



INTEKO ATCZ42

1.1. 2 Metodika testování zralosti kompostu
- faktor ovlivňující využití živin obsažených v
kompostu

Obsah

1	Úvod	4
2	Metodika testů procesu kompostování	5
2.1	Technologie	5
2.1.1	Kompostování na volné ploše v pásových hromadách – překopávačem kompostu	5
2.1.2	Kompostování na volné ploše v pásových hromadách – ventilátory	5
2.2	Surovinová skladba	5
1.	Biologicky rozložitelný odpad (rostlinného původu)	6
2.	Biologicky rozložitelný odpad + kaly z ČOV	6
3.	Biologicky rozložitelný odpad + biouhel	7
4.	Biologicky rozložitelný odpad + kaly ČOV + PROBIO K2	7
5.	Biologicky rozložitelný odpad (rostlinného původu) + PROBIO K2	8
3	Monitoring procesu kompostování	8
3.1	Metodika odběru vzorků	8
3.2	Metodika odběru vzorků	10
4	Metodika testování zralosti kompostu	10
4.1	Výsledky testů zralosti kompostu	11
5	Shrnutí – měření zralosti metodou NIRS a sumarizace doporučení pro posouzení kvality kompostu	19
5.1	Požadavky na úspěšný proces kompostování k zajištění zralého kompostu	19
5.1.1	Obecné parametry zralého kompostu	19
5.1.2	Kompostovací proces – 3 stádia monitoringu	20
5.1.3	Výchozí materiál	20
5.1.4	Technologie kompostování	20
6	Literatura	21

Seznam tabulek

Tabulka 1	Návrh - surovinová skladba 1	6
Tabulka 2	Surovinová skladba 1 - průměrné složení testovaných zakládek	6
Tabulka 3	Návrh - surovinová skladba 2	6
Tabulka 4	Surovinová skladba 2 - průměrné složení testovaných zakládek	6
Tabulka 5	Návrh - surovinová skladba 3	7
Tabulka 6	Surovinová skladba 3 - průměrné složení testovaných zakládek	7
Tabulka 7	Návrh - Surovinová skladba 4	7
Tabulka 8	Surovinová skladba 4 - průměrné složení testovaných zakládek	7
Tabulka 9	Návrh - surovinová skladba 5	8
Tabulka 10	Surovinová skladba 5 - průměrné složení testovaných zakládek	8

Tabulka 11 Odběry vzorků – základy kompostovacího procesu	8
Tabulka 12 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku kompostů, především kompostů z České republiky a Rakouska testovaných v rámci projektu	11
Tabulka 13 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů ve 3 různých stádiích kompostovacího procesu.....	14
Tabulka 14 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů tříděných podle výchozího materiálu	15
Tabulka 15 Střední hodnoty a standardní odchylky od obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů tříděných podle techniky kompostování.....	16
Tabulka 16 Výsledky analýzy kompostů z kompostárny ZERA při použití dvou různých technologií kompostování: rotátoru a ventilátoru, při dvou odběrech vzorků v různých fázích kompostovacího procesu v roce 2017 a 2018 (výchozí materiál: kontejner na biologický odpad	18

1 Úvod

Kompostování je biologická přeměna organických odpadů za kontrolovaných podmínek na relativně biostabilní produkt s vysokým podílem humusu, který pozitivně ovlivňuje úrodnost půdy (Marthur, 1991). Cílem je výroba stabilizovaného produktu, tedy takového produktu, který lze bez další úpravy skladovat a používat jako prostředek na zlepšení kvality půdy. V literatuře se v této souvislosti hovoří o stabilitě a zralosti kompostu. Stabilita přitom udává podíl již rozložené organické substance a výši aktivity mikroorganismů.

Zralost kompostu se naproti tomu vztahuje ke stupni rozložení fyto toxických substancí vznikajících při procesu kompostování, např. NH_3 nebo organické kyseliny s krátkým řetězcem, a k rostlinné snášenlivosti kompostu. Definice zralosti kompostu vychází z plánovaného účelu použití.

