Retenční vodní kapacita směsi pro kompostování je jen obtížně odvozena z vlastností použitých surovin. Mnohem rychlejší je tuto kapacitu v několika dílčích vzorcích opakovaně změřit a k výpočtu množství závlahové vody použít aritmetický průměr údajů dílčích vzorků.

Postup je jednoduchý: do kbelíku se dvěma litry směsi pro kompostování je přilito pět litrů vody, zamícháno a scezeno sítem. Filtrát je pečlivě zachycen a jeho objem odměrnou nádobou změřen.

Jestliže např. kompostová směs objemu 2 l zachytila 600 ml vody (z pěti použitých litrů bylo pod sítem zachyceno 4 400 ml), jeden litr směsi zadržel 300 ml, jeden m³ kompostu 300 litrů vody. Retenční vodní kapacita směsi je 30 % obj. Správný přídavek vody do suroviny je 150 – 180 l vody na každý 1 m³ kompostu. Při tomto způsobu není potřeba se starat o sušinu či momentální vlhkost vzorku. Stejným způsobem je možno kontrolovat obsah vody v kompostu i v průběhu zrání kompostu. Retenční vodní kapacita kompostované hmoty však není stálá veličina, v průběhu fermentace se zvyšuje. Je to způsobeno rozpadem částic organické hmoty kompostové suroviny. K zvlášť výraznému vzestupu retenční vodní kapacity dochází v závěru kompostování, kdy se začínají tvořit humusové látky.

Obsah vody v kompostu mohou nekontrolovaně ovlivnit náhlé prudké lijáky. Proto by koruna kompostu měla být chráněna folií a rozhodně by mělo být upuštěno od budování často doporučovaných záchytných hrázek v koruně hromady. Je to sice úsporné, ale může být nebezpečné z hlediska snížení intenzity zrajícího procesu v kompostu v době přívalových dešťů.

Zvlášť je nutno doporučit použít k závlaze kompostu močůvku či zředěnou kejdu, kde je to možné. Nikoli z důvodu mikrobiologického oživení kompostu, jak se kdysi tvrdilo, ale z důvodu využití levného dusíku močůvky a kejdy (Kolář, Kužel, 2000).

Zcela nejnovější výzkum procesu kompostování se orientuje hlavně na otázky stupně lability organické hmoty kompostované surovinové skladby. Posuzování rozložitelnosti podle způsobu, který byl výše uveden (Kolář, Kužel, 2000) už poněkud zastaral a nový výzkum přikládá labilním formám organické hmoty velký

význam nejen při kompostování, ale obecně i v půdě, z hlediska její potenciální úrodnosti, ovlivněné aktivitou půdní mikroflóry. Souhrnně popisuje tuto problematiku včetně metod stanovení Kolář se spolupracovníky (Kolář et al., 2009).

V podstatě není rozdíl mezi půdní organickou hmotou (SOM) a systémem labilních a stabilních frakcí jakékoliv organické hmoty v surovinové skladbě kompostu.

Snaha po rychlé, relativně levné informaci o vlastnostech SOM v původním, izolačními postupy neovlivněném stavu v poslední době spoléhá na možnosti moderní instrumentální analýzy, např. difusní reflexní spektroskopie v infračervené (DRIFT) a blízké infračervené oblasti (NIRS) a ^{13}C NMR spektroskopie (Barančíková, 2008; Capriel, 1997; Šimon, 2005, 2007) k praktickému určení kvality půdní organické hmoty. Výsledky jsou zatím málo přesvědčivé.

DRIFT, NIRS i ^{13}C NMR spektroskopie je ovšem nenahraditelná při vědeckém studiu chemické struktury frakcí SOM (Baldock et al., 1992).

Jsou-li abstrahovány všechny vedlejší funkce SOM v půdě, zbydou jen dvě základní: schopnost k mineralizaci s uvolněním energie pro půdní mikroedafon, CO_2 a minerálních živin. To je vlastnost primární části SOM, která může být více či méně rozložitelná. Většinou má sorpční vlastnosti, má však jen nepatrnou nebo žádnou iontovýměnnou kapacitu. Může být ale i téměř rozložitelná, inertní, samozřejmě v daných půdních podmínkách.

Iontovými kapacita je druhá základní funkce SOM. Je charakteristická pro produkty humifikace, které jsou mineralizaci tím více odolné, čím větší je jejich relativní molekulová hmotnost a čím více jsou schopny tvořit organominerální komplexy, jinými slovy: čím jsou pro praxi kvalitnější.

Tak lze rozdělit pestrou směs SOM alespoň na dvě velké skupiny dle rozdílného chování v mineralizaci a iontové výměně.

