

## **INTEKO ATCZ42**

1.1.1.  
Inovace technologie pro standardizaci kvality  
kompostu  
Ekoinovace

## Obsah

1	ÚVOD.....	5
2	Metodika pro testování kvality technologie / kvality provozu kompostárny.....	5
3	Kritické body procesu kompostování – podmínky a parametry monitoringu procesu a kvality kompostu .....	6
4	Inovační technologie kompostování – zakládání a průběh kompostovacího procesu.....	8
4.1	Technologie kompostování .....	8
4.1.1	Technologie na volné ploše s traktorovým s překopávačem kompostu.....	8
4.1.2	Technologie na volné ploše s ventilátory.....	9
4.2	Testované technologie a jejich výstupy – zdroj dalších živin – fosfor, dusík a organická hmota 9	
4.2.1	Technologie – třídění a sběr bioodpadu – biologicky rozložitelný komunální odpad ...	10
4.2.2	Technologie – čistírny odpadních komunálních vod – kal.....	11
4.2.3	Technologie – pyrolýza – biouhel .....	12
4.2.4	Technologie – spalovna kalů z čistíren odpadních komunálních vod – popel.....	12
4.3	Kvalita vstupních surovin kompostovacího procesu .....	13
4.3.1	Testované surovinové sklady.....	13
4.3.2	Kvalita testovaných surovinových skladeb.....	14
4.3.3	Testované surovinové sklady pro zvýšení obsahu živin – fosfor .....	14
4.4	Technické a technologické zásady kompostárny pro uplatnění testovaných zdrojů fosforu a organické hmoty pro získání výstupu s definovanou kvalitou.....	16
4.4.1	Teplota .....	16
4.4.2	Vlhkost .....	17
4.4.3	hodnota pH.....	18
4.4.4	Poměr C: N.....	18
4.4.5	Obsah vzdušného kyslíku .....	20
4.4.6	Pórovitost, zrnitost a velikost částic .....	20
4.5	Průběh kompostovacího procesu.....	21
4.5.1	Technologie kompostování .....	21
4.5.2	Velikost zakládky.....	21
4.5.3	Příprava, skladování a předúprava surovin .....	22
4.5.4	Doba kompostování – kompostování, stabilizace a zrání .....	22
4.5.5	Monitoring průběhu kompostovacího procesu.....	22
4.5.6	Hodnocení kvality kompostu .....	23

4.5.7	Konečná úprava a uskladnění kompostu .....	24
5	Metodika procesu kompostování a kvalita kompostu .....	25
5.1	Cíl metodiky .....	25
5.2	Vlastní popis metodiky .....	25
5.2.1	Technologie – zásady kompostování pro získání výstupu s definovanou kvalitou procesu a kompostu .....	25
5.2.2	Standardizace kvality kompostu .....	27
5.2.3	Interpretace analýz kompostu na obsah dusíku a stupně zralosti .....	29
5.3	Srovnání novosti postupů .....	34
5.4	Popis uplatnění metodiky .....	35
5.5	Ekonomické aspekty a přínos pro uživatele .....	35
6	Příloha – řízení a hodnocení kompostovacího procesu .....	36
6.1	Receptura základky .....	36
6.1.1	Optimalizace surovin – kaly .....	36
6.1.2	Metodika stanovení C: N .....	36
6.2	Metodika stanovení vlhkosti .....	37
6.2.1	Laboratorní stanovení sušiny .....	38
6.2.2	Orientační zkouška vlhkosti – pěstní zkouška .....	39
6.3	Metodika stanovení struktury .....	39
6.4	Měření teploty kompostu .....	40
6.5	Měření obsahu kyslíku .....	41
6.6	Test zralosti .....	41
6.6.1	Subjektivní metoda .....	42
6.6.2	Test fytotoxicity (řeřichový test) .....	42
6.6.3	NIRS .....	43
7	Použitá literatura .....	44
8	Seznam zkratk .....	44

## Seznam tabulek

Tabulka 1	Parametry – procesní schéma kompostárny .....	7
Tabulka 2	Vlastnosti surovinové skladby pro optimální průběh kompostovacího procesu .....	13
Tabulka 3	Průměrné zjištěné hodnoty v testovaných surovinových skladbách – kvalitativní znaky .....	14
Tabulka 4	Varianty surovinové testované surovinové skladby .....	15
Tabulka 5	Průměrné obsahy živin a spalitelných látek v jednotlivých surovinových skladbách .....	15
Tabulka 6	Limitní teploty pro hygienizaci v průběhu kompostovacího procesu .....	16

Tabulka 7 Průměrné hodnoty teplotních režimů / technologie / suroviny / zralost .....	17
Tabulka 8 Průběh vlhkosti v zakládkách dle surovinové skladby a technologie – průměr .....	17
Tabulka 9 Změny pH v procesu v závislosti na kvalitě surovin .....	18
Tabulka 10 Průměrný poměr C: N v testovaných kompostech / zralost.....	19
Tabulka 11 Hnojivé účinky kompostu .....	19
Tabulka 12 Průměrné počty překopávek a doby provětrávání u jednotlivých surovinových skladeb ..	20
Tabulka 13 Poměr zralosti kompostu k velikosti zakládek (technologii) a délce procesu .....	21
Tabulka 14 Parametry hodnocení – testy dle současné legislativy v ČR.....	23
Tabulka 15 Preventivní znaky kvality i kompostu .....	24
Tabulka 16 Teplotní režimy hygienizace .....	27
Tabulka 17 Parametry hodnocení kvality kompostu .....	27
Tabulka 18 parametry hodnocení hnojící kvality kompostu .....	28
Tabulka 19 Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků.....	28
Tabulka 20 Kritéria pro kontrolu účinnosti hygienizace prováděné na základě sledování indikátorových mikroorganismů.....	29
Tabulka 21 Odhadovaný dusík dostupný pro rostliny uvolňovaný z kompostu během prvního roku po aplikaci .....	31
Tabulka 22 Střední hodnoty a standardní odchylka hmotnosti sušiny a obsahu fosforu v nadzemní i podzemní biomase a celkový odběr P celou rostlinou v každé nádobě .....	31
Tabulka 23 Výsledky parametrů testovaných kompostů .....	32

## Seznam grafů

Graf 1 Schéma zpracování kalů s využitím kompostování .....	11
Graf 2 Průměrné zjištěné hodnoty v testovaných surovinových skladbách – kvalitativní znaky .....	14
Graf 3 Průměrné obsahy živin v kompostech dle surovinové skladby.....	15

## Seznam obrázků

Obrázek 1 Technologie kompostárny na volné ploše s traktorovým překopávačem kompostu .....	8
Obrázek 2 Technologie kompostárny na volné ploše s aktivním provětráváním ventilátory (technologie Hantsch) .....	9
Obrázek 3 Schéma propojení technologií .....	10
Obrázek 4 Orientační zkouška vlhkosti .....	39
Obrázek 5 Řeřichový test – postup .....	43

## 1 ÚVOD

Inovace technologie kompostování zahrnuje postupy – management procesu pro technologické i technické vybavení zařízení kompostárny s návazností na další technologie – systémy sklizně nebo sběru tříděného biologicky rozložitelného odpadu / surovin, čistírny odpadních komunálních vod, spalovny a technologie pyrolýzy.

Nová technologie tak umožňuje komplexní recyklaci obnovitelných zdrojů živin (dusík, fosfor) a především organické hmoty (uhlíku) v oběhovém hospodářství v místě vzniku těchto zdrojů. Nová technologie řeší harmonizaci podmínek pro zvýšení kvality kompostu (stabilita, zralost) jako takového, včetně kompostu obohaceného o další živiny (dusík, fosfor) s ověřenými parametry pro účinné využití kompostu v půdě – zamezení ztrát živin jejich únikem do spodních vod, zvýšení přístupnosti živin pro rostliny, zlepšení kvality půdy – fyzikální vlastnosti (snížení degradace – sucho, eroze). Výstupem inovované technologie kompostárny je kompost s definovanou trvale vysokou kvalitou a doporučení pro konkrétní použití, především v zemědělství.

Legislativní podmínky v současné době nestanovují zcela jasná pravidla pro proces kompostování, proto v praxi často dochází k nesrovnalostem na straně uživatelů kompostu (zemědělci) a producentů kompostu (kompostáren). Protože je kompostování především biologický proces je nutné doplnit některé parametry pro kompost, který pak bude možné definovat jako:

- **komplexní organické hnojivo nezpochybnitelné kvality**
- **bezpečné hnojivo pro využití v ochranných pásmech vod**
- **organické hnojivo s významným příspěvkem pro zlepšování kvality půdy**

## 2 Metodika pro testování kvality technologie / kvality provozu kompostárny

Kompostování je proces, kde za aerobních podmínek dochází k rozkladu organické hmoty a jejich přeměna na humusové látky. Výsledkem kompostování je především převedením nestabilních organických surovin na stabilní / zralý produkt – kompost, což doprovází snížení objemu a hmotnosti, snížení obsahu vody a potlačení nežádoucích vlastností. Dochází k činnosti mikroorganismů (enzymatické systémy) a rozkládají se vyšší organické sloučeniny na jednodušší. Pro zajištění podmínek optimálního průběhu rozkladných reakcí je nezbytné splnit několik technologických předpokladů.

Metodika stanovuje požadavky a zásady managementu kvality, podle kterých se provoz kompostárny řídí a monitoruje:

- **provozní postupy kompostárny (zvolená technologie, kapacita)**
- **kvalita vstupních surovin (chemické, fyzikální a biologické vlastnosti) – včetně původu a charakteru – rostlinný nebo živočišný (jakou technologií vstupní surovina vznikla)**
- **receptura zakládky – surovinová skladba**
- **příprava surovin před založením kompostu a jejich skladování**
- **doba kompostování**

- **provozní řízení procesu kompostování (monitoring teplot, kyslíku, vlhkosti, struktury)**
- **kvalita kompostu včetně účelu využití – konečná zralost**

### 3 Kritické body procesu kompostování – podmínky a parametry monitoringu procesu a kvality kompostu

Pro standart sledování procesu kompostáren byla stanoveny kritické body, které ovlivňují průběh procesu a kvalitu kompostu:

1. **Vstupní suroviny – kvalita** v souladu se zvolenou technologií kompostárny (kapacita, hygienizace)
2. **Skladování a předúprava** – drcení, prosévání, míchání, chlazení, homogenizace, receptura zakládky
3. **Tvorba zakládky – vedení** vytvořené zakládky kontinuálně, jednorázově
4. **Řízení a monitoring zakládek** - systém provzdušňování, zvlhčování (teplota, vlhkost, čas)
5. **Hygienizace** – časový průběh v režimu teplot
6. **Dozrávání** – časový průběh v režimu teplot, snížení potřeby provzdušňování
7. **Finální úprava a skladování** - prosévání, třídění, vzorkování, testování, klasifikace druhu produktu – kompostu – zralost kompostu
8. **Evidence procesu / parametry**
  - *příjem vstupních surovin* – odděleně dle původu, sušina, t/den
  - *tvorba zakládky*
    - parametry surovinové skladby – obsah organické hmoty, celkový dusík, vlhkost - dle kvality v tunách na zakládku celkem a dle jednotlivých surovin,
    - k výpočtu jednotlivých surovinových skladeb bylo použito software „CD Kompostér“ (pomůcka ZERA – není součástí projektu INTEKO)
  - *řízení zakládek* – čas (zahájení a ukončení kompostovacího procesu),
    - parametry struktura - na počátku založení, průběžně vlhkost, teplota, četnost provzdušňování, zvlhka (kvalita vody) – v režimu fází kompostovacího procesu - hygienizace a dozrávání
  - *hygienizace* - teplotní režim intenzivní fáze v čase (dodržení teplot souvisle v časovém limitu), datum zahájení intenzivní fáze = zahájení kompostovacího procesu
  - *dozrávání* – teplotní režim v čase (teplota v zakládce koresponduje s teplotou okolí min. po dobu 10 ti dnů), snížení intenzity provzdušňování = datum ukončení kompostovacího procesu
  - *vzorkování, test kvality kompostu a jeho účel využití*
    - kvalitativní znaky kvality kompostu - základní vlastnosti, živiny (chemické testy), biologické vlastnosti (test zralosti)
    - preventivní znaky kvality - hygienická kritéria (mikrobiální testy), nežádoucí vlastnosti (klíčivost semen plevelů), anorganické polutanty (chemické testy)

- *marketing / certifikace procesu kompostárny* – dokumentace materiálového toku procesu kompostárny – evidence produkce kompostu a jeho kvality s doporučením vhodnosti jeho využití

Tabulka 1 Parametry – procesní schéma kompostárny

Kritické kontrolní body	Parametr	Hodnota	Stanovení
1	<b>Vstupní suroviny</b> - informace o kvalitě v souladu s technologií kompostárny Přijetí	přijetí a odmítnutí surovin, separace nečistot	doloží provozovatel kompostárny vlastní <b>evidenci</b> o příjmu vstupních surovin
2	<b>Skladování a předúprava</b> drčení, prosévání, míchání, chlazení, homogenizace	vlhkost 40 - 60 % struktura 30 - 40 % C : N 20 - 30 : 1	vlhkost, struktura, C : N
3	<b>Tvorba zakládky</b> druh vytvořené zakládky kontinuálně, jednorázově	způsob značení zakládky	doloží provozovatel vlastní <b>evidenci</b> zakládky
4	<b>Řízení zakládek</b> zvlhčování, systém provzdušňování	teplota, vlhkost , čas	doloží provozovatel vlastní <b>evidenci</b> zakládky
5	<b>Hygienizace / intenzivní fáze</b>	teplota, vlhkost, čas	doloží provozovatel vlastní <b>evidenci</b> zakládky
6	<b>Dozrávání</b>	teplota	doloží provozovatel vlastní <b>evidenci</b> zakládky
7	<b>Finální úprava a skladování</b> prosévání, klasifikace druhu produktu	vzorkování, kontrola produktu,	test kvality, <b>evidence</b>
8	<b>Marketing</b> certifikát a doporučení implementace	dokumentace materiálového toku / evidence produkce každého druhu kompostu	doloží provozovatel dle vlastní <b>evidence</b> produkce kompostu a kvality



## 4 Inovační technologie kompostování – zakládání a průběh kompostovacího procesu

### 4.1 Technologie kompostování

Pro testování kvality technologie – inovace technologie – byly zvoleny dva typy kompostáren s technologickým vybavením, které se v praxi nejčastěji využívají na obou stranách hranice:

- kompostování na volné ploše v pásových hromadách – překopávačem kompostu
- kompostování na volné ploše v pásových hromadách – ventilátory

Zajištění kompostovacího procesu musí mít u všech technologií stejný princip. Musí být zajištěny podmínky pro ovlivňování nebo řízení procesu kompostování – kontrolovaný mikrobiální proces za příznivých ekonomických ukazatelů. Technologie se mohou lišit pouze intenzitou probíhajících dějů.