Při určování zralosti nebo stability kompostu uvádí literatura různé metody, např. rychlost absorpce kyslíku, organický uhlík rozpustný ve vodě a poměr nitrátového (NH_3 -) a amonného dusíku (NH_4^+). Tyto metody zahrnují různé a částečně se také překrývající aspekty. Protože chemické výzkumy na mokré cestě jsou z části spojeny s velkými náklady, **byl vyvinut integrovaný index zralosti kompostu označovaný jako „body zralosti“, který spojuje různé metody.** V dalším kroku by měly body zralosti sloužit jako referenční hodnoty modelu NIRS. V následujícím textu jsou popsány výsledky chemické analýzy českých kompostů na mokré cestě, které byly v rámci projektu testovány pro vytvoření českého kalibračního modelu NIRS.

2 Metodika testů procesu kompostování

2.1 Technologie

2.1.1 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách – překopávačem kompostu

- Příprava surovinové skladby: suroviny byly před namícháním nadrceny dle dané surovinové skladby – tab. č. 1–10
- Založení zakládky: jednorázově do zakládek (v 1,7 x š 3 m), množství tun / zakládka s provedením homogenizační překopávky
- Provzdušňování: dle monitoringu teplot, minimálně však 10x během hygienizace / intenzivní fáze
- Monitoring vlastního procesu
 - měření teplot
 - intenzivní fáze procesu – každý pracovní den, min. 3x týdně
 - dozrávání – min. 1x týdně
 - měření vlhkosti – min. 1 x týdně
- Úprava vlhkosti: zavlažování bude prováděno v případě potřeby vodou ze sběrné jímky
- Odběr vzorků pro monitoring kvality kompostu: viz. tabulka č. 11
- Evidence zakládky: každá zakládka bude na ploše označena cedulkou s číslem zakládky a bude veden evidenční list zakládky:
 - datum založení a ukončení intenzivní fáze, datum přesunu na plochu dozrávání a datum ukončení procesu
 - surovinová skladba, množství jednotlivých surovin, poměr C: N, přibližná vlhkost surovin při založení
 - monitoring celého kompostovacího procesu – měření teplot, závlaha, překopávka, popř. další operace.

2.1.2 Kompostování na volné ploše v pásových hromadách – ventilátory

- Provzdušňování: provzdušňování bude probíhat dle monitoringu kyslíku v zakládce a teplot automaticky softwarem (v případě, že bude nutné režim provzdušňování upravovat manuálně, budou vždy nastaveny intervaly provzdušňování na základě aktuální domluvy)

2.2 Surovinová skladba

K výpočtu jednotlivých surovinových skladeb bylo použito software „CD Kompostér“

1. Biologicky rozložitelný odpad (rostlinného původu)

Tabulka 1 Návrh - surovinová skladba 1

Surovina	Množství (t) - překopávka	Množství (t) - ventilátor
Zeleň ze zahrad (skladovaná)	4,5	9,0
Štěpka mix	5,5	11,0
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	56,9	56,9
C:N	31,3	31,3

Tabulka 2 Surovinová skladba 1 - průměrné složení testovaných zakládek

Surovina	Množství (t) - překopávka	Množství (t) - ventilátor
BRKO	10,0	20,0
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	39,6	39,6
C:N	15,0	15,0

Pozn. BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad svým složením průměrně odpovídá skladované zeleni ze zahrad s obsahem dřevní hmoty

2. Biologicky rozložitelný odpad + kaly z ČOV

Tabulka 3 Návrh - surovinová skladba 2

Surovina	Množství (t)	Množství (t)
Dřevní štěpka	2,0	4,0
Kaly z ČOV	1,5	3,0
Sláma z obilovin	0,5	1,0
Zeleň ze zahrad (čerstvá)	6,0	12,0
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	56,3	56,3
C:N	31,9	31,9

Tabulka 4 Surovinová skladba 2 - průměrné složení testovaných zakládek

Surovina	Množství (t) - překopávka	Množství (t) - ventilátor
BRKO	10,0	20,0
Kaly z ČOV	2,8	5,6
Množství celkem (t)	12,8	20,0
Vlhkost (%)	42,9	42,9
C:N	16,5	16,5

Pozn. BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad svým složením průměrně odpovídá skladované zeleni ze zahrad s obsahem dřevní hmoty

3. Biologicky rozložitelný odpad + biouhel

Tabulka 5 Návrh - surovinová skladba 3

Surovina	Množství (t)	Množství (t)
Zeleň ze zahrad (čerstvá)	6,0	12,0
Štěpka mix	4,0	4,0
Biouhel (t)	0,2	0,4
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	51,7	51,7
C:N	34,8	34,8