Z charakteru první základní funkce SOM, podléhat mineralizaci, je zřejmé, že nejcennější jsou ty frakce SOM, které jsou nejméně stabilní, tedy snadno rozložitelné. Tyto frakce jsou dnes považovány za významný indikátor půdní kvality (Ghani et al., 2003; Haynes, 2005; Marriot et al., 2006). Labilní frakce je charakterizována velmi různě. Jsou za ni považovány uhlíkaté látky rozpustné v horké vodě, ve studené vodě, látky extrahovatelné roztoky různých solí, obsah rozpustných proteinů, hemicelulóz a cukrů a mineralizovatelné organické látky.

Na labilitu organických látek se usuzuje z uhlíku bazální respirace, z obsahu uhlíku aminocukrů, uhlíku mikrobiální biomasy, obsahu uhlíku particulate organic matter, z frakcí postupné oxidace $K_2Cr_2O_7$ v 6 M, 9 M a 12 M H_2SO_4 , z obsahu uhlíku oxidovatelného 15,6 + 33 + 333 mM $KMnO_4$ (Blair et al., 1995; Chan et al., 2001; Rovira, Vallejo, 2002; Zhang et al., 2006; Soon et al., 2007; Marriot et al., 2006; Jiang et al., 2006).

Podobně se hodnotí i stupeň stability rostlinného či jiného organického materiálu jako případného rozložitelného substrátu i pro organické hnojení. Doporučuje se rozdělení na 3 frakce dle stability při kyselé hydrolyze 1 M a 2,5 M H_2SO_4 při 105°C a 0,5 – 12 hodin reakční doby (Rovira, Vallejo, 2000, 2002; Shirato, Yokozawa, 2006). Jiní autoři používají – k odhadu stability oxidovatelný uhlík materiálu v neutrálním 33 mM $KMnO_4$ (Tirol-Padre, Ladha, 2004) nebo rozdělení do 4 frakcí podle oxidovatelnosti C-látek $K_2Cr_2O_7$ v 6 M, 9 M a 12 M H_2SO_4 (Chan et al., 2001).

Obecně lze říci, že chemická frakcionace SOM se nyní vzdaluje snaze kvantifikovat jednotlivé typy organických sloučenin (proteinů, aminocukrů, aminokyselin, lipidů atd. (Appuhn et al., 2004) a orientuje se na hydrolyzu polysacharidických struktur (Rovira, Vallejo, 2000) a rozdělení SOM do frakcí dle různé stability při kyselé hydrolyze a permanganátové oxidaci (Leavitt et al., 1996, Paul et al., 2001, Blair et al., 1995).

Problematiku stability SOM však řeší řada autorů, kteří se zabývají fyzikální frakcionací SOM (Christensen, 2001; Skjemstad et al., 2004; Baldock, Smernik, 2002; John et al., 2005; Rethemeyer et al., 2005), biologickou stabilitou rostlinných zbytků a mírou změny O/N-alkylového C na alkylový C a jeho hydrofobní charakter jako příčinu biologické stability složek SOM (Kögel-Knabcher et al., 1992 a, b), vlivem biologické kapability a kapacity na rozložitelnost organického materiálu (Baldock, 2007) a ochranným účinkem řady faktorů na mineralizační rozklad SOM (Baldock et al., 2004).

Novinkou jsou i nedávno zjištěné ekonomické aspekty výroby a využití kompostů v ČR. Rašelina dovážená většinou z východu se prodává za 320 Kč/m³ a její roční potřeba v ČR je 250 000 m³. Snesitelná cena kompostu by měla být asi 150 Kč/m³, tj. 250 Kč/t. Pak by poptávka po takovém kompostu byla asi 120 000 m³

za rok. Je zřejmé, že ekonomické důvody nejsou příznivé pro výrobu kvalitních kompostů (Habart, 2010).

V poslední době veřejnost vzrušila zpráva, že se v ČR neprodejné komposty budou spalovat jako biopalivo. To je samozřejmě nesmyslné nedorozumění a fantazie laiků, kteří si kompost pletou s tzv. „BDB“ čili biologicky dosoušenou biomasou (Hyžík, 2007; Váňa, 2009; Váňa, Ust'ak, 2011).

Jde o rostlinnou biomasu, která musí být velmi labilní, nebo se k ní velmi labilní organické látky musí přidat. Silnou aerací dojde k rychlé mineralizaci části organické hmoty a vývoji takového množství tepla, že stačí k usušení biomasy na 25 – 30 % vlhkosti. Výrobní postup se zkouší v Rakousku a v ČR v kompostárně Jarošovice blízko Týna nad Vltavou, využití paliva se zkoušelo v Trhových Svinech v teplárně na roštovém kotli Kohlbach, 2,5 MW. S kompostem však toto palivo nemá nic společného. Toto palivo se vyrábí v kompostárnách s řízenou aerací, je to vzdušnění a odsávání vzduchu z kompostové směsi automaticky podle fermentační teploty (zařízení firmy Compost Systems GmbH ve Welsu, Rakousko). Lze tak zpracovat i kanalizační kaly.

3. ODPOVĚDI NA OTÁZKY ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

3.1. Popište současné metody výroby průmyslových kompostů v kompostárnách a způsob hodnocení jejich kvality.

Tato otázka byla zodpovězena v kap. 2 „Literární přehled“ (v bodě 2.3 a 2.4).