**Důležitou podmínkou je velikost hromady / zakládky a struktura surovinové skladby pro dosažení toku kyslíku / vzduchu do zpracovávaných surovin. Tím je dosaženo provzdušnění i bez nároků na mechanickou manipulaci.**

#### 4.1.1 Technologie na volné ploše s traktorovým s překopávačem kompostu

Jedná se o technologii kompostování, kdy je pro zajištění aerobního prostředí v zakládce využit překopávač kompostu. Překopávače kompostu mohou být nesené traktorem s pohonem od hřídele traktoru, mostové s vlastním pohonem, nebo frézové s oběma typy pohonu. Rozhodující je velikost překopávače, jeho šířka a výška, které určují velikost zakládky na ploše. Monitoring průběhu procesu je individuální, vždy však musí zahrnovat monitoring teplot. Aerace v průběhu intenzivní fáze je zajištěna zvoleným typem překopávače, dozrávání probíhá na plochách k tomu určeným a provzdušnění je zajištěno mechanicky, např. nakladačem.



Obrázek 1 Technologie kompostárny na volné ploše s traktorovým překopávačem kompostu



#### 4.1.2 Technologie na volné ploše s ventilátory

Technologie se spodním provzdušňováním využívá pro vytvoření aerobního prostředí systém provzdušňovacích kanálů v podlaze kompostovací plochy a vzduch je vháněn pomocí elektrických ventilátorů. Technologie umožňuje v procesu kontinuální monitoring teplot a obsahu kyslíku v základce. Na základě tohoto monitoringu jsou ventilátory buď spínány automaticky při poklesu obsahu kyslíku nebo na základě nastavení chodu ventilátorů v časovém režimu. Tato technologie má vysoké požadavky na přípravu kvalitní surovinové skladby. Aerace v průběhu první fáze procesu je zajištěna vháněním vzduchu pomocí centrifugálního dmychadla přes potrubní systém, který je uložen v podlaze (obr. 2), fáze dozrávání pak probíhá na ploše k tomu určené a provzdušnění je zajištěno mechanicky, např. nakladačem.



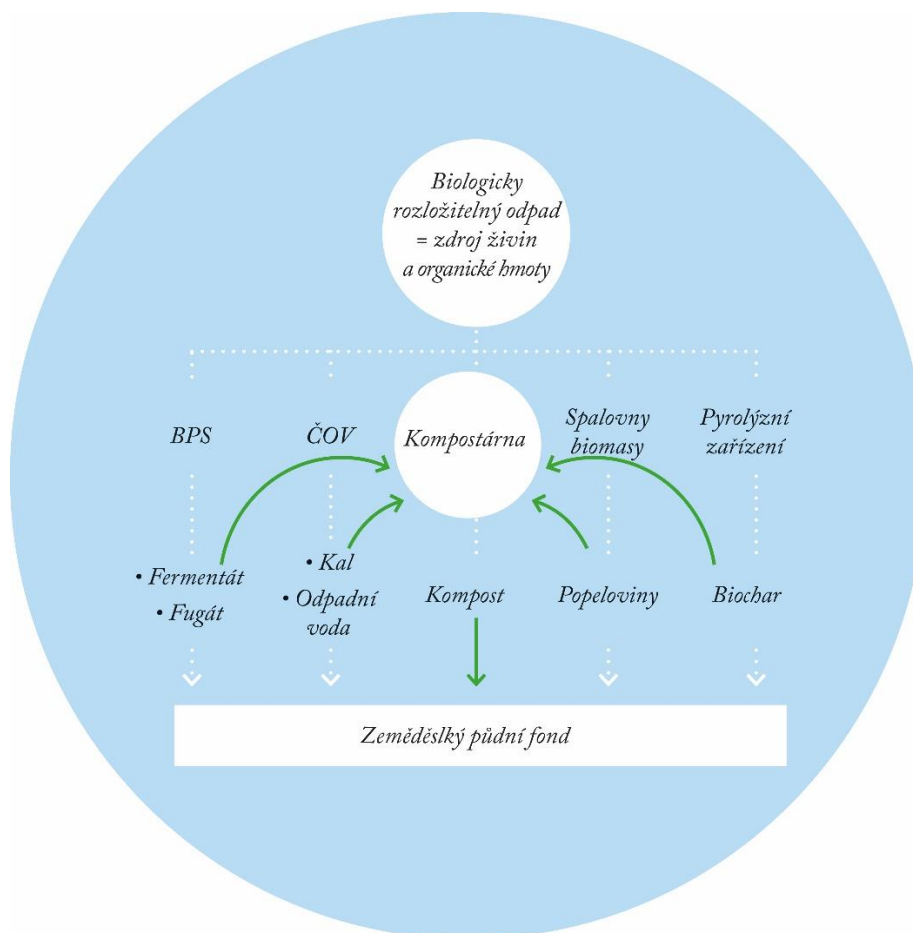
Obrázek 2 Technologie kompostárny na volné ploše s aktivním provětráváním ventilátory (technologie Hantsch)

#### 4.2 Testované technologie a jejich výstupy – zdroj dalších živin – fosfor, dusík a organická hmota

Nová technologie kompostování zahrnuje postupy – management procesu, pro technologické a technické vybavení zařízení kompostárny s návazností na další technologie – systému sběru nebo sklizně biologicky rozložitelných surovin, spalování nebo karbonizaci čistírenských kalů (obrázek 3). Inovovaná technologie kompostování tak umožňuje komplexní recyklaci obnovitelných zdrojů živin (dusíku, fosforu) a organické hmoty (uhlík) v místě vzniku těchto zdrojů. Harmonizace všech technologií zajistí zvýšení kvality výstupů s ověřenými parametry pro:

- zpřístupnění živin rostlinám (dusík, fosfor)
- zamezení ztrát živin (kvalita spodních vod)
- snížení degradace půdy – uhlík (sucho, eroze)

Pro možnost definování kvality kompostu a doporučení jeho konkrétního využití je potřeba standardizovat postupy procesu.



Obrázek 3 Schéma propojení technologií

#### 4.2.1 Technologie – třídění a sběr bioodpadu – biologicky rozložitelný komunální odpad

Systémy sběru a třídění bioodpadů v obcích jsou jedním ze základních prvků ovlivňujících následný management procesu na kompostárně, především díky tomu, že biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) je objemově největší složkou v surovinové skladbě většiny zařízení. Kvalita třídění a frekvence svozu tak ovlivní jak vlastní proces kompostování, tak ekonomickou stránku procesu (náklady na drcení a přípravu surovinové skladby).

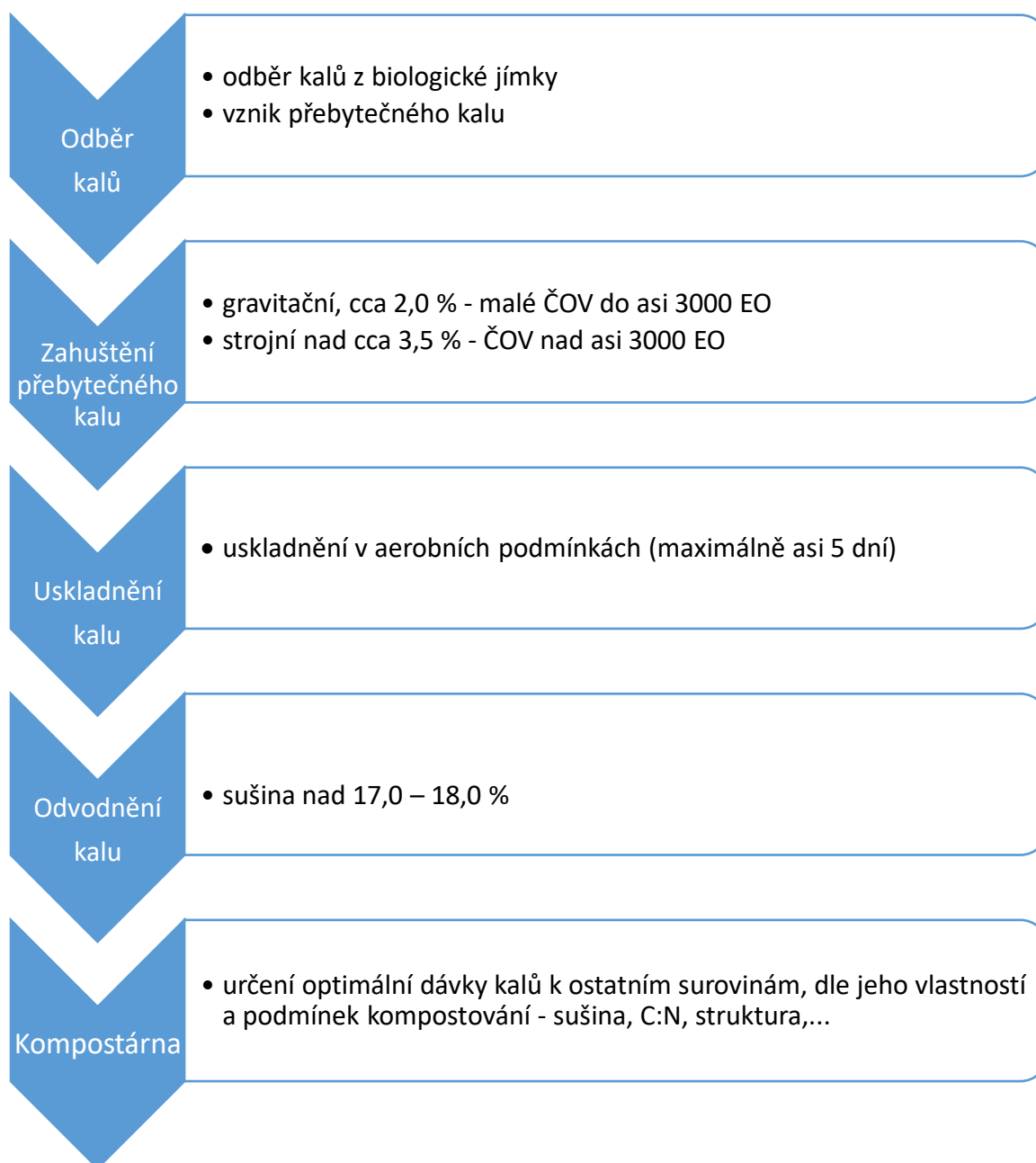
Pro kvalitní proces je třeba v systémech sběru nastavit:

- oddělený sběr jednotlivých složek BRKO dle původu (dřevní hmota, rostlinné zbytky z domácností, BRKO s obsahem VŽP)
- frekvenci svozu
- velikost nádob

#### 4.2.2 Technologie – čistírny odpadních komunálních vod – kal

Konečné vlastnosti kalů z komunálních ČOV jsou do značné míry ovlivněny technologickou konfigurací biologického stupně ČOV, technickým vybavením a způsobem provozu těchto zařízení. Průběh kompostování může být potom ovlivněn jejich konečným složením, které lze nejlépe kvantifikovat pomocí běžně sledovaných technologických parametrů ČOV a metody jejich závěrečného zpracování v kalovém hospodářství ČOV, před případnou distribucí ke konečnému zpracování do kompostárny.

Optimální řešení zpracování kalů s využitím kompostování znázorňuje graf 1.