Tabulka 6 Surovinová skladba 3 - průměrné složení testovaných zakládek

Surovina	Množství (t) - překopávka
BRKO	10,0
Biouhel (t)	0,2
Množství celkem (t)	10,0
Vlhkost (%)	40,3
C:N	15,0

Pozn. BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad svým složením průměrně odpovídá skladované zeleni ze zahrad s obsahem dřevní hmoty

4. Biologicky rozložitelný odpad + kaly ČOV + PROBIO K2

Tabulka 7 Návrh - Surovinová skladba 4

Surovina	Množství (t)	Množství (t)
Dřevní štěpka	2,0	4,0
Kaly z ČOV	1,5	3,0
Sláma z obilovin	0,5	1,0
Zeleň ze zahrad (čerstvá)	6,0	12,0
PROBIO K2 (kg)		
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	56,3	56,3
C:N	31,9	31,9

Pozn.: dávkování přípravku PROBIO K2 bude probíhat buď při úpravě kalů, nebo do surovinové skladby při zakládání. Dávkování závisí na vlhkosti materiálu.

Tabulka 8 Surovinová skladba 4 - průměrné složení testovaných zakládek

Surovina	Množství (t)	Množství (t)
BRKO	10,0	20,0
Kaly z ČOV	2,0	4,0
PROBIO K2 (kg)	6,0	12,0

Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	49,3	49,3
C:N	17,3	17,3

Pozn. BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad svým složením průměrně odpovídá skladované zeleni ze zahrad s obsahem dřevní hmoty

5. Biologicky rozložitelný odpad (rostlinného původu) + PROBIO K2

Tabulka 9 Návrh - surovinová skladba 5

Surovina	Množství (t)	Množství (t)
Zeleň ze zahrad (skladovaná)	2,0	4,0
Štěpka mix	1,5	3,0
PROBIO K2 (kg)	3,0	6,0
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	56,9	56,9
C:N	31,3	31,3

Tabulka 10 Surovinová skladba 5 - průměrné složení testovaných zakládek

Surovina	Množství (t) - překopávka	Množství (t) - ventilátor
BRKO	10,0	20,0
PROBIO K2	6,0	12,0
Množství celkem (t)	10,0	20,0
Vlhkost (%)	44,0	44,0
C:N	15,3	15,3

Pozn. BRKO – biologicky rozložitelný komunální odpad svým složením průměrně odpovídá skladované zeleni ze zahrad s obsahem dřevní hmoty

3 Monitoring procesu kompostování

3.1 Metodika odběru vzorků

Tabulka 11 Odběry vzorků – základky kompostovacího procesu

Zakládka, fáze kompostovacího procesu. Termín odběru	Analýza, monitoring	Velikost vzorku, četnost odběru, na jednu zakládku	Odběr vzorků	
			Fáze kompostovacího procesu	Parametr
Vstupní surovina po homogenizaci	Fyzikální vlastnosti	10 l	surovinová skladba	struktura / objem pórů (%)

	Základní vlastnosti (chemie)	1 l prosetý na síť 10x10 mm	surovinová skladba	sušina (%), pH, spalitelné látky (%), N celkové (g/kg v sušině), C: N
	Hygienická kritéria	5 x 0,2 l, samostatně zabaleno, pouze u vzorků s kaly		enterokoky, termofilní koliformní bakterie, salmonela
V průběhu kompostovacího procesu - od homogenizace základky po ukončení intenzivní fáze	Vlhkost	0,5 l prosetý na síť 10x10 mm	každý týden, po dobu do poklesu teplot pod 40 °C	vlhkost (%)
Hygienizace	Základní vlastnosti (chemie)	1 l prosetý na síť 10x10 mm	po skončení průběhu teplot dle teplotního režimu min. 65°C po dobu 5 dní nebo 55°C po dobu 21 dní	sušina (%), pH, spalitelné látky (%), N celkové (g/kg v sušině), C: N
	Biologické vlastnosti	5 l prosetý na síť 10x10 mm		index zralosti
Dozrávání	Základní vlastnosti (chemie)	1 l prosetý na síť 10x10 mm	po ukončení teplot s trvalým poklesem pod 40°C - min. po dobu 7 dní	sušina (%), pH, spalitelné látky (%), N celkové (g/kg v sušině), C: N
Hotový kompost	Základní vlastnosti (chemie)	1 l prosetý na síť 10x10 mm	ukončení procesu, pokles teplot pod 30°C, (po cca 30 - 40 dnech dozrávání)	sušina (%), pH, spalitelné látky (%), N celkové (g/kg v sušině), C: N
	Anorganické polutanty	1 l prosetý na síť 10x10 mm		AS, Cd, Cu, Mg, Mo, Ni, Pb, Zn / mg / kg sušiny
	Biologické vlastnosti	5 l prosetý na síť 10x10 mm		index zralosti
	Hygienická kritéria	5 x 0,2 l, samostatně zabaleno, pouze o vzorků s kaly		enterokoky, termofilní koliformní bakterie, salmonela