3.2. Vysvětlete základní rozdíl požadavků na vlastnosti kompostu z pohledu zpracovatele odpadu a z pohledu zemědělce.

Tato otázka byla zodpovězena v kap. 1 „Úvod“ (v bodě 1.4).

3.3. Je obsah živin v kompostu opravdu tak významným znakem kvality, jak se obecně tvrdí? Našla byste lepší znak kvality kompostu, který má zlepšit potenciální úrodnost půdy?

Považovat obsah půdy živin v kompostu za znak kvality je opravdu scestné, zvláště když většina průmyslových kompostů má humusu málo, nebo žádný a veškerá jejich organická hmota je více méně labilní organická hmota primární. Mohli bychom pak očekávat, že nějaký „podnikavec“ by organickou odpadní hmotu jemně dezintegroval na nejrůznějším mlecím zařízení, doplnil by živiny a vodu a podle normy ČSN 465735 by produkt mohl prodávat za kompost.

Je nepochopitelné, proč současné postupy na hodnocení kompostu, který je nikoliv jen organickým, ale také humusovým hnojivem (jak všichni odborníci již 100 let tvrdí), obsah humusu (tj. huminových kyselin a fulvokyselin) vůbec nezajímá? A proč je nezajímá ani snadno měřitelný projev přítomnosti, kvality a množství tohoto humusu, kationtová výměnná kapacita?

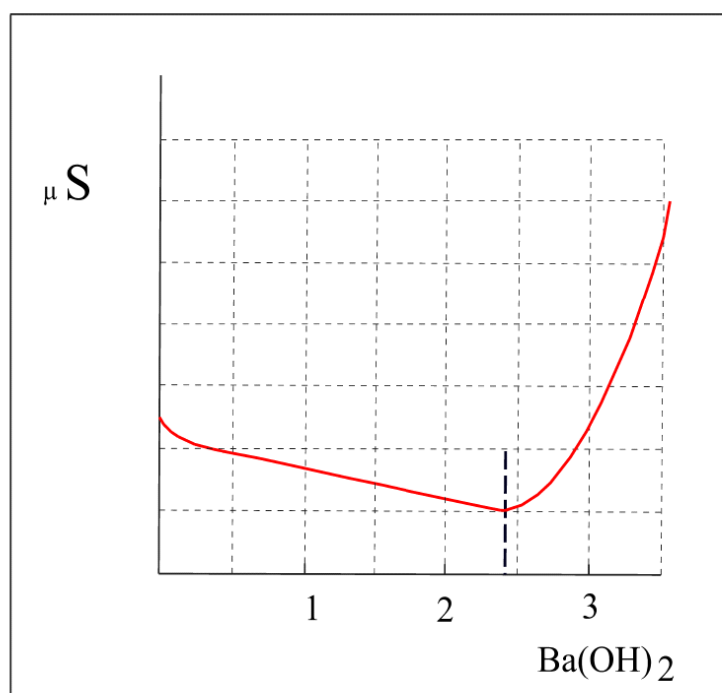
3.4 Jak by bylo možno tyto nové znaky kvality měřit?

Kationtová výměnná kapacita je spolehlivým kritériem kvality humusu a je možné ji stanovit dle rychlé konduktometrické metody podle Sandhoffova (která je známa již od r. 1956). Tato metoda je podrobně popsána např. ve veřejných skriptech (Kolář, Kužel, 2000).

Je k tomu potřeba konduktometr (dobré a levné přístroje dodává u nás firma GRYP, Havlíčkův Brod), tj. přístroj na měření reciproké hodnoty odporu, tedy vodivosti, dále elektromagnetickou míchačku a automatickou byretu s 0,05 N roztokem $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Vzorek kompostu (0,5 – 1 g) se nejprve promyje 0,1 HCl, tím se vyplaví poutané ionty a výměnná místa se nasatí vodíkem. Pak se vzorek dlouho promývá destilovanou vodou, až v eluátu nevzniká kapkou roztoku AgNO_3 bílý zákal. Teprve tehdy jsou poslední zbytky HCl vymyty. Vymytý vzorek kompostu v H^+ - cyklu se spláchne do měrné kádinky, do kádinky se vloží míchadélko a nádobka se postaví na elektromagnetickou míchačku. Umístí se vodivostní čidlo konduktometru, zapne se míchání a změří se vodivost suspenze kompostu s vodou. Pak se v pravidelných časových intervalech (30 – 60 sek.) přidává po 0,1 až 0,2 ml roztoku $\text{Ba}(\text{OH})_2$ a vždy před dalším přídatkem se změří vodivost. Do grafu na osu x se zaznamenává spotřeba hydroxidu v ml, na osu y vodivost suspenze v mS či μS .

Vyhodnocení je jednoduché. Na obr. č. 1 je průběh konduktometrické titrace vysoce jakostního kompostu, v němž jsou přítomny humusové látky.