Graf 1 Schéma zpracování kalů s využitím kompostování

Pro ČOV s anaerobní kalovou koncovkou je kompostování kalů méně vhodné z důvodu obvykle velkých objemů produkce a nároků na logistiku vstupní suroviny, riziko těžkých kovů.

V projektu INTEKO byly pro testy použity kaly z produkce ČOV s následující technologií:

- mechanicko-biologická čistírna pracující na principu nízké zátěžové aktivace s úplnou stabilizací kalu a biologickým odbouráním dusíku procesem biologické nitrifikace a denitrifikace s kapacitou 1 400 a 2 200 EO.

#### 4.2.3 Technologie – pyrolýza – biouhel

Jedná se o termické zpracování organických materiálů (čistírenských kalů) za nepřístupu vzduchu a podstatou tohoto procesu je zahřátí materiálu na teplotu, která přesáhne mez jeho chemické stability. Pro možnost následného využití výstupu pro kompostování a kvalitní recyklaci živin (fosfor) je důležitá kvalita zvolené pyrolýzní technologie – především důraz na průběh teplot pro zajištění zdravotní nezávadnosti (bezpečnosti).

V projektu INTEKO byly testovány dva typy biouhlu, a to z rostlinné biomasy a z čistírenských kalů. Jednotlivé procesní postupy jsou popsány níže.

Proces karbonizace rostlinné biomasy:

- Vlastní proces termochemické přeměny biomasy na uhlí je označován jako suchá destilace či karbonizace. Jde o nízkoteplotní pyrolýzu, tedy chemickou reakci, při níž dochází za teplot mezi 420–470 °C bez přístupu vzduchu ke vzniku pyrolýzních plynů, dehtů, pyrolýzních vod a tuhého zbytku – uhlí. Reakční doba je 15–20 min. Výtěžky jednotlivých produktů pyrolýzy se mohou lišit podle složení pyrolýzované biomasy, rychlosti ohřevu.

Proces karbonizace čistírenských kalů:

- Proces karbonizace je kontinuální a využívá princip postupného spalování. Samotný kal není spalován, ale je nejdříve zplyněn při teplotě 550 °C až 600 °C, poté je přívodem řízeného množství vzduchu karbonizován. Zařízení umožňuje nastavení základních procesních parametrů jako je teplota, celková doba karbonizace, množství primárního vzduchu. Následně je v reaktoru procesní plyn, uvolňující se zplynováním vstupního materiálu, spalován při teplotě 1 250 °C (bezplamenná oxidace). Hořák je umístěn mimo reaktor v oddělené spalovací komoře. V důsledku tohoto postupu je potlačena tvorba problematických látek, jako je kondenzát nebo dehet, protože procesní plyn není ochlazen, ale zoxidován ve spalovací komoře.

#### 4.2.4 Technologie – spalovna kalů z čistíren odpadních komunálních vod – popel

Řízené spalování odpadů má v komunální oblasti významnou funkci hygienickou, zamezující šíření přenosných nemocí v odpadech – snížení mikrobiální nebezpečnosti. V případě spalování čistírenských kalů lze následně díky kompostování (mikrobiální činnosti) zpřístupnit využitelnost živin (především fosforu) pro rostliny.

V projektu byl na straně partnera BFA testován popel ze spalovny, která je vybavena technologií:

- Spalování - 2 rotační pece, 2 pece s fluidním ložem a další 2 fluidní kotle. Spaliny jsou čištěny suchou cestou. Odpadní vody ze spalovny jsou odváděny na městskou ČOV. Spalovna zpracovává nebezpečný odpad a odpad z domácností (spalování v rotačních pecích) a kaly z čistíren odpadních vod (spalování v pecích s fluidním ložem). Z přijatých odpadů jsou ihned odebrány vzorky, které zpracovává vlastní laboratoř, sledovány jsou obsahy těžkých kovů, halogenů, bod vzplanutí, obsah vody a obsah sušiny, výhřevnost a nespalitelný zbytek, radioaktivita. Po získání výsledků jsou odpady upravovány. Kaly z ČOV, které mají na příjmu cca 3% sušiny, jsou odvodňovány na odstředivkách, následně spalovány v pecích s fluidním ložem při teplotě cca 950°C. Tato spalovna ročně zpracuje přes 225 000 t čistírenských kalů.

#### 4.3 Kvalita vstupních surovin kompostovacího procesu

Pro splnění všech procesních požadavků kompostárny na výrobní technologii, kvalitu výsledného kompostu a vlivu na životní prostředí je nutné znát kvalitu vstupních surovin – parametry:

- fyzikální, chemické a mikrobiologické.

Tyto parametry ovlivňují sestavení výsledné surovinové skladby a volbu technologie zpracování jako takové. Znalost vlastností biologicky rozložitelných surovin je úzce spojená se schopností určit jejich vhodnou skladbu pro založení a optimální průběh procesu kompostování. Uvedené vlastnosti s rozsahem parametrů je nezbytné znát před založením zakládky jako faktor pro monitoring průběhu kompostovacího procesu.

Tabulka 2 Vlastnosti surovinové skladby pro optimální průběh kompostovacího procesu

Parametr	Jednotka	Optimální rozsah
vlhkost	%	30 - 60
obsah organických látek	%	min. 20
obsah celkového N	%	min. 0,5
C : N		20 - 40 : 1
pórovitost	%	30 - 40

##### 4.3.1 Testované surovinové skladby

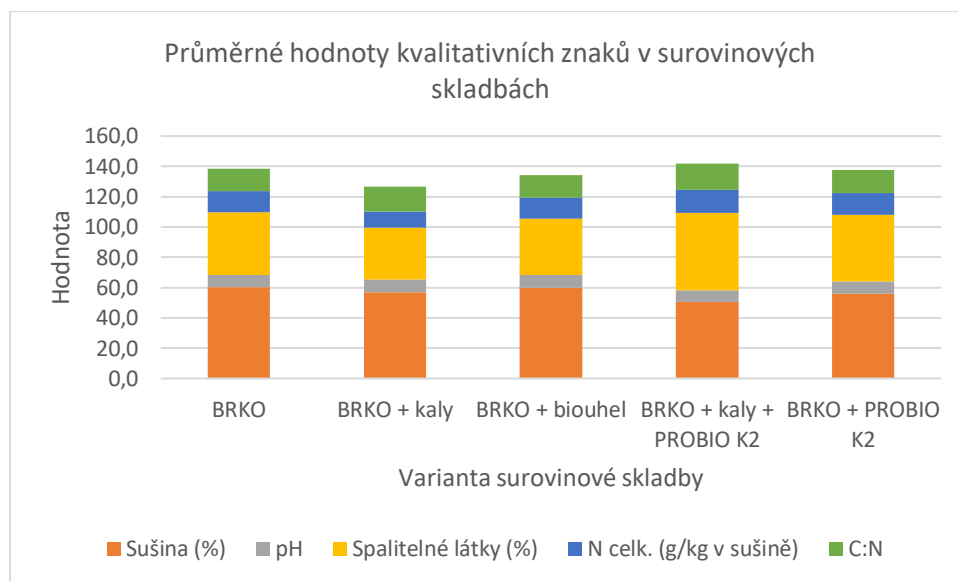
- biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) – zdroj ze systému třídění a sběru
- čistírenské kaly – zdroj z čistíren komunálních odpadních vod
- biouhel – zdroj pyrolýzní technologie
- popel – zdroj spalovna čistírenských komunálních odpadních vod
- testovaná aditiva (aktivní činidla)
  - PROBIO – K2 – aplikace PROBIO-K2 – průměrně 6 kg na 10 t vstupní surovinové skladby

#### 4.3.2 Kvalita testovaných surovinových skladeb

V tabulce 3 jsou uvedeny průměrné hodnoty kvalitativních znaků u jednotlivých variant surovinových skladeb testovaných zakládek v rámci projektu. Graf 2 tyto hodnoty znázorňuje graficky. Trend těchto testů naznačuje, že surovinová skladba s využitím čistírenských kalů a přísadkem PROBIO K2 obsahuje nejvyšší množství organické hmoty a má širší poměr C: N.

Tabulka 3 Průměrné zjištěné hodnoty v testovaných surovinových skladbách – kvalitativní znaky

Průměrné hodnoty - vstupní surovina / dle surovinové skladby	BRKO	BRKO + kaly	BRKO + biouhel	BRKO + kaly + PROBIO K2	BRKO + PROBIO K2
Sušina (%)	60,4	57,1	59,7	50,7	56,0
pH	8,1	8,1	8,8	7,4	8,2
Spalitelné látky (%)	41,3	34,5	37,0	51,3	43,9
N celk. (g/kg v sušině)	13,9	10,5	14,0	15,2	14,3
C:N	15,0	16,5	15,0	17,3	15,3



Graf 2 Průměrné zjištěné hodnoty v testovaných surovinových skladbách – kvalitativní znaky

#### 4.3.3 Testované surovinové skladby pro zvýšení obsahu živin – fosfor

Surovinová skladba má vliv nejenom na proces kompostování, ale i na kvalitu výsledného produktu – kompostu. Kompost je komplexní organické hnojivo, které má proporce živin pozitivních pro půdu i rostliny. Podporuje rovnoměrný příjem živin rostlinami, ostatní nevyužitá živiny jsou půdními mikroorganismy ukládány do organických forem jejich vlastních buněk (jsou imobilizovány) a vytváří tak jejich potenciální zásobu výborně chráněnou proti vyplavování a volatilizaci. V tabulce 7 je uvedena přístupnost základních živin pro rostliny.

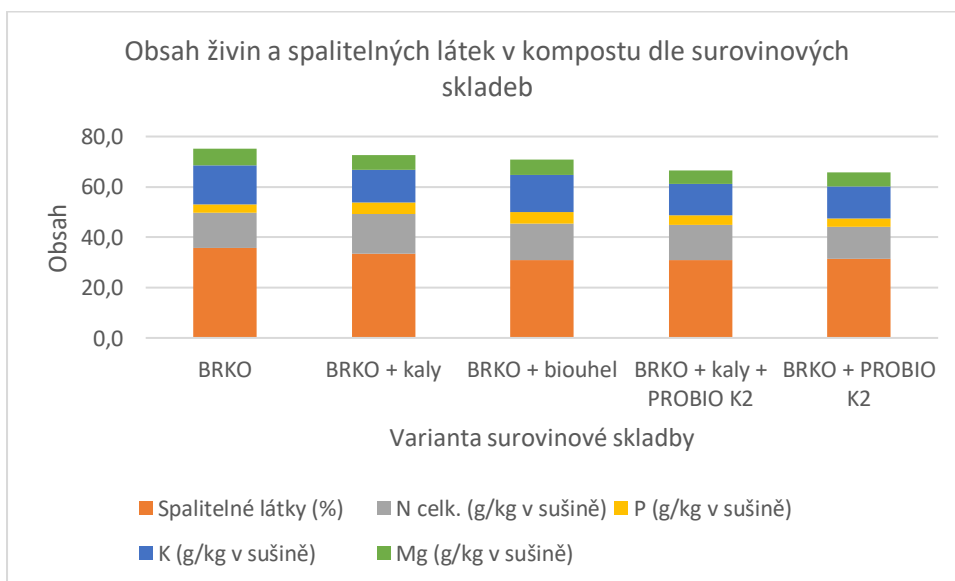
V tabulce 4 jsou znázorněny použité složky jednotlivých surovinových skladeb testovaných zakládek. Tabulka 5 a graf 2 ukazují jednak průměrné obsahy živin a také průměrné obsahy organické hmoty (spalitelné látky) u hotového kompostu v závislosti na surovinové skladbě. Nejvyšší obsah živin vykazuje surovinová skladba BRKO + kaly a BRKO + biouhel.

Tabulka 4 Varianty surovinové testované surovinové sklady

Pokusné zakládky						
suroviny	zakládka	BRKO	kaly	biouhel	popel	aditiva
surovinová skladba	1	x				
	2	x	x			
	3	x		x		
	4	x	x			x
	5	x				x
	A	x			x	

Tabulka 5 Průměrné obsahy živin a spalitelných látek v jednotlivých surovinových skladbách

Průměrné hodnoty - kompost / dle surovinové skladby	BRKO	BRKO + kaly	BRKO + biouhel	BRKO + kaly + PROBIO K2	BRKO + PROBIO K2
Spalitelné látky (%)	35,8	33,6	30,8	30,8	31,4
N celk. (g/kg v sušině)	13,9	15,6	14,5	14,0	12,8
P (g/kg v sušině)	3,3	4,7	4,8	3,8	3,2
K (g/kg v sušině)	15,5	12,9	14,7	12,5	12,7
Mg (g/kg v sušině)	6,6	5,9	6,1	5,4	5,6



Graf 3 Průměrné obsahy živin v kompostech dle surovinové skladby



#### 4.4 Technické a technologické zásady kompostárny pro uplatnění testovaných zdrojů fosforu a organické hmoty pro získání výstupu s definovanou kvalitou

Mikrobiální společenstva jsou hlavními činiteli, podílející se na kompostovacím procesu. Aby bylo dosaženo vysoké biodegradabilní aktivity, je třeba optimalizovat podmínky procesu tak, aby vyhovovaly co nejlépe dekompoziční činnosti přítomného mikrobiálního společenstva. Mikrobiální činnost je závislá na níže uvedených chemických a fyzikálních faktorech kompostovaných surovin, které ji přímo ovlivňují.