3.2 Metodika odběru vzorků

Pro vzorkování je možno použít spirálový vzorkovač k odběru dílčích vzorků, nebo lopatu, rýč či jinou vhodnou nádobu. Dílčí vzorky se odebírají na několika místech rovnoměrně rozložených po celém ložném prostoru, z povrchu zakládky se odstraní cca 20-30 cm vrchní vrstvy. Počet dílčích vzorků se určí dle hmotnosti vzorkovaného celku (zakládka do 20 t – 5 dílčích vzorků). jednotlivé dílčí vzorky se vysypou na čistou a suchou podložku, pokud možno chráněnou před povětrnostními podmínkami, promíchají se, podrtí se (prosejí) na částice menší než 5 cm a znovu se promíchají. Takto získaný hrubý vzorek (cca 30kg) se kvartací zmenší na průměrný vzorek. Vzorek se uchovává v suchém, čistém a uzavíratelném sáčku nebo v lahvi z plastické hmoty, či skla, vzorek je vždy označen štítkem.

Odběr vzorků mikrobiologie – odebírá se 5 samostatných vzorků z různých míst zakládky, každý vzorek o objemu cca 0,2 l je vložen do plastového sáčku, označen.

Uchování vzorků -pokud není možno, aby odebraný vzorek kompostu byl zpracován bezprostředně po odebrání, je nutné vzorek zchladit a uchovávat v temnu při teplotě $+4^{\circ}\text{C}/-2^{\circ}\text{C}$.

Transport vzorků – vzorky se transportují v temnu, při teplotě $+4^{\circ}\text{C}/-2^{\circ}\text{C}$ v chladničce či termo-tašce. Vzorky nesmí být vystaveny extrémním klimatickým podmínkám, není dovoleno vzorky zmrazovat, vysušovat či dosycovat vodou. Vzorky musí být předány co nejdříve ke zpracování.

4 Metodika testování zralosti kompostu

V rámci projektu bylo chemicky testováno celkem 104 vzorků kompostu z různých českých kompostáren s různými výchozími materiály. Hodnoty z analýz byly použity jako referenční hodnoty pro kalibraci NIRS a vytvoření modelu za účelem posouzení kvality a zralosti kompostů. Z tohoto důvodu byly odebrány vzorky kompostů v různém stádiu tlení, jejichž parametry byly chemicky analyzovány na mokré cestě:

- **Obecný popis a charakteristika kompostů** na základě zjištění suché hmotnosti, hodnoty pH, vodivosti a obsahu soli. Analýza uvedených parametrů byla provedena podle rakouského nařízení o kompostech, 2001.
- **Koeficient humusu** - zbarvení extraktu je kvalitativním znakem půdních kultur, neboť humusové frakce lehce rozpustné ve vodě se velmi snadno vyplavují z půdních kultur s kompostem díky nadbytečnému množství vody. Za určitých podmínek lze zbarvení extraktu interpretovat také jako parametr zralosti (educompost).
- **Aerobní biologická aktivita** na základě měření absorpce kyslíku - absorpce kyslíku je indikátorem míry rozložení biologicky rozložitelných organických substancí během pevně stanovené doby (podle FprEN 16087-1).
- **Rozpuštěný organický uhlík (DOC)** - koncentrace uhlíku rozpustného ve vodě přímo odráží proces rozkladu a přeměny organické substance (Chanyasak & Kubota, 1981).
- **Koncentrace oxidu uhličitého a amoniaku**, která se ustaví ve vzorku v uzavřené testovací nádobě (podle SOLVITA®).

- **Poměr nitrátového a amonného dusíku** - výskyt významného množství dusičnanů lze hodnotit jako ukazatel zralosti kompostu.

Všechny metody, které hodnotí zralost a stabilitu kompostu, byly chemometricky sloučeny a vyjádřeny jako „body zralosti“.