Obr. č. 1 Konduktometrická titrace vysoce jakostního kompostu



Určení iontovýmenné kapacity tohoto kompostu je vyjádřeno tímto příkladem:

byl odebrán průměrný laboratorní vzorek kompostu v množství 1 dm³ podle ČSN 465735, ten byl na vzduchu usušen, rozmělněn, proset sítím s velikostí ok 2 mm a z prosevu byl odvážen 1 g pro konduktometrickou titraci, při které do bodu ekvivalence E bylo spotřebováno 2,4 ml 0,05 N Ba(OH)₂.

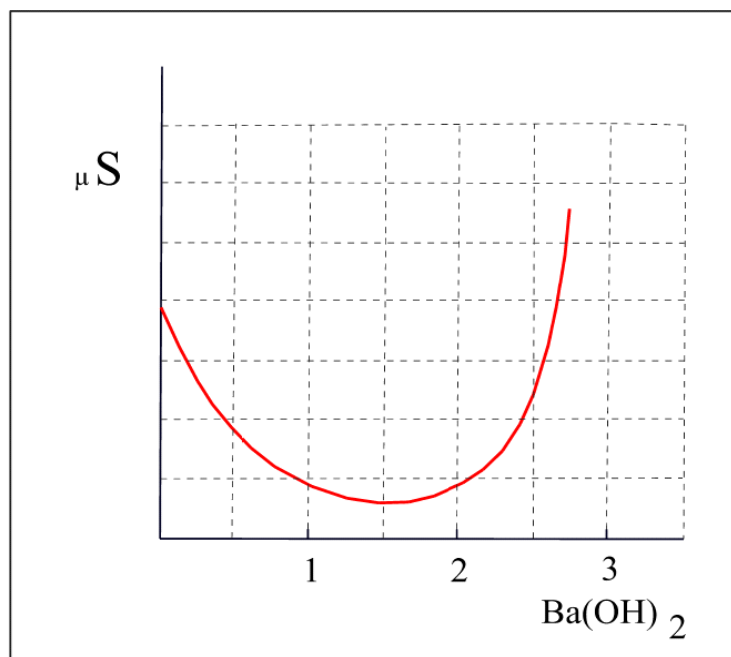
$$2,4 \times 0,05 = 0,12 \text{ mmol H}^+$$

$$V \ 1 \ 000 \text{ g} \rightarrow 120 \text{ mmol/kg.}$$

Kompost má iontovýmennou kapacitu celkem malou 120 mmol H⁺/kg, odpovídající asi hlinitopísčité půdě. Proces kompostování byl ale dokonalý, vznikly humusové látky.

Na obr. č. 2 je záznam konduktometrické titrace kompostu, který plně vyhovuje požadavkům ČSN 465735 kap. 3, ale fermentace byla krátká, či chybná, takže humusové látky nevznikly. Není to vlastně pravý kompost, ale organominerální směs. Hmota nemá iontovýmenné schopnosti, vykazuje pouze slabou sorpci fyzikální, nikoliv výměnnou.

Obr. č. 2 Konduktometrická titrace bez vzniku humusové látky



Normou předepsané parametry (momentální vlhkost, spalitelné látky v sušině, celkový dusík v sušině, poměr C : N, hodnota pH, nerozložitelné příměsi a stanovení homogenity celku v relativních %) jsou důležité, ale bohužel neprozrazují nic o tom, zda při kompostování vznikly humusové částice, typické schopností iontové výměny a reakce s jílovitou minerální frakcí, pro kterou kompost vlastně pracně a relativně draze vyrábíme.

Proto by bylo vhodné zkoušky předepsané ČSN 465735 doplnit o záznam průběhu konduktometrické titrace vzorku kompostu uvedeného z hlediska iontové výměny do H^+ - cyklu odměrným roztokem hydroxidu barnatého.

3.5 Jak by bylo nutno adaptovat proces kompostování a jak upravit surovinovou skladbu, aby bylo možno takový zemědělsky cenný kompost v kompostárně vyrobit?

Zásady jsem podrobně popsala v kap. 2 „Literární přehled“ (v bodě 2.5) této bakalářské práce. Stručně to lze vyjádřit tímto schématem:

dostatek labilní organické frakce – optimální poměr C : N dle mobility složek – optimální vlhkost – optimální aerace – omezení tepelných ztrát – očkování orníci či zrajícím kompostem – pufrace vápencem – dostatek živin, zvláště fosforu – stabilizace koloidní jílovou frakcí – dlouhá 2. fáze fermentace.

3.6 K čemu je vhodný současný standardní průmyslový kompost a k čemu by měl sloužit Váš nový kompost v zemědělské praxi?

Obávám se, že současný průmyslový kompost je vhodný jen pro nějaké terénní úpravy, třeba okolí silnic. Chápu nezájem zemědělců o tento produkt, levněji a se stejným efektem by je vyšlo pouhé zaorání homogenizované a dezintegrované surovinové skladby kompostu, bez fermentace, jen s odpovídajícím množstvím předepsaných živin.