##### 4.4.1 Teplota

Teplota je funkcí procesu kompostování a je tedy možné z jejího průběhu určit dobu zralosti kompostu. Vyšší teploty jsou důsledkem činnosti mikroorganismů. Neklesne-li teplota na konci kompostovacího procesu na teploty okolního prostředí, kompost nelze považovat za zralý, protože neobsahuje dostatečné množství stabilních organických látek.

Teplota je hlavním faktorem v procesu kompostování, měla by mít následující průběh:

- termofilní fáze – teploty jsou vyšší než 40°C – intenzivní fáze / hygienizační fáze
- mezofilní fáze – teplota se pohybuje v rozsahu 10 - 40°C – dozrávání

Tabulka 6 Limitní teploty pro hygienizaci v průběhu kompostovacího procesu

Teplotní režim	
teplotní limit	časový profil
≥ 70°C	Souvisle po dobu min. 3 dny
≥ 65°C	Souvisle po dobu min. 5 dní
≥ 60°C	Souvisle po dobu min. 7 dní
≥ 55°C	Souvisle po dobu min. 14 dní

Optimální teplota pro rozklad organických látek je dána především druhem surovin, protože organické látky se rozkládají při různých teplotách. Teplota vyšší než 55 °C je nutná pro likvidaci:

- nežádoucích vlastností (klíčivost semen plevelů)
- patogenních mikroorganismů

Kromě výše dosažené teploty je nutné zohlednit i dobu, po kterou se udrží v průběhu procesu kompostování (viz. tabulka 6).

V tabulce 7 jsou uvedeny teplotní průběhy kompostovacích procesů jednotlivých surovinových skladeb testovaných v rámci projektu.

Tabulka 7 Průměrné hodnoty teplotních režimů / technologie / suroviny / zralost

Technologie	Vstupní suroviny	Teplotní režim intenzivní fáze (°C souvisle – počet dnů)				index zralosti
		≥ 70°C min. 3 dny	≥ 65°C min. 5 dnů	≥ 60°C min 7 dnů	≥ 55°C min. 14 dnů	
Překopávač	BRKO	4	17	28	32	7
	BRKO+ kaly	8	24	36	39	7
	BRKO + biouhel	8	27	30	35	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	7	18	21	22	7
	BRKO + PROBIO K2	7	19	23	29	6
Ventilátor	BRKO	6	19	20	24	5
	BRKO+ kaly	9	16	25	38	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	6	20	38	62	7
	BRKO + PROBIO K2	2	13	18	19	5

#### 4.4.2 Vlhkost

Vlhkost ovlivňuje životní procesy mikroorganismů. Voda je důležitá pro transport živin, umožňuje pohyb mikroorganismů a slouží jako medium pro chemické reakce. Množství vody uvolněné díky mikrobiální aktivitě je větší než její odpařování.

Tabulka 8 rekapituluje průběh vlhkosti v testovaných zakládkách v jednotlivých fázích kompostovacího procesu.

Tabulka 8 Průběh vlhkosti v zakládkách dle surovinové skladby a technologie – průměr

Technologie	Vstupní suroviny	Proces / vlhkost %			Index zralosti
		vstup	proces	kompost	
Překopávač	BRKO	40,1	35,6	52,1	7
	BRKO+ kaly	42,9	35,2	35,2	7
	BRKO + biouhel	40,3	36,5	43,1	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	49,3	41,4	33,4	7
	BRKO + PROBIO K2	44,0	36,7	35,2	6
Ventilátor	BRKO	40,1	36,9	40,8	5
	BRKO+ kaly	42,9	31,8	37,3	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	49,3	46,9	39,6	7
	BRKO + PROBIO K2	44,0	30,4	32,7	5

Optimální vlhkost kompostu se pohybuje v rozmezí 50 – 60%. Vlhkost kompostu je v korelaci s:

- množstvím dodaného vzduchu
- strukturou surovinové skladby

#### 4.4.3 hodnota pH

Optimální hodnota pH pro činnost mikrobiální ho společenstva je v rozmezí 6- 9, tedy blízké neutrální hodnotě. Hodnota pH se během procesu kompostování mění v závislosti na právě probíhajících dějích. Tabulka 9 znázorňuje hodnoty pH v procesu kompostování u testovaných zakládek a závislost na indexu zralosti.

Tabulka 9 Změny pH v procesu v závislosti na kvalitě surovin

Technologie	Vstupní suroviny	Proces / hodnota pH			index zralosti
		vstup	proces	kompost	
Překopávačem	BRKO	8,1	8,5	8,9	7
	BRKO+ kaly	8,1	8	7,7	7
	BRKO + biouhel	8,8	8,9	8,9	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	7,4	8,3	8,3	7
	BRKO + PROBIO K2	8,2	8,8	8,7	6
Ventilátor	BRKO	8,1	8,5	8,7	5
	BRKO+ kaly	8,1	7,8	7,6	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	7,4	7,6	7,8	7
	BRKO + PROBIO K2	8,2	8,6	8,5	5

#### 4.4.4 Poměr C: N

K základním živinám, které jsou obsaženy v kompostu, patří uhlík (C), dusík (N), fosfor (P), draslík (K) a stopové prvky. Jejich obsah ovlivňuje:

- hnojivou hodnotu kompostu
- kvalitu výsledného kompostu
- správný průběh kompostovacího procesu – poměr C : N

Během mikrobiální aktivity dochází k uvolňování CO<sub>2</sub> do atmosféry, množství uvolněného CO<sub>2</sub> se úměrně snižuje s dobou zrání (poklesem teplot).

Při nižším poměru C : N dochází k:

- snadnějšímu rozkladu organické hmoty a vyšším emisím CO<sub>2</sub>
- ztrátám dusíku ve formě amoniaku (především při zásaditém pH)

Při širším poměru C: N, kdy do 20 je poměr užší, nad 20 širší, dochází k:

- zpomalení kompostovacího procesu
- ztrátám dusíku ve formě amoniaku

Ztráty dusíku snižují hnojivé účinky kompostu.

Tabulka 10 Průměrný poměr C: N v testovaných kompostech / zralost

Technologie	Vstupní suroviny	Proces / C : N			index zralosti
		vstup	proces	kompost	
Překopávačem	BRKO	14	12	12	7
	BRKO+ kaly	15	12	12	7
	BRKO + biouhel	11	11	11	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	12	11	11	7
	BRKO + PROBIO K2	12	11	10	6
Ventilátor	BRKO	14	12	12	5
	BRKO+ kaly	15	13	11	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	12	16	11	7
	BRKO + PROBIO K2	12	13	14	5

Tabulka 11 Hnojivé účinky kompostu

Technologie	Vstupní suroviny	Kvalita kompostu		Index zralosti
		NH <sub>4</sub>	NO <sub>3</sub>	
Překopávačem	BRKO	4,45	286,58	7
	BRKO+ kaly	2,65	420,80	7
	BRKO + biouhel	0,00	545,00	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	1,30	147,00	7
	BRKO + PROBIO K2	31,21	669,50	6
Ventilátor	BRKO	73,30	445,00	5
	BRKO+ kaly	652,30	102,50	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	132,39	281,30	7
	BRKO + PROBIO K2	17,25	547,50	5

#### 4.4.5 Obsah vzdušného kyslíku

Dodávka vzduchu je důležitá za účelem:

- vytvoření aerobního prostředí pro mikrobiální činnost
- snížení vlhkosti při zpracování vlhkých surovin
- regulace teplot

Metody – technologie pro zajištění přísunu vzduchu:

- překopávání překopávačem kompostu / speciální technika
- distribuce vzduchu pomocí ventilátoru

Obsah O<sub>2</sub> by neměl klesnout pod 2%. Při nedostatku vzduchu vzniká v základce anaerobní prostředí, které se vyznačuje zápachem – organické kyseliny, metan, amoniak a další.

V projektu INTEKO byl metodikou stanoven minimální počet překopávek a doby provzdušňování na:

- technologie překopávky - minimální počet překopávek v průběhu intenzivní fáze na 10.
- technologii provětrávání ventilátory - nastavení kontinuálního provětrávání v cyklech chodu ventilátorů – 2 minuty v chodu 10 minut klid (130 min. provzdušňování / den)

Tabulka 12 Průměrné počty překopávek a doby provětrávání u jednotlivých surovinových skladeb

Technologie	Vstupní suroviny	Četnost překopávek / doba provzdušňování		Index zralosti
		proces	dozrávání	
Překopávačem	BRKO	10	1	7
	BRKO+ kaly	13	1	7
	BRKO + biouhel	12	1	8
	BRKO + kaly + PROBIO K2	13	1	7
	BRKO + PROBIO K2	11	1	6
Ventilátor	BRKO	prům. 130 min/den	1	5
	BRKO+ kaly	prům. 240 min/den	1	6
	BRKO + kaly + PROBIO K2	prům. 240 min/den	1	7
	BRKO + PROBIO K2	prům. 130 min/den	1	5

#### 4.4.6 Pórovitost, zrnitost a velikost částic

Pórovitost a struktura souvisí s fyzikálními vlastnostmi surovin (velikost, tvar, konzistence). Ovlivňují proces kompostování – obsah vzduchu. Pórovitost je definovaná jako poměr objemu dutin

k celkovému objemu kompostované hmoty. Struktura vypovídá i o pevnosti částic a jejich odolnosti proti zhutnění.

## 4.5 Průběh kompostovacího procesu

### 4.5.1 Technologie kompostování

Průběh kompostovacího procesu je u všech technologií stejný, co se výrazně liší je intenzita vedení procesu kompostování.

### 4.5.2 Velikost zakládky

Velikost zakládky (plocha a objem) je důležitý faktor ve vztahu k zajištění difuze plynů v zakládce. Je přímou závislostí ke struktuře surovinové skladby a zajištění provzdušnění zpracovávaných surovin. Poměr mezi povrchem a objemem zakládky (1 – 2 m<sup>2</sup> povrchu na 1 m<sup>3</sup> objemu)

Tabulka 13 Poměr zralosti kompostu k velikosti zakládek (technologii) a délce procesu

Technologie	Fáze procesu	Tvar zakládky	Velikost zakládky				index zralosti
			šířka	výška	objem zakládky (t/zakládku)	doba procesu / dny	
Překopávač mostový	příprava s uložením	krecht	15	2,5	100	30	8
	intenzivní	trojúhelníkový profil	3	1,7	10	70	
	dozrávání	krecht	15	2,5	100	60	
	hotový kompost	krecht	15	2,5	60	x	
Překopávač frézový	příprava	krecht	10	3	100		7
	intenzivní	krecht	7	3	300	90	
	dozrávání	krecht	15	3	200	270	
	hotový kompost	krecht	10	3	200	x	
Ventilátor	příprava	krecht	15	2,5	100	30	6
	intenzivní	krecht	6	2	20	70	
	dozrávání	krecht	15	2,5	100	60	
	hotový kompost	krecht	15	2,5	60	x	

#### 4.5.3 Příprava, skladování a předúprava surovin

Tyto procesy jsou v kompostování velmi důležité a vedou k optimální:

- zrnitosti - velikosti částic a homogenitě surovinové skladby, rozmělněním a nadrcením dochází k destrukci vstupních surovin a tím ke zvětšení oxidační plochy pro mikroorganismy a díky tomu se biodegradabilní proces urychluje
- rovnováhy živin C : N (v rozmezí 20 – 40) a obsahu vlhkosti vstupních surovin (v rozmezí 50 – 60%) pro podporu mikrobiální aktivity.
- uskladnění před vlastním založením zakládky (vznik surovinové skladby)
  - oddělené skladování podle C : N
  - skladovat suroviny pouze s nízkou vlhkostí (do 40%)
  - suroviny s úzkým poměrem C : N a vlhkostí nad 40% neskladovat a ihned založit do zakládky
- čas před úpravou a vytvořením zakládky

#### 4.5.4 Doba kompostování – kompostování, stabilizace a zrání

Čas na přeměnu organických materiálů na zralý kompost je závislá na mnoha faktorech:

- poměr C : N
- vlhkost
- teplota
- množství dodaného vzduchu
- druh a kvalita surovin
- zvolená technologie

Vytváření podmínek pro řízený mikrobiální rozklad a následná stabilizace kompostu:

- intenzivní / aktivní fáze – časově - teplotní režim a pravidelné provzdušňování k zajištění dostatku kyslíku / vzduchu
- celý proces trvá 30 + 60 – 180 dnů

#### 4.5.5 Monitoring průběhu kompostovacího procesu

Zabezpečení optimálních podmínek pro existenci a činnost mikroorganismů je základní podmínkou pro správný průběh kompostovacího procesu. Optimální podmínky lze zajistit pravidelným monitorováním:

- **obsahu kyslíku a vlhkosti** pro zachování aerobního prostředí během celé doby kompostování.
- měřením **teplot**, která je charakteristická pro jednotlivé fáze kompostování a úzce souvisí s intenzitou činností specifických skupin mikroorganismů
- dosažení a udržení požadované teploty na určitý čas je nutné pro **hygienizaci** kompostovaných surovin

Znalost optimálních a monitorovaných aktuálních hodnot (fyzikálních, chemických, mikrobiologických vlastností kompostovaných surovin) umožňuje včas provést vhodný zásah do kompostovacího procesu a poskytuje informace o ukončení kompostovacího procesu.