4.1 Výsledky testů zralosti kompostu

Testované české komposty v rámci projektu pocházely z různých kompostáren, v nichž byly z části použity různé výchozí materiály a různé způsoby kompostování. Protože dalším **důvodem testování bylo vytvoření referenčních hodnot pro kalibrační model NIRS**, byly odebírány a analyzovány vzorky v různém stádiu kompostovacího procesu. Proto vykazovaly komposty v testovaných parametrech z části velmi velké rozdíly (tabulka 1).

Tabulka 12 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku kompostů, především kompostů z České republiky a Rakouska testovaných v rámci projektu

	všechny testované komposty z ČR	min./max. hodnoty ČR	všechny testované komposty z Rakouska	min./max. hodnoty Rakousko	
	n=104		n=310		
Obecné parametry kompostu	Obsah vody [%]	39,8 (± 13,8)	6,55/75,31	45,2 (± 9,1)	12,8/67,1
	Vodivost [mS/cm]	1,36 (± 0,74)	0,23/5,66	1,10 (± 1,12)	0,39/18,78
	Obsah soli [g/l]	4,63 (± 1,99)	1,16/12,86	3,38 (± 3,85)	1,09/63,39
	pH [H₂O]	8,3 (± 0,7)	6,25/9,32	8,5 (± 1,0)	1,44/9,45
	Koeficient humusu	23 (± 21)	1/92	20 (± 18)	1/93
Parametry zralosti kompostu	NH₄-N v CaCl₂ extrakt [mg/kg sušiny]	307 (± 1377)	< 5/10741	150 (± 376)	< 5/4116
	NO_x-N v CaCl₂ extrakt [mg/kg sušiny]	428 (± 459)	<10/2257	134 (± 398)	<10/5113
	DOC ve vodném extraktu [mg/l]	938 (± 884)	197/8735	743 (± 3301)	113/2975
	Spotřeba O₂ [mmolO₂/kgOM/h]	14,6 (± 11,7)	1,72/58,20	14,8 (± 8,8)	1,33/48,21
	Index SOLVITA	6 (± 1)	1/8	6 (± 1)	1/8
	Body zralosti	6,78 (± 2,17)	2,00/11,25	6,71 (± 2,45)	0,40/13,06

- **Obsah vody** byl u českých kompostů v průměru těsně pod hodnotou 40 %, což je minimální obsah vody pro úspěšný proces kompostování. Rozpětí však bylo relativně velké, tzn. že u některých kompostů byla vlhkost výrazně nižší než minimální vlhkost. Mikroorganismy mohou přijímat živiny pouze v rozpustné formě. Je-li vlhkost příliš nízká, je proces příjmu a dopravy živin obtížný a proces kompostování se zpomaluje. Při vlhkosti nižší než 20 % se mikrobiální proces rozkladu úplně zastavuje (Wagner & Illmer, 2004). Příliš vysoká vlhkost nad 60 %, kdy hrozí nebezpečí, že voda vytěsňuje vzduch z jemných pórů a v kompostu bude nedostatek kyslíku, byl zaznamenán jen u několika kompostů. Testované rakouské komposty měly v porovnání s českými komposty vyšší vlhkost. Většina kompostů byla v rozmezí 40 % vlhkosti nebo vyšší, přičemž několik kompostů rovněž nedosáhlo ani minimální hodnoty.
- **Obsah soli** v českých kompostech byl v průměru 4,63 g/l a v rakouských 3,38 g/l, české i rakouské komposty se tedy pohybovaly ve vyšším rozmezí. Pro komposty, které se používají v zemědělství, je to vedlejším parametrem, přesto by se neměly používat komposty s obsahem soli nad 3 g/l pro kultury citlivé na přítomnost soli.
- **Hodnota pH** se u českých i rakouských kompostů pohybuje v alkalické oblasti s nízkým rozsahem odchylek. Hodnota pH je u kompostů na jedné straně závislá na výchozím materiálu, na druhé straně pak na stádiu kompostovacího procesu. Na začátku procesu kompostování se tvoří kyseliny, které krátkodobě snižují hodnotu pH. Po odbourání kyselin a zvýšením odbourávání proteinů v kombinaci s uvolňováním amoniaku dochází k nárůstu hodnoty pH. Hodnota pH opět klesá na základě využití amoniaku a procesů nitrifikace