„Nový kompost“ je právě humusové hnojivo pro zvýšení iontovýměnné kapacity a pro zlepšení vodního režimu lehkých půd, kterým zároveň dodává živiny. Má tu výhodu, že v lehkých půdách „nehoří“, protože mineralizuje mnohem pomaleji, než běžná organická hnojiva.

4. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

4.1. Metodika

Provedla jsem jednoduchý pokus, který jsem pojala pouze jako práci „demonstrační“. Připravila jsem kompostovou skladbu ze sečené odpadní trávy (zahradní sekačkou) s 8% zahradní zeminy písčitohlinité, poměr C : N jsem upravila močovinou na poměr C : N = 14 : 1, vlhkost na 54 % retenční vodní kapacity, kterou jsem 1 x týdně kontrolovala a upravovala. Hodnotu pH jsem regulovala 8 % přídatkem mletého vápence. Očkovala jsem 2 % přídatkem organicky bohatě hnojené ornice. Do surovinové skladby jsem přidala 0,8 % P_2O_5 v superfosfátu na hmotnost v sušině, podobně 1,6 % K_2O ve formě síranu draselného. Potom jsem surovinovou hmotu, řádně homogenizovanou a na starém šrotovníku dezintegrovanou, **rozdělila na dvě části (kontrolní a pokusnou)**.

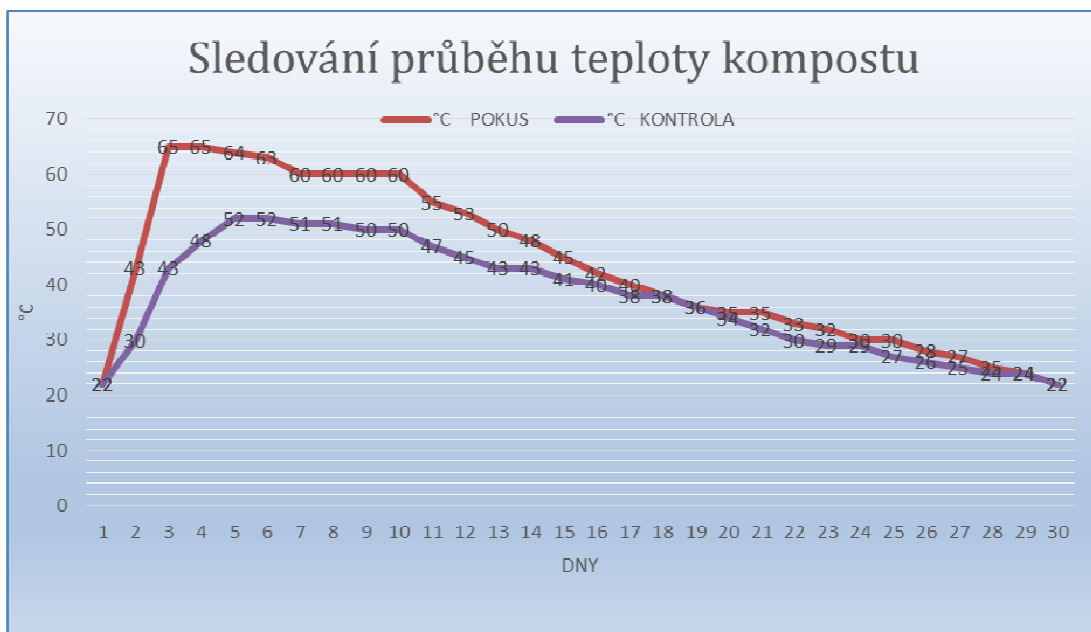
První část jsem umístila na udusanou zem ve vyhřívané garáži a při teplotě 22 °C jsem ji při 2 krát přehození fermentovala po dobu 9 měsíců.

Druhou část jsem umístila vedle první části, zkropila jsem jí jílovým mlékem (připraveném ve stavební míchačce), dno hromady jsem izolovala polystyrenovými deskami. Labilitu organické hmoty jsem posílila roztokem glukózového sirupu, který jsem aplikovala spolu s vodou při úpravě vlhkosti směsi v dávce 1% na hmotnost surovinové skladby v sušině. Do středu hromady jsem umístila děrovanou trubku, z které jsem motorovou vývěvou odsávala vzduch s CO_2 z hromady.