#### 4.5.6 Hodnocení kvality kompostu

Doba kompostování – zrání kompostu od jeho založení až po jeho optimální ukončení může být pro každou technologii rozdílná.

Kritéria pro zralost kompostu (hotového kompostu) a ukončení kompostovacího procesu

- orientační zkouška o ukončení procesu
  - barva hnědá a ž černá
  - drobtovitá až hrudkovitá struktura
  - nevykazuje pachy
  - vůně po lesní půdě
- procesní zkouška
  - ustálení teplot – výše teploty koresponduje s okolím podle klimatických podmínek v posledních 14 dnech kompostovacího procesu
- test kvality kompostu
  - chemické a fyzikální hodnocení kompostu – základní vlastnosti, obsah živin, anorganické polutanty
  - stanovení biologické vlastnosti kompostu – index zralosti
  - hygienická kritéria kompostu – stanovení indikátorových mikroorganismů
  - nežádoucí vlastnosti

Tabulka 14 Parametry hodnocení – testy dle současné legislativy v ČR

Kritéria jakosti	Parametr	Jednotka	Odkaz
základní vlastnosti	Spalitelné látky	% v suš.	vyhl.č. 474/2000
	C : N		
	vlhkost	%	
	pH		
živiny	dusík (N) celkový	% v suš.	vyhl.č. 474/2000
	NH <sub>4</sub> -N, NO <sub>3</sub> -N	% v suš.	
	fosfor (P) celkový	% v suš.	
	draslík (K) celkový	% v suš.	
	hořčík (Mg) celkový	% v suš.	
biologické vlastnosti	aerobní biologická stabilita		nestanovuje národní legislativa ČR

Tabulka 15 Preventivní znaky kvality i kompostu

Kritéria jakosti	Parametr	Mezní hodnoty / odkazy
hygienická kritéria	<i>Salmonella spp.</i>	vyhl.č. 341/2008, tab. č. 5.4
	Termotolerantní koliformní bakterie	
	enterokoky	
nežádoucí vlastnosti	semena plevelů	2 semena na litr
	nerozložitelné příměsi	Max. 2 %
anorganické polutanty	As	limit koncentrace pro 1. skupinu kvality vyhl. č. 474/2000 o stanovení požadavků na hnojiva, limity koncentrace pro 2. skupinu kvality dle vyhl. č. 341/2008
	Cd	
	Cr	
	Cu	
	Hg	
	Ni	
	Pb	
	Zn	
	PCB	limit koncentrace dle vyhl. č. 341/2008 pro 2. skupinu
	PAU	

#### 4.5.7 Konečná úprava a uskladnění kompostu

Separace a úprava dle konečného využití kompostu. Nadsítná frakce může být využita zpět do procesu, je ovšem třeba dbát na možnost koncentrace znečištění nerozložitelnými příměsemi.

## 5 Metodika procesu kompostování a kvalita kompostu

### 5.1 Cíl metodiky

Nová technologie monitoringu kvality kompostu jako produktu kompostování zahrnuje standardizaci postupu, managementu procesu pro technologické a technické vybavení zařízení kompostárny s možností návaznosti na další technologie – čistíren odpadních komunálních vod, spaloven, pyrolýz a umožňuje tak komplexní recyklaci obnovitelných zdrojů živin, především organické hmoty (uhlíku), dusíku a fosforu. Nové technologie řeší harmonizaci podmínek pro zvýšení kvality procesu kompostování a tím i kvality výstupu – kompostu.

Důležitým faktorem nové technologie je:

- zvýšení účinnosti kompostovaných živin v půdě – přístupnost živin pro rostliny v půdě
- využití a dostupnost fosforu z kalů (čistírna odpadních vod) – surový kal, popel ze spalování kalů v monospalovně, biouhel z pyrolýzy kalů
- zamezení nebo snížení ztrát živin únikem do spodních vod
- stanovení nových parametrů pro hodnocení kvality kompostu – standardizace kompostu

### 5.2 Vlastní popis metodiky

#### 5.2.1 Technologie – zásady kompostování pro získání výstupu s definovanou kvalitou procesu a kompostu

Zvolená technologie kompostování musí svým technickým vybavením a vedením procesu zabezpečit základní princip procesu kompostování – fáze hygienizace a zároveň platné právní požadavky.

##### 5.2.1.1 Velikost zakládky

Důležitou podmínkou vedení procesu je velikost hromady / zakládky a strukturnost surovinové skladby pro dosažení toku kyslíku / vzduchu do zpracovávaných surovin vzhledem ke zvolené technologii.

##### 5.2.1.2 Uložení a předúprava vstupních surovin

Uložení přijatých surovin a jejich předpříprava je jedním ze základních kroků pro kvalitní proces kompostování. Tyto kroky zahrnují:

- uložení před vlastním založením zakládky (vznik surovinové skladby)
  - oddělené skladování podle C : N
  - skladovat suroviny pouze s vyšší sušinou (nad 40%)
  - suroviny s úzkým poměrem C : N a nízkou sušinou pod 40% neskladovat a ihned založit do zakládky
- předúprava
  - drcení
    - úprava velikosti surovin zajistí zvětšení plochy pro mikroorganismy
    - zajistí optimální strukturnost surovinové skladby 30 – 40%
  - úprava vlhkosti

- optimální vlhkost surovinové skladby je v rozmezí 30 – 65%
- vlhkost lze upravit přidávkem surovin s vyšším obsahem vlhkosti do surovinové skladby nebo vodou ze záchytné jímky, či jiného zdroje

#### 5.2.1.3 Kvalita vstupních surovin

Pro splnění všech procesních požadavků kompostárny na výrobní technologii, kvalitu výsledného kompostu a vlivu na životní prostředí musí kvalita surovinové skladby splňovat následné parametry:

- poměr C: N (30–35 :1)
- vlhkost (30–65 %)
- strukturnost (30–40 %)
- obsah organické hmoty (min. 20 %)

Pro provoz kompostárny je třeba brát zřetel na:

- kvalitu a v jaké technologii vznikla (třídění, svoz, sklizeň, spalovna, čistírna odpadních vod, bioplynová stanice, atd.)
  - cizorodé látky (nerozložitelné příměsi)
  - patogeny
  - rizikové prvky
- množství jednotlivých druhů surovin v čase – technologie a kapacita kompostárny

#### 5.2.1.4 Doba kompostování

Doba kompostování je důležitým faktorem pro dosažení potřebného stupně stability kompostu a optimalizace ekonomiky provozu kompostárny:

- Intenzivní fáze kompostovacího procesu je odvislá od:
  - kvality surovinové skladby (vlhkost, struktura, C: N)
  - intenzity procesu kompostování zvolené technologie (kvalita přípravy surovinové skladby, zajištění aerobních podmínek)V průměru trvá fáze hygienizace časovém rozsahu do 30 dnů
- Fáze dozrávání je odvislá od:
  - průběhu – kvality intenzivní fáze, jak je dodržen homogenně teplotní režimV průměru tato fáze časovém rozsahu min. 60 dní.

#### 5.2.1.5 Monitoring průběhu kompostovacího procesu

Monitoring procesu je důležitým parametrem pro určení průběhu procesu a hygienizace surovin. Z tohoto pohledu je nutný monitoring teplot a vlhkosti a jejich evidence v listu zakládky.

měření teplot

- intenzivní fáze – denně (minimálně v pracovní dny)
- fáze dozrávání – 1x týdně

měření vlhkosti

- vlhkoměr nebo sensoricky (pěstní zkouška)
- intenzivní fáze denně v průběhu hygienizačních teplot, následně 1 x týdně do poklesu teplot pod 55°C

Tabulka 16 Teplotní režimy hygienizace

Teplotní program	
teplotní limit	časový profil
≥ 70°C	Souvisle po dobu min. 3 dny
≥ 65°C	Souvisle po dobu min. 5 dní
≥ 60°C	Souvisle po dobu min. 7 dní
≥ 55°C	Souvisle po dobu min. 14 dní

## 5.2.2 Standardizace kvality kompostu

V metodice je uplatňovaná potřeba zjišťování dalších informací / parametrů proti stávající a platné legislativě z důvodu standardizace a uplatnění kompostu především v zemědělské praxi.

### 5.2.2.1 Parametry standardizace kvality kompostu nové metodiky

Tabulka 17 Parametry hodnocení kvality kompostu

Parametry kvality	jednotky	mezí hodnota
vlhkost	% hm	30 - 65
spalitelné látky	% hm. v suš.	min. 20
N celkem	% hm. v suš.	
poměr C : N	hodnota	
pH	hodnota	
nerozložitelné příměsi > 20 mm	%	< 3,0
nežádoucí příměsi > 5 mm	%	< 0,5
klíčivost semen v 1 l kompostu	ks	≤ 3
plasty > 2 mm	% hm v suš.	dle rozsahu použití v tab.č. 6
plasty > 20 mm	% hm v suš.	dle rozsahu použití v tab. č. 6
max zrno / třídění / síťování	mm	
vodivost	mS . cm <sup>-1</sup>	

test stability varianta z	test řeřichou (%)	>80
	index zralosti / stupeň	min. 6
	mg O <sub>2</sub> .g <sup>-1</sup> suš.	max. 10
	faktor samozahřívání	min 4

Tabulka 18 parametry hodnocení hnojící kvality kompostu

Znaky kvality (mg.kg-1 v suš.)	jednotky	hodnota
P205 celkový	mg.kg <sup>-1</sup>	
K2O celkový	mg.kg <sup>-1</sup>	
MgO celkový	mg.kg <sup>-1</sup>	
N-NO <sub>3</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	
N-NH <sub>4</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	
N <sub>min.</sub>	mg.kg <sup>-1</sup>	
Na celkový	mg.kg <sup>-1</sup>	
S celkový	mg.kg <sup>-1</sup>	

Tabulka 19 Limitní koncentrace vybraných rizikových látek a prvků

Parametr	Jednotka	Limit přípustného množství
As	mg.kg <sup>-1</sup>	30
Cd	mg.kg <sup>-1</sup>	2
Cr	mg.kg <sup>-1</sup>	100
Cu	mg.kg <sup>-1</sup>	150
Hg	mg.kg <sup>-1</sup>	1,0
Ni	mg.kg <sup>-1</sup>	50
Pb	mg.kg <sup>-1</sup>	100
Zn	mg.kg <sup>-1</sup>	600

Tabulka 20 Kritéria pro kontrolu účinnosti hygienizace prováděné na základě sledování indikátorových mikroorganismů

Indikátorový mikroorganismus	jednotky	nález	
<i>Salmonella</i> sp.	nález v 50 g	negativní	
<i>Escherichia coli</i> ** nebo enterokoky **	KTJ v 1 gramu	1	< 5.10 <sup>3</sup>
		4	< 10 <sup>3</sup>
Geohelminți	nález ve 125 g	negativní	

\*KTJ – kolonie tvořící jednotku

\*\*s odebraných 5 ti vzorků musí minimálně stanovený počet vyhovět předepsaným limitům

### 5.2.3 Interpretace analýz kompostu na obsah dusíku a stupně zralosti

Pro uplatnění kompostu jako bezpečného hnojiva se standardizovanou kvalitou metodika nastavila zásadní parametry, které definují ukončení kompostovacího procesu a stabilitu kompostu s obsahem a formou živin, která může být reálně bilancovaná v půdě / potřebě rostlin.

Standardizovaná kvalita kompostu:

- **kromě N kompost dodává i jiné makro a mikroživiny**, které jsou důležité pro výživu rostlin, včetně fosforu (P), draslíku (K), vápníku (Ca), hořčíku (Mg), síry (S), zinku (Zn), manganu (Mn), mědi (Cu), železa (Fe) a boru (B).
- **zralost a stabilita**
  - o Zralost je široká, subjektivní klasifikace, která popisuje vhodnost kompostu pro určité použití. Velmi nezralé komposty obsahují těkavé organické kyseliny a/nebo amoniak, který může rostliny zabít nebo poškodit.
  - o Stabilita je odolnost kompostu vůči dalšímu biologickému rozkladu.

#### 5.2.3.1 Procesní vlivy na stabilitu kompostu – výsledky testů - dostupnost dusíku rostlinám - formy dusíku a poměr C : N

Analýzy kompostu na obsah N (poměr C:N, celkový obsah N, amonný-N, nitrátový-N) mohou být použity pro:

- **hodnocení zralosti kompostu**
- **výpočet hodnoty potřebného dodatku N hnojiva kompostu**

##### 5.2.3.1.1 Amonný a nitrátový-N

Koncentrace amonného (NH<sub>4</sub>-N) a nitrátového-N (NO<sub>3</sub>-N) jsou ukazateli zralosti kompostu.