Zatímco v kontrole jsem dosáhla v 1. fázi hydrolyzy teplotu 52 °C, v pokusné hromadě se vzdušněním teplota přesáhla 65 °C a dále by stoupala, proto jsem si půjčila teplotní čidlo, které vypínalo aeraci při dosažení 60 °C. Prudký vzestup teploty pokusné varianty se ale asi úbytkem sacharidů snižoval a hydrolyzní 1. fáze se poměrně rychle vyčerpala, za 10 dní. V kontrole mírnější vzestup teploty I. fáze trval 12 až 13 dnů. Po poklesu teplot ve II. fázi jsem aeraci ve variantě pokusné už zrušila, trubku pro výměnu vzduchu jsem ale v hromadě ponechala. Teplota v obou variantách postupně klesala zpočátku stejně, po dosažení teploty v hromadě 36 °C se rychlost snižování začala lišit, v kontrole byl pokles teploty rychlostně stejný, ve variantě pokusné se výrazně zpomalil. Proto jsem fermentaci pokusné varianty ukončila až po 12 měsících, asi 4 měsíce po definitivním snížení teploty u obou variant na hodnotu okolí, tj. 20 – 22 °C.

Na obr. č. 3 jsou znázorněny teploty u kontrolního a pokusného kompostu v průběhu fermentace.

Obr. č. 3 Sledování průběhu teploty kompostu



Při hodnocení výsledků jsem si všimla pouze znaků humifikace: stanovila jsem celkový obsah uhlíku C_{ox} , pak C_{ox} humusových kyselin (huminových a fulvokyselin) a z toho jsem vypočítala stupeň humifikace organické hmoty kompostů:

$$S_H = \frac{C_{ox\ HK} + C_{ox\ FK}}{C_{ox\ celkem}} \cdot 100$$

V další části práce jsem stanovila KVK konduktometricky dle Sandhoffa.

4.2. Výsledky

	kontrola	pokus
C _{ox} celkem [%]	36,2	27,1
S _H [%]	0,85	1,64
KVK [mmol.chem.ekv. H ⁺]	47,9	146,2

4.3. Diskuse

Z výsledků je zřejmé, že v pokusu probíhala hydrolyza i další transformace organické hmoty mnohem aktivněji než v kontrole, zvláště když si uvědomíme, že imput uhlíku z přidaného cukru v pokusu jsem neodečetla. Stupeň humifikace v kontrole je tak nízký, že snad pochází jen od přidané zahradní zeminy a zdá se, že v kompostu kontroly žádný humus nevznikl. Ani S_H není v pokusu tak vysoký, jak jsem očekávala. Vzestup KVK, prozrazující kvalitu tohoto humusu, je však již slibnější. Stupeň humifikace S_H se v pokusu oproti kontrole zvýšil sice jen 1,9 krát, ale KVK se oproti kontrole zvýšila 3 krát, i když to odpovídá jen KVK střední, spíše lehčí, nehumózní půdy. Nicméně tento nedokonalý pokus je přesto důkazem, že při dbání všech zásad v podmínkách průmyslové výroby lze vyrobit kompost jako humusové hnojivo.

4.4. Závěr

Zemědělský kompost je hnojivo drahé, ale má cenu ho vyrábět jen za předpokladu, že je to hnojivo nejen organické, ale navíc humusové.

Kompost by neměl být hodnocen podle parametrů, které určuje ČSN 465735 Průmyslové komposty, ale podle stupně humifikace S_H a KVK. Tím je oceněno nejen množství, ale i kvalita analyzovaného kompostu. Kompost jako humusové hnojivo bude vyráběno jen tehdy, budou-li dodrženy dávno známé zásady pomalého kompostování, na které průmyslová výroba kompostů z důvodu ekonomického tlaku již zapomíná.

5. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. APPUHN, A., JOERGENSEN, R.G., RAUBUCH, M., SCHELLER, E., WILKE, B. (2004): The automated determination of glucosamine, galactosamine, muramic acid, and mannosamine in soil and root hydrolysates by HPCL. *J. Plant Nutr. Soil Sci.*, 167: 17-21
2. BAIER, J. (1962): *Abeceda výživy rostlin*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 250 s. Zemědělské aktuality
3. BALDOCK, J. A. (2007): Composition and cycling of organic carbon in soil, 1-35. In: Marschner P., Rengel Z., 2007: *Nutrient cycling in terrestrial ecosystems*. *Soil Biology*, Vol. 10, Springer Verlag Berlin, Heidelberg, 390 s.
4. BALDOCK, J. A., MASIELLO, C. A., GÉLINAS, Y., HEDGES, J. I. (2004): Cycling and composition of organic matter in terrestrial and marine ecosystems. *Mar.Chem.*, 92: 39-64
5. BALDOCK, J. A., OADES, J. M., WATERS, A. G., PENG, X., VASSALLO, A. M., WILSON, M. A. (1992): Aspects of chemical structure of soil organic materials as revealed by solid-state ^{13}C NMR spectroscopy, *Biogeochemistry*, 16: 1-42
6. BALDOCK, J. A., SMERNÍK, R. J. (2002): Chemical composition and bioavailability of thermally altered *Pinus resinosa* (Red pine) wood. *Org. Geochem.*, 33: 1093-1109
7. BARANČÍKOVÁ, G. (2008): Application of NMR spectroscopy in studies of organic matter in soil. *Chemické listy*, 102: 1100-1106
8. BLAIR, G. J., LEFROY, R.D.B., LISLE, L. (1995): Soil carbon fractions based on their degree of oxidation and the development of a carbon management index for agricultural systems. *Aust. J. Agric. Res.*, 46: 1495-1466
9. CAPRIEL, P. (1997): Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *Europ. J. Soil Sci.*, 48:457-462
10. ČSN 465735 Průmyslové komposty

11. DUCHOŇ, F. (1956): Průmyslové komposty, jejich historie a budoucnost. Za vysokou úrodu, 3, 53
12. DUCHOŇ, F., HAMPL, J. (1959): Agrochemie. ČSAZV Praha
13. DUCHOŇ, F. (1942): Hodnota feky Ernest-Kroulíkovy. Zemědělský archiv, XXXIII, 7.
14. DUCHOŇ, F. (1948): Výživa a hnojení kulturních rostlin zemědělských. ČAZ Praha
15. DUCHOŇ, F. (1961): Od zemědělského výzkumu k výrobě 1,5 milionu tun průmyslových kompostů. Sborník ČSAZV, č. 1
16. DUCHOŇ, F., HAMPL, J. (1962): Agrochemie. II. Vydání, ČSAZV Praha
17. GHANI, A., DEXTER, M., PERROTT, K. W. (2003): Hot-water extractable carbon in soils; a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation, Soil Biology & Biochemistry, 35 (9): 1231-1243
18. HABART, J. (2010): Komposty – významný článek využití odpadů a zajištění půdní úrodnosti. Sborník z konference „racionální použití hnojiv“, ČZV Praha, ISBN 978-80-U3-2006-2
19. HAYNES, R. J., 2005: Labile organic matter fractions as central components of the quality of agricultural soils. Advances in Agronomy, 85, 86: 221-268
20. HIMMELHUBER, P. (2004): Komposty. Grada Publishing, ISBN 80-247-0754-3
21. HOHENBERGER, E. (1999): Půda, kompost, hnojení. Euromedia Group, ISBN 80-242-0032-5
22. HOPKINS, D. P. (1954): The soil, the Dust-Cart and WC. Fertilizer and Feeding Stuffs Journ., XLI, 3
23. HYŽÍK, J. (2007): Neověřené technologie pro spalování čistírenských kalů. Odpady, 1, 5-7
24. CHAN K. Y., BOWMAN A., OATES A. (2001): Oxidizable organic carbon fractions and soil quality changes in an oxic Paleustalf under different pasture leys. Soil Sci., 166, 1: 61-67
25. CHRISTENSEN, B. T. (2001): Physical fractionation of soil and structural and functional complexity in organic matter turnover. Eur J. Soil Sci., 52: 345-353

26. JIANG, P. K., XU, Q. F. (2006): Abundance and dynamics of soil labile carbon pools under different types of forest vegetation *Pedosphere*, 16 (4): 505-511
27. JOHN, B., YAMASHITA, T., LUDWIG, B., FLESSA, H. (2005): Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*, 128: 63-79
28. KALINA, M. (2004): *Kompostování a péče o půdu*. Grada Publishing, ISBN 80-247-0907-4
29. KÁŠ, V. (1947): Mikrobiologické metody v hodnocení kompostů. Sborník ČAZ, č. 2
30. KÁŠ, V. (1961): *Obohacování půd humusem*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství, 203 s. Zemědělská výroba
31. KÖGEL-KNABCHER, I., DE LEEUW, J.W., HATCHER, P.G. (1992 a): Nature and distribution of alkyl carbon in forest soil profiles: implications for the origin and humification of aliphatic biomacromolecules. *Sci Total Environ.*, 117/118: 175-185
32. KÖGEL-KNABCHER, I., HATCHER, P.G., TEGELARR, E. W., DE LEEUW, J.W. (1992 b): Aliphatic components of forest soil organic matter as determined by solid-state ¹³ C NMR and analytical pyrolysis. *Sci Total Environ*, 113: 89-106
33. KOLÁŘ, L., KUŽEL, S. (2000): *Odpadové hospodářství*. 1. vyd. České Budějovice: Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, 193 s. ISBN 80-7040-449-3
34. KOLÁŘ, L., KUŽEL, S., HORÁČEK, J., ČECHOVÁ, V., BOROVIČKA, J., PETERKA, J. (2009): Labilní frakce půdní organické hmoty, její kvantita a kvalita. *Plant, Soil and Environment*, 55, 6, 245-251
35. KORTLEVEN, I.J. (1950): De waarde van Stadscompost als organische Meststof. *Ver. Landboukw, Onderz* 56
36. KROUHLÍK, A., LEITGEB, S. (1960): *Horké kompostování*. ČSAZV Praha
37. LEAVITT, S.W., FOLLETT, R.F., PAUL, E.A. (1996): Estimation of slow and fast-cycling soil organic carbon pools from 6 N HCl hydrolysis. *Radiocarbon*, 38:231-239