Vysoké koncentrace NH<sub>4</sub>-N (více než 500 mg/kg) a vysoké poměry NH<sub>4</sub>-N: NO<sub>3</sub>-N (vyšší než 10) ukazují, že kompost není vyzrálý nebo není zcela zkompostován. Při vysokých teplotách během kompostovacího procesu (vyšší než 55 °C) je organický N převeden na NH<sub>4</sub>, ale je zabráněno nitrifikaci (převodu NH<sub>4</sub> na NO<sub>3</sub>), což dovoluje nahromadění NH<sub>4</sub>. Když obsah NH<sub>4</sub>-N v kompostu přesahuje 1 000



mg/kg a pH přesahuje 7,5, je anorganický N ve formě amoniaku ( $\text{NH}_4$ ), který může citlivé rostliny poškodit.

Při nižších teplotách přítomných během fáze zrání bakterie aktivně přeměňují nahromaděný  $\text{NH}_4$  na  $\text{NO}_3$ . Poměr  $\text{NH}_4\text{-N}$  k  $\text{NO}_3\text{-N}$  tudíž se zráním kompostu klesá. U zcela vyzrálých kompostů je většina anorganického N přítomno ve formě  $\text{NO}_3$ .

#### 5.2.3.1.2 Poměr uhlíku a dusíku (C:N)

Poměr C:N v kompostu je nespolehlivým ukazatelem zralosti kompostu. Komposty, který obsahují velké množství mrvy nebo zeleného rostlinného materiálu (např. posekanou trávu) budou mít nízký poměr C:N bez ohledu na to, zda jsou plně zkompostované či nikoli.

#### 5.2.3.1.3 Hodnota náhrady dusíkatého hnojiva

##### 5.2.3.1.3.1 Dusík dostupný rostlinám: První rok po aplikaci kompostu

Organický N v kompostu je převeden na formy dostupné pro rostliny (amonný a nitrátový-N) mikrobiální aktivitou v půdě. Aplikace kompostu do půdy tudíž může nahradit část obvyklého N hnojiva dodávaného v rostlinné výrobě.

Poměr C:N v kompostu je dobrým celkovým ukazatelem rostlinám dostupného dusíku pro rostliny uvolňovaného z kompostu po jeho aplikaci do půdy. Inkubace kompostu v půdě a krátkodobé polní studie ukazují, že dusík dostupný rostlinám je obvykle ekvivalentem k -10 až +10 procentům celkového obsahu N v průběhu první růstové sezóny po aplikaci. Pokud je poměr C:N v kompostu vyšší než 20, může dojít k negativní dostupnosti dusíku rostlinám (zvýšená potřeba N hnojiva):

- *pokud je poměr C:N v kompostu od 10 do 20, kompost poskytuje malé množství dostupného dusíku rostlinám, ekvivalentní přibližně 5 procentům celkového obsahu N v kompostu, během první růstové sezóny po aplikaci.*
- *pokud je poměr C:N v kompostu nižší než 10, asi 10 až 20 procent celkového obsahu N je dostupné pro rostliny v průběhu první růstové sezóny po aplikaci.*

##### 5.2.3.1.3.2 Dusík dostupný rostlinám – dlouhodobě (2 nebo více let po aplikaci)

Dlouhodobější polní testovací průzkumy ukázaly, že jediná vyšší dávka aplikace kompostu zajistí pomalé uvolňování N na mnoho let. Přibližně je 3 až 5 procent N v kompostu ročně mineralizováno v průběhu 2 až 5 let následujících po aplikaci:

- až 10 % aplikovaného N v kompostu v prvním roce po aplikaci.
- v dalších letech 3–5 % za rok

Následující příklad ilustruje uvolňování očekávané po vysokoúrovňové aplikaci kompostu: Pro kompost s typickou objemovou hmotností ( $550 \text{ kg/m}^3$ ) a obsahem vlhkosti (50 %) platí, že optimální dávka  $3,7 \text{ m}^3$  kompostu aplikovaného na ha je ekvivalentem asi 35 suchých tun kompostu na ha. Pokud kompost obsahuje 2 % N (v základní sušině), jedná se o ekvivalent aplikace 603 kg celkového N na ha. Pro tento příklad:

- dusík dostupný rostlinám prvního roku je odhadován na 40,5 kg N/ha (do 10 % aplikovaného N v kompostu).

2 až 5 let následujících po aplikaci je uvolňování dusíku dostupného rostlinám odhadováno na 18 až 30 liber N/ha/rok (roční N dostupný rostlinám 3 až 5 % aplikovaného N v kompostu)

Tabulka 21 Odhadovaný dusík dostupný pro rostliny uvolňovaný z kompostu během prvního roku po aplikaci

Analýzy kompostu			Odhadovaný dusík dostupný rostlinám uvolňovaný z kompostu	
			během prvního roku po aplikaci	
Poměr C:N	Celkový N (% sušiny)	Nitrátový-N (ppm)	(% celkového N v kompostu)	(libry dostupného dusíku rostlinám /suchou tunu)
Více než 20	Nižší než 1	Nižší než 100	0	0
10–20	1–2	100–1000	5	1–2
Nižší než 10	Vyšší než 2	Vyšší než 1000	10	4+

Odhadované hodnoty dostupného dusíku rostlinám jsou platné pouze pro komposty, které jsou stabilní (tj. mají nízkou hodnotu respirace). Některé organické materiály prodávané jako „kompost“ toto kritérium nesplňují (např. sušený drůbeží trus).

### 5.2.3.2 Procesní vlivy na stabilitu kompostu – výsledky testů - dostupnost fosforu rostlinám

Výsledky testů ukazují, že kompost, směs kompostu s popelem z čistírenských kalů, směs kompostu s uhlím a rovněž nezpracovaný popel z čistírenských kalů z monospalování, vždy s vyšší dávkou hnojiv, dosahují nejvyššího účinku hnojení.

Tabulka 22 Střední hodnoty a standardní odchylka hmotnosti sušiny a obsahu fosforu v nadzemní i podzemní biomase a celkový odběr P celou rostlinou v každé nádobě

Varianta		Hmotnost sušiny nadzemní biomasy [g/nádoba]	Hmotnost sušiny podzemní biomasy [g/nádoba]	Obsah P v nadzemní biomase [g/nádoba]	Obsah P v podzemní biomase [g/nádoba]	Odběr P nadzemní a podzemní biomasou [mgP/nádoba]
Nula		27,2 (±4,1)	5,1 (±1,0)	29,2 (±4,6)	3,0 (±0,7)	32,2 (±4,2)
Surový fosfát	1. konc.	21,6 (±6,0)	4,2 (±1,1)	21,2 (±2,7)	3,1 (±0,6)	24,2 (±3,3)
	2. konc.	25,9 (±3,7)	5,5 (±1,2)	26,3 (±2,5)	3,8 (±0,5)	30,0 (±3,0)
Čistý popel z čistírenských kalů	1. konc.	42,6 (±6,2)	8,8 (±0,9)	67,2 (±6,9)	7,3 (±0,6)	74,5 (±7,5)
	2. konc.	41,3 (±2,9)	8,2 (±1,2)	81,2 (±7,6)	9,4 (±1,3)	90,5 (±8,6)
Kompost	1. konc.	35,6 (±3,0)	6,5 (±0,5)	46,2 (±2,8)	4,3 (±0,3)	56,8 (±21,4)
	2. konc.	41,2 (±3,1)	7,8 (±0,9)	69,9 (±4,5)	6,4 (±0,8)	76,3 (±5,0)

Kompost s 6 % popela z čist. kalů	1. konc.	36,8 (±1,9)	6,9 (±0,3)	42,3 (±7,9)	4,1 (±0,3)	46,4 (±8,2)
	2. konc.	40,8 (±2,6)	7,5 (±1,1)	69,8 (±5,8)	6,2 (±0,6)	76,0 (±6,2)
Uhel	1. konc.	34,2 (±3,4)	6,6 (±0,7)	41,4 (±4,9)	4,1 (±0,3)	45,5 (±5,1)
Kompostový uhel	1. konc.	34,1 (±3,7)	6,2 (±0,7)	33,5 (±5,7)	3,9 (±0,6)	37,4 (±6,0)
	2. konc.	47,3 (±4,8)	9,4 (±1,5)	66,9 (±4,5)	6,8 (±1,7)	73,7 (±4,5)

- popel z čistírenských kalů, který obsahuje malý podíl fosforu dostupného pro rostliny, vykázal velmi dobrý účinek hnojení. Fosfor v popelu z čistírenských kalů se vyskytuje v obtížně rozpustných sloučeninách vápníku, jako je whitlockit a hydroxyapatit, a ve vodě je prakticky nerozpustný [3]
- lehká půda (písčitohlinitá půda) je optimální pro uvolnění fosforu z popela z čistírenských kalů.
- kompost s popelem z čistírenských kalů se při pokusu nedocílilo vyššího účinku hnojení než u varianty, která byla hnojena jen kompostem,
- většina produktů s recyklovaným fosforem disponuje trvalým účinkem hnojení, protože až teprve v následné plodině se projevuje vyšší vliv na výnos.
- přímá aplikace biouhlu, který je vysoce porézní materiál s povrchovou plochou 200-500 m<sup>2</sup>/g je schopen přijímat až pětinasobné množství vody a rozpustných živin oproti vlastní hmotnosti. Pokud se do půdy přidá biouhel, odebere vodu ze svého okolí a látky, které jsou v ní rozpuštěné, proto se projevuje jen malý účinek hnojení.
- Kompostovaný biouhel naproti tomu obohatí kompost, projeví se jeho schopnost akumulovat vodu, vázat živiny a zvyšovat aktivitu mikroorganismů velmi pozitivně při procesu kompostování. [4]

### 5.2.3.3 Procesní vlivy na stabilitu kompostu - fáze kompostovacího procesu, který splnil podmínky pro standardizaci kompostu

Tabulka 23 Výsledky parametrů testovaných kompostů

Stádium zralosti kompostu	termofilní fáze (méně než 55 °C)	mezofilní fáze (40 °C)	fáze ochlazování (30 °C)	
	n=20	n=14	n=29	
Obecné parametry kompostu	Obsah vody [%]	41,47 (± 17,5)	36,9 (± 13,4)	45,2 (± 10,6)
	Vodivost [mS/cm]	1,77 (± 1,29)	1,51 (± 0,69)	1,26 (± 0,36)
	Obsah soli [g/l]	4,56 (± 2,77)	5,02 (± 2,36)	4,80 (± 1,33)
	pH [H <sub>2</sub> O]	8,3 (± 0,6)	8,3 (± 0,9)	8,4 (± 0,5)
	Koeficient humusu	35 (± 29)	27 (± 19)	19 (± 18)

Parametry zralosti kompostu	<b>NH<sub>4</sub>-N v extraktu CaCl<sub>2</sub></b> [mg/kg sušiny]	1094 (± 2908)	437 (± 1121)	39,3 (± 91,5)
	<b>NO<sub>x</sub>-N v extraktu CaCl<sub>2</sub></b> [mg/kg sušiny]	241 (± 352)	342 (± 355)	640 (± 382)
	<b>DOC ve vodném extraktu</b> [mg/l]	1518 (± 1784)	1140 (± 651)	734 (± 239)
	<b>Spotřeba O<sub>2</sub></b> [mmolO <sub>2</sub> /kgOM/h]	20,6 (± 19,1)	17,2 (± 16,5)	11,7 (± 5,8)
	<b>Index SOLVITA</b>	5 (± 2)	6 (± 1)	7 (± 1)
	<b>Body zralosti</b>	5,30 (± 2,89)	6,16 (± 2,15)	7,54 (± 1,53)

Sledované parametry procesu kompostování ve fázích procesu – termofilní fáze, mezofilní fáze a fáze dozrávání, se parametry zralosti kompostu v průměru chovají tak, jak je popsáno v literatuře.

Spotřeba kyslíku populací mikroorganismů a obsah DOC ve vodném roztoku od termofilní fáze až po fázi ochlazování neustále klesá. V průměru je spotřeba kyslíku v termofilní fázi kolem 21 mmol O<sub>2</sub>/kg OM/h a hodnotí se jako nestabilní. Spotřeba kyslíku 17 mmol O<sub>2</sub>/kg OM/h v mezofilní fázi označuje stále ještě nestabilní komposty. Teprve komposty ve fázi dozrávání, vykazují spotřebu kyslíku pro stabilní komposty.

Koncentrace amonného dusíku na počátku kompostovacího procesu výrazně překračuje obsah nitrátového dusíku. Narůstající nitrifikací ve fázi dozrávání však obsah nitrátového dusíku výrazně překračuje obsah amonného dusíku.

Index SOLVITA se zvyšuje s narůstající zralostí podle předpisů výrobce pro obsluhu. I když je koeficient humusu velmi závislý na výchozím materiálu, lze také zde rozpoznat pokles s narůstající zralostí kompostu.

Body zralosti se zvyšují podle očekávání s narůstající zralostí kompostu. Průměrný obsah vody ve vzorcích byl v termofilní fázi a ve fázi dozrávání lehce nad hodnotou minimálního obsahu vlhkosti 40 %. Průměrný obsah vlhkosti v mezofilní fázi byl kolem 37 %. Pro úspěšný proces kompostování je však zvlhčování nezbytné.