38. LIEBIG, J. (1840): Die organische Chemie in ihrer Anwendung auf Agrikultur und Physiologie. Braunschweig
39. MARRIOT E. E., WANDER M. M. (2006): Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems, *Soil Science Society of America Journal*, 70 (3): 950-959
40. MARTENS, D.A., LOEFFELMANN, K.L. (2002): Improved accounting of carbohydrate carbon from plants and soils. *Soil Biol. Biochem*, 34: 1393-1399
41. NĚMEC, A., ŘOUTIL, R. (1961): Využití hnojiv z místních zdrojů a průmyslových odpadů. SZN Praha
42. NOVÁK, B. (1956): Příprava a použití statkových kompostů. SZN Praha
43. NOVÁK, V., KÁŠ, V., NOSEK, J. (1958): Živěna půdní. ČSAZV Praha
44. PAUL, E. A., COLLINS, H. P., LEAVITT, S. W. (2001): Dynamics of resistant soil carbon of Midwestern agricultural soils measured by naturally occurring ¹⁴C abundance. *Geoderma*, 104: 239-256
45. PIGUTA, P. G. (1945): Biotěrmičeskaja perezabotka domovyh otbrosov. Izd. Narkomchoza RSFSR, Moskva
46. PLÍVA, P. (2008): Kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Profi Press, ISBN 978-80-86726-32-8
47. RETHEMEYER J., KRAMER, C., GLEIXNER G., JOHN, B. YAMASHITA, T., FLESSA, H., ANDERSEN, N., NADEAU, M. J., GROOTES, P. M. (2005): Transformation of organic matter in agricultural soils: radiocarbon concentration versus soil depth. *Geoderma*, 128: 94-105
48. ROVIRA, P., VALLEJO, V. R. (2000): Examination of thermal and acid hydrolysis procedures in characterization of soil organic matter. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 31: 81-100
49. ROVIRA, P., VALLEJO, V. R. (2002): Labile and recalcitrant pools of carbon and nitrogen in organic matter decomposing at different depths in soil: an acid hydrolysis approach. *Geoderma*, 107 (1-2): 109-141

50. SHIRATO Y., YOKOZAWA M. (2006): Acid hydrolysis to partition plant material into decomposable and resistant fractions for use in the Rothamsted carbon model. *Soil Biology & Biochemistry*, 38 (4): 812-816
51. SKIBNIEWSKI, L. (1951): Rolnicze wykorzystanie ścieków miejskich i przemysłowych. P.P.W., Wad Komunikacyjne, Warszawa
52. SKJEMSTAD, J. O., SPOUNCER, L. R., COWIE, B., SWIFT, R. S. (2004): Calibration of the Rothamsted organic carbon turnover model (RothC ver. 26.3), using measurable soil organic carbon pools. *Aust. J. Soil Res.*, 42: 79-88
53. SOON, Y. K., ARSHAD, M. A., HAQ, A., LUPWAYI, N. (2007): The influence of 12 years of tillage and crop rotation on total and labile organic carbon in a sandy loam soil. *Soil & Tillage Research*, 95 (1-2): 38-46
54. ŠIMON, T. (2005): Aliphatic compounds, organic C and N and microbial biomass and its activity in long-term field experiments. *Plant, Soil and Environment*, 51: 276-282
55. ŠIMON, T. (2007): Quantitative and qualitative characterization of soil organic matter in the long-term fallow experiment with different fertilisation and tillage. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 53: 241-251
56. TIROL-PADRE, A., LADHA, J. K. (2004): Assessing the reliability of permanganate-oxidizable carbon as an index of soil labile carbon. *Soil Science Society of America Journal*, 68,3: 969-978
57. VÁCLAVÍK, J. (1936): Moderní praxe v čištění městských odpadních vod ve Spojených státech. *Chemické listy*, XXX, 7, 8.
58. VÁŇA, J.: Kompostování odpadů. *Biom.cz* [online]. 2002-01-14 [cit. 2015-01-03]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-odpadu>>. ISSN: 1801-2655.
59. VÁŇA, J. (2008): Současné možnosti a limity využití a uplatnění kompostů. *Odpady*, 21, 61-63
60. VÁŇA, J. (2009): Biologicky dosoušená biomasa s podílem bioodpadů. *Odpadové fórum*, 10, 13-15

61. VÁŇA, J., UŠŤAK, S.: Biologicky dosoušená biomasa na bázi bioodpadů jako palivo pro biokotelny a bioelektrárny. Biom.cz [online]. 2011-05-30 [cit. 2015-01-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biologicky-dosousena-biomasa-na-bazi-bioodpadu-jako-palivo-pro-biokotelny-a-bioelektrarny>>. ISSN: 1801-2655.
62. VENKRBEC, L. (1962): Mechanizace výroby kompostů. SZN Praha
63. ZHANG, J. B., SONG, C. C., YANG, W. Y. (2006): Land use effects on the distribution of labile organic carbon fractions trough soil profiles. Soil Science Society of America Journal, 70 (2): 660-667