#### 5.2.3.3.1 kvalita vstupních surovin

Důležitým parametrem pro tvorbu surovinové skladby, který ovlivňuje stabilitu kompostu je:

- obsah forem dusíku a uhlíku vstupních materiálů (kal, biouhel, ..) a v jakém podílu jsou v surovinové skladbě obsaženy (podíl organické hmoty, celkového dusíku)
- dodržení vlhkosti v intenzivní fázi procesu, vlhkost by neměla klesnout pod 40%
- nesplněním uvedených podmínek se prodlužuje doba procesu kompostování a kompost nedosáhne stupně stability a může tak dojít
  - ke ztrátám živin – emise NH<sub>4</sub> v procesu kompostování,

- výsledný produkt – kompost bude obsahovat vyšší obsah minerálního dusíku  $\text{NH}_4 - \text{N}$ ), který může být započítán v rámci bilance živin jako rychle dostupný dusík pro rostliny

#### 5.2.3.4 Procesní vlivy na stabilitu kompostu - kvalita procesu kompostování a volba technologie

Technologie a její správné vedení ovlivňují kvalitu procesu kompostování.

- nejčtenější technologie, kterými jsou vybaveny kompostárny:
  - o na volné ploše s překopávačem různých konstrukcí, při němž je přísun kyslíku zajišťován pravidelným otáčením kompostované zakládky.
  - o nebo na volné ploše s provzdušňováním přes potrubní systém se ventilátory vhání vzduch do zakládek (tohoto principu využívají i polouzavřené boxy nebo uzavřené fermentory)
  - o „vermikompostování“ se při výrobě kompostu cíleně využívá schopnosti žížal
- technologie pracují vždy na stejném principu splnění základních podmínek kompostovacího procesu liší se pouze intenzitou procesu (dobou intenzivní fáze)

### 5.3 Srovnání novosti postupů

Metodika uvádí:

- kritická místa procesu kompostování, která zásadním způsobem ovlivňují vlastní proces a tím i kvalitu kompostu
- parametry pro hodnocení kvality kompostu, které jsou v současné době nadstandard k stávající legislativě, ale pro deklaraci bezpečného organického hnojiva a klasifikaci kompost pro jeho konkrétní využití.

Legislativní podmínky v současné době nestanovují jasná pravidla pro proces kompostování, proto v praxi často dochází k nesrovnalostem na straně uživatelů kompostu (zemědělců) a producentů kompostu (kompostáren). Metodika stanovuje chybějící standardy kvality procesu i kompostu, které by pomohly jednoznačně určit, zda výsledný kompost splňuje či nespĺňuje požadovanou kvalitu.

Metodika identifikuje potřebu praxe na vytvoření jednotného standardizovaného postupu procesu kompostárny, který by tak významným způsobem přispěl ke zlepšení celého systému zpracování a využití odpadů/surovin kompostováním - **tvorba jednotných pravidel, která umožní certifikovat provoz kompostáren, následně tedy standardizovat kvalitu kompostu, a to v souladu s doposud platnou českou legislativou.**

Vytvořená metodika významně usnadní práci zemědělským podnikatelům, provozovatelům kompostáren a v neposlední řadě také orgánům státní a veřejné správy, neboť nabídne nezávislé hodnocení výsledného produktu. Veřejné prostředky vynakládané na podporu kompostování

(zejména DZES) pak mohou být snáze cíleně směřovány pro podporu kompostu certifikované kvality, který bude:

- a) nezpochybnitelným kvalitním hnojivem
- b) bezpečným hnojivem pro využití v ochranných pásech vod
- c) významně přispívat ke zlepšování půdní kvality díky prokázanému obsahu důležitých surovin či jejich vhodné kombinace

#### 5.4 Popis uplatnění metodiky

Metodika je určena provozovatelům kompostáren, poradcům, kontrolním organizacím, státní správě MZE a MŽP. Metodika doplňuje stávající legislativu o standardy procesu a kvality kompostu, které jsou ověřeny výzkumem v ČR i zahraničí a praxí. Vytváří tak zahájení diskuze k doplnění legislativy nebo vytvoření systémů certifikace kompostáren s přidělením známky kvality, která bude pro zemědělce ověřenou jistotou kvality.

Standardy pro hodnocení procesu i kvality kompostu potřebují pro svou činnost také orgány státní a veřejné správy. Jedná se zejména o zástupce odborů životního prostředí obcí a krajů, dále kontrolní organizace (např. Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský - ÚKZUZ, Českou inspekci životního prostředí - ČIŽP, Státní veterinární zpravu – SVS a rovněž správy jednotlivých povodí řek. Ministerstvo zemědělství a Ministerstvo životního prostředí potřebují jasná pravidla, která by umožnila lépe chránit životní prostředí a zemědělskou půdu, podporovat dobrou zemědělskou praxi ve zlepšování kvality půdy a v neposlední řadě by přispěla k recyklaci přírodních surovin (např. fosforu, draslíku, uhlíku), v souladu s nejnovějšími prioritami EU.

#### 5.5 Ekonomické aspekty a přínos pro uživatele

Základní předpokladem ekonomické udržitelnosti provozu kompostárny a výroby organického hnojiva je technologická harmonizace logistiky – toku surovin (zdrojů organické hmoty) do zařízení kompostárny a jejich kvalita. Stanovením provozní metodiky kompostárny je dána její kapacita a technologické vybavení, které koresponduje s kvalitou vstupu a kvalitou výsledného kompostu. Správnost sestavení surovinové skladby podmiňuje procesní správnost kompostovacího procesu – hygienizace, průběh mineralizace a humifikace. Zvolené technické vybavení kompostárny musí zajistit uvedený postup.

## 6 Příloha – řízení a hodnocení kompostovacího procesu

### 6.1 Receptura zakládky

Receptura zakládky je důležitým parametrem pro kvalitní proces kompostování. Při sestavení receptury musí dodržet optimální poměr C:N, pH, vlhkost a strukturnost zakládky. V příloze 6.1 jsou uvedeny metodiky pro stanovení těchto parametrů, v kapitole 6.1.1 je uveden výpočet pro zařazení čistírenských kalů do receptury zakládky.

#### 6.1.1 Optimalizace surovin – kaly

Výpočet pro optimální množství čistírenských kalů v surovinové skladbě

Obecná rovnice pro výpočet vhodného množství reálných kalů (obsah sušiny 14 – 20%) do surovinové skladby:

$$\text{Množství kalu v 1 t surovinové skladby} = \frac{SL(\%) * S(\%) * 200}{1250}$$

Kdy:

SL = spalitelné látky (%)

S = sušina (%)

S tím, že max. doporučená dávka reálných čistírenských kalů (obsah sušiny 14 – 20%) je 40% hmotnostních.

#### 6.1.2 Metodika stanovení C: N

##### 6.1.2.1 Výpočet u jedné suroviny

- Pokud je znám % obsah uhlíku a dusíku dané suroviny, poměr C:N se stanoví dle vzorce:

$$C:N = \frac{\% C}{\% N}$$

- Současně, je – li znám poměr C: N, lze vzorec použít k výpočtu obsahu uhlíku a dusíku následovně:

$$\% C = \% N * (C:N)$$

$$\% N = \frac{\% C}{C:N}$$



- V případě, že je znám obsah spalitelných látek (SL) lze použít následující vztah:

$$\% C = 0,51 * \% SL + 0,48$$

- Při výpočtu optimální surovinové skladby je třeba dbát na správnou interpretaci laboratorních výsledků, kdy obsah dusíku bývá uveden v sušině. Pro přepočítání na skutečný obsah v surovině, je třeba zohlednit vlhkost:

$$\% N (\text{skutečná surovina}) = \frac{\% N \text{ sušiny} * (100 - \% \text{ vlhkosti})}{100}$$

[1]

#### 6.1.2.2 Výpočet poměru C:N u většího počtu surovin

$$C:N = \frac{[\%C1 * m1 * (1 - V1)] + [\%C2 * m2 * (1 - V2)] + \dots + [\%Cn * mn * (1 - Vn)]}{[\%N1 * m1 * (1 - V1)] + [\%N2 * m2 * (1 - V2)] + \dots + [\%Nn * mn * (1 - Vn)]}$$

- Kde:
- m1 = celková hmotnost první suroviny (kg)
  - m2 = celková hmotnost druhé suroviny (kg)
  - mn = celková hmotnost další n-té suroviny (kg)
  - V1, V2, ...Vn = vlhkost surovin 1,2,...n (%)
  - %C1, %C2, ...%Cn = procentické obsahy uhlíku v sušině u surovin 1,2,...n(%)
  - %N1, %N2, ...%Nn = procentické obsahy dusíku v sušině u surovin 1,2,...n(%)

[1]

## 6.2 Metodika stanovení vlhkosti

Vlhkost patří mezi parametry, které velkou měrou ovlivňují kvalitní průběh kompostovacího procesu. Ideální intervaly pro měření jsou:

- Při přípravě zakládky - po homogenizační překopávce
- V průběhu hygienizačních teplot – denně dle průběhu teplot
- Od ukončení intenzivní fáze až do fáze dozrávání 1x týdně



### 6.2.1 Laboratorní stanovení sušiny

Obsah sušiny se stanoví vážkově jako úbytek po vysušení vzorku při 105°C

Přístroje a pomůcky:

- elektrická a sušárna s automatickou regulací teploty v mezích  $\pm 2^\circ\text{C}$  s možností odvětrávání.
- Hliníkové (nebo skleněné) vysoušečky

Postup:

#### 1. Stanovení předsušiny

- Ze zkušební vzorku se odváží 100 Kdy:  $m_0$  = hmotnost váženky
- $m_1$  = navážka zkušební vzorku
- $m_2$  = hmotnost vysušené váženky se vzorkem – 500 g s přesností na 0,1 g ( $m_1$ ) do předem vysušené a zvážené misky ( $m_0$ ). Zkušební vzorek se rovnoměrně rozprostře a suší při teplotě 60 °C do dosažení zdánlivě suché hmoty (10–12 hodin)
- Potom se miska nechá volně na vzduchu vychladnout (vyrovnání vlhkosti s okolní atmosférou)
- Po zvážení ( $m_2$ ) se ihned celý vzorek rozemele
- Výpočet: Předsušina PS v % se vypočítá dle vzorce

$$PS (\%) = (m_2 - m_0) * \left(\frac{100}{m_1}\right)$$

Kdy:  $m_0$  = hmotnost váženky  
 $m_1$  = navážka zkušební vzorku  
 $m_2$  = hmotnost vysušené váženky se vzorkem

#### 2. Stanovení laboratorní sušiny

- Do vysušené a předem zvážené vysoušečky ( $m_0$ ) s přesností na 0,001 g se odváží asi 10 g zkušební vzorku ( $m_1$ ). Vysoušečka se vzorkem se vloží do vyhřáté sušárny na 105 °C, odklopí se víčko a suší se do konstantní hmotnosti – 3 hodiny.
- Po uplynutí této doby se vysoušečka uzavře víčkem, vloží se do exsikátoru a po vychladnutí (45 minut) se zváží s přesností na 0,001 g ( $m_2$ )
- Výpočet: Laboratorní sušina LS v % se vypočítá dle vzorce

$$LS(\%) = (m_2 - m_0) * \frac{100}{m_1}$$

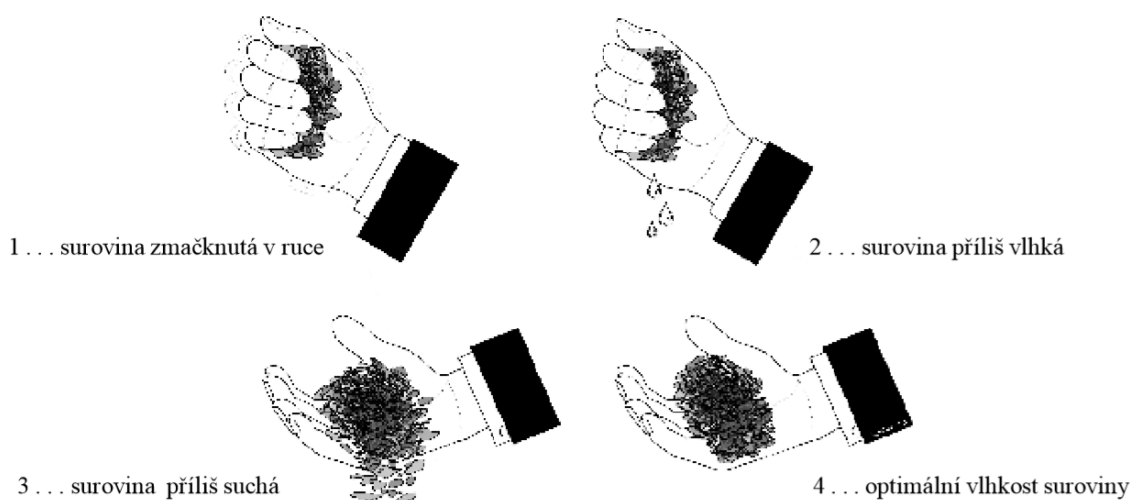
Kdy:  $m_0$  = hmotnost váženky  
 $m_1$  = navážka zkušební vzorku  
 $m_2$  = hmotnost vysušené váženky se vzorkem

#### 3. Celková sušina vzorku

$$\text{Celková sušina vzorku (\%)} = \frac{PS * LS}{100}$$

## 6.2.2 Orientační zkouška vlhkosti – pěstní zkouška

V případě nutnosti lze určit vlhkost kompostovaných surovin pomocí orientační zkoušky- tzv. pěstní zkoušky. K jejímu provedení je třeba vzít kompostovaný materiál do ruky a mačkat tak pevně, jak to jde. Při optimální vlhkosti se nesmí mezi prsty objevit voda. Při otevření pěsti musí však materiál zůstat pohromadě ve formě „knedlíku“. Je - li surovina příliš suchá, při otevření se opět rozpadne. Když je surovina příliš mokrá, objeví se při mačkání mezi prsty voda, pokud lze vymáčknout více než 1 kapku vody, je surovina příliš mokrá. Viz. obrázek 3. [1]



Obrázek 4 Orientační zkouška vlhkosti

## 6.3 Metodika stanovení struktury

Pomůcky:

- Plastový kyblík
- Voda
- Ruční váha

Postup:

1. Hmotnost prázdného kýmblu ( $m_1$ )
2. Kýmblík naplnit 10 l materiálu ( $v_1 = 10$  l)
3. Zvážit:
  - hmotnost kýmblíku s materiálem  $m_2$
  - výpočet hmotnosti materiálu v kg a hustoty v  $t/m^3$

$$\text{Hmotnost materiálu} = m_2 - m_1$$

$$\text{Hustota } \rho_1 = \frac{\text{hmotnost materiálu}}{v_1}$$

4. Materiál v kýmblíku sešlápnout
  - objem stlačeného materiálu  $v_2 = 7$  l
5. Přidat do materiálu vodu tak, aby byl ponořený, zvážit
  - Hmotnost  $m_3 = 7,2$  kg
6. Přebytečnou vodu slít
  - Hmotnost  $m_4 = 6,55$  kg
7. Výpočet

$$\text{Hmotnost } m = m_3 - m_4$$

$$\rho = \frac{m}{v_2}$$

$$\text{Struktura materiálu } v \% = \rho * 100$$

## 6.4 Měření teploty kompostu

Přístroje a pomůcky: zapichovací teploměr

Pro měření teploty v kompostovacích zakládkách se používají zapichovací teploměry (kontaktní) s různou délkou zapichovaného bodce, hodnoty je nutné zapisovat ručně nebo lze použít teploměr s přenosem dat. Při měření teplot se dodržují následující pravidla:

- Teplota kompostových zakládek vyšších než 2 m se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 1 m od povrchu zakládky
- Teplota nižších kompostových zakládek se měří ve středu zakládky v minimální hloubce 0,5 m od povrchu zakládky
- Vpich teploměru vést kolmo k povrchu hromady tak, aby mířil do jejího středu podle příčného tvaru
- Vzdálenost jednotlivých měřících míst (vpichů) je odvislý od celkové délky hromady (cca 5 m od sebe), přičemž minimální počet měřících míst na zakládku jsou 3

- Jednotlivá měřicí místa na zakládce je třeba označit a měřit vždy na těchto místech.
- Intervaly měření:
  - V průběhu hygienizačních teplot – denně
  - Od ukončení hygienizačních teplot po ukončení intenzivní fáze 1x za 3-4 dny
  - V průběhu fáze dozrávání 1x za týden

## 6.5 Měření obsahu kyslíku

Provzdušňování zakládek v průběhu kompostovacího procesu je hlavní zásadou kompostování. V praxi je měření obsahu vzdušného kyslíku v zakládce velmi problematické, pokud toto měření neumožňuje přímo zvolená technologie. Pro běžnou praxi lze využít následující jednoduchou metodu vztahu mezi obsahem kyslíku a mikrobiálním metabolismem.

Princip měření kyslíku:

- V případě dostatečného množství vzduchu je velká většina plyných produktů oxidována na látky, které téměř nezapáchají
- Pokud je z jakéhokoliv důvodu v zakládce nedostatečný obsah vzdušného kyslíku, plyné produkty metabolismu mikroorganismů nemohou být plně oxidovány a zakládka se projevuje kyselým až hnilobným zápachem

Dostupné metody pro určování obsahu kyslíku:

- Sorpční metoda – (např. přístroj TESTORYT, Sandberger) jednoduchý přístroj pro svoji funkci využívá speciální sorpční kapaliny, která v závislosti na parciálním tlaku kyslíku ve vzduchu mění svůj objem. Jedná se o velmi jednoduchou aparaturu, která ke svému chodu nepotřebuje elektrický proud, což dovoluje ji využívat skutečně v polních podmínkách. Měření trvá cca 3-5 min (díky mechanickému odsávání plynů)
- Elektrochemická metoda – (např. přístroj ASIN O<sub>2</sub>, ASEKO) je odolná elektrochemická sonda s elektrickým plynovým čerpadlem. Napájení el. proudem zajišťuje vestavěný akumulátor. Přístroj nevyžaduje složitou údržbu, naměřené hodnoty se zobrazují přímo na digitálním displeji. [1]

Časové intervaly měření obsahu kyslíku:

- Není metodicky stanoveno, vhodné je toto měření spojit s měřením teploty a dodržovat stejné časové intervaly

## 6.6 Test zralosti

Metody stanovení zralosti. Existuje mnoho metod pro stanovení zralosti, které lze rozdělit do 4 hlavních skupin:

- Fyzikální
- Chemické

- Rostlinné zkoušky
- Mikrobiální metody

Níže jsou uvedeny běžně používané metody určení zralosti kompostu.

### 6.6.1 Subjektivní metoda

Odhad, zda jde o čerstvou surovinu, či surovinu do jisté míry stabilizovanou lze provést i smyslově. Je třeba si uvědomit, že tato metoda je pouze orientační a měla by sloužit pouze k odhadu, zda je vhodné daný kompost testovat na zralost jinou metodou, na kterou budou vynaloženy finanční náklady.

K subjektivnímu stanovení mohou pomoci následující ukazatele:

- Nezralý kompost: má velmi patrnou původní strukturu; spíše zapáchá; na dotek je spíše teplý až horký; z hromady takového kompostu může stoupat vodní pára i za běžných povětrnostních podmínek; na povrchu jednotlivých částic jsou viditelné povlaky hub; nejsou přítomni půdní živočichové
- Zralý kompost: voní po lesní půdě; má drobtovitou strukturu podobnou půdě; má teplotu shodnou s okolní; pokud mají půdní živočichové ke zralému kompostu přístup, s oblibou ho kolonizují [1]

### 6.6.2 Test fytotoxicity (řeřichový test)

Jde o biologickou metodu hodnocení fytotoxicity výluhu vzorku indexem klíčivosti (IK) citlivé rostliny (řeřicha setá). Tento postup alespoň částečně eliminuje chyby vznikající při zjišťování stability finálního produktu kompostování pouze pomocí teploty. Znakem stability je sice teplota kompostu blízká teplotě okolí, nebo teplota alespoň nižší než 45 °C, viz ČSN 46 5735. Teplota kompostu však může být ovlivněna i jinými faktory, jakými jsou např. nízká vlhkost či nedostatek kyslíku.

Popisovaná metoda je založena na výpočtu indexu klíčivosti citlivé rostliny (řeřicha setá) v prostředí vodního výluhu kompostu. Velikost fytotoxicity, která je přímým odrazem obsahu toxických meziproductů, vznikajících při aerobním rozkladu organických odpadů, umožňuje kvalitativní ohodnocení intenzity rozkladu, kdy nepřítomnost fytotoxinů (IK kolem 100%) je ukazatelem zralého kompostu.

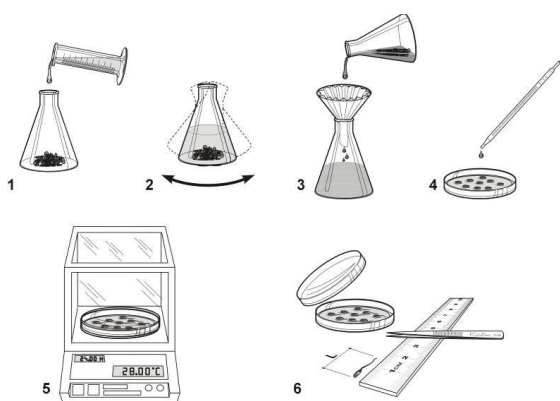
Postup zpracování vzorku (příprava vodního výluhu):

- Do vhodné nádoby (např.: kuželová Erlenmayerova baňka 500 ml s pryžovou zátkou) je třeba navážit 10 g zkoumaného vzorku a poté vlít množství destilované vody (ml), které je určeno jako násobek sušiny ve vzorku - (5 až 10) x % sušiny (např.: do vzorku o sušině 40 % je potřeba až 400 ml destilované vody). Nádoba se zazátkuje a vloží do horizontální třepačky, kde se po

zajištění a spuštění třepačky vzorek vyluhuje do destilované vody cca 2 hodiny. Pak je nutné výluh přefiltrovat v nálevce přes filtrační papír do kádinky k dosažení čirého extraktu.

Metodika vlastního testu (obr.4):

- Do Petriho misek o průměru 5 cm se vloží filtrační papír, který pokryje dno misky a ovlhčí se pipetou odměřeným 1 ml výluhu. Na takto upravený filtrační papír se pravidelně rozmístí 8 semen řeřichy seté. Pro každý vzorek je potřeba použít alespoň deseti kusů Petriho misek s 8 semeny (celkem tedy 80 semen) – 10 opakování. Připravené a uzavřené misky se vloží do termostatu, kde semena klíčí 24 hod za tmy při teplotě 28 °C. Současně s testovanými výluhy se do termostatu vloží také kontrolní vzorek pouze s destilovanou vodou.
- Po 24 hodinách se změří a posléze rutinně odhadnou délky všech kořínků. Kořínky u kontroly jsou dlouhé 4 – 9 mm. [1]



- 1 – naplnění kuželové Erlenmayerovy baňky vzorkem
- 2 – protřepání vzorku
- 3 – filtrace vzorku
- 4 – umístění semen na filtrační papír s výluhem na Petriho miskách
- 5 – vložení vzorku do termostatu
- 6 – měření délky kořínků

Obrázek 5 Řeřichový test – postup

### 6.6.3 NIRS

Jedná se o hodnocení biologické stability (zralosti) kompostu pomocí blízké infračervené spektrometrie (NIR). Tato analytická technika umožňuje určit v závislosti na kalibrační metodě daný parametr testované látky. Nižší absorpce záření v NIR spektroskopii způsobuje, že záření v blízké infračervené oblasti (o vlnové délce 650-2500 nm) proniká několik milimetrů do vzorku, což umožňuje analýzu složitých nehomogenních vzorků (kompostu) a navíc je možné provádět analýzy přímo bez úpravy vzorku (bez rozpouštění, ředění).

Postup zpracování vzorku a měření:

- Vzorek kompostu o objemu cca 300 ml se přeseje přes síto 10 x 10 mm, ve vhodné nádobě je vysušen při teplotě 45°C po dobu 7 dní do absolutní sušiny. Vysušený vzorek se pomele na laboratorním kulovém mlýnu. Takto připravený vzorek se měří na přístroji NIRS. Naměřené hodnoty jsou interpretovány pomocí analytického programu. Vzorky je možno uchovávat v uzavřených nádobách v chladu, suchu.

## 7 Použitá literatura

- [1] Plíva P. a kolektiv: Zakládání, průběh a řízení kompostovacího procesu, VÚZT Praha, 2006, ISBN 80-86884-11-2
- [2] Baab G. (2014): Haupt und Spurenelemente Teil 2: Das Nährelement Phosphor; Öko-Obstbau 2: 4-9
- [3] Kratz S. (2014): Methoden zur Abschätzung der Pflanzenverfügbarkeit von Phosphor aus Produkten der Abwasserreinigung; JKI – Institut für Pflanzenbau und Bodenkunde, Braunschweig,
- [4] Kammann C. & Glaser B. (2014): Wechselwirkung von Kompost und Pflanzenkohle – eine fruchtbare Beziehung? Müll und Abfall Fachzeitschrift für Abfall- und Ressourcen-wirtschaft; Ausgabe 03

## 8 Seznam zkratek

BPS	bioplynová stanice
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	biologicky rozložitelný odpad
C: N	poměr uhlík: dusík
CO <sub>2</sub>	oxid uhličitý
ČOV	čistírna odpadních vod
EO	ekvivalentní obyvatel (přepočtení kapacity ČOV)
g	gram
K	draslík
kg	kilogram
m <sup>2</sup>	metr čtvereční
m <sup>3</sup>	metr krychlový
Mg	hořčík
N	dusík
NIR	bližká infračervená spektrometrie (NIR – Near InfraRed)
O <sub>2</sub>	kyslík
P	fosfor
pH	vodíkový exponent; vyjadřuje, zda vodný roztok reaguje kyselou či naopak zásaditě
SL	spalitelné látky
suš.	sušina
VŽP	vedlejší živočišné produkty





Tento materiál byl vytvořen v rámci projektu ATCZ42 INTEKO

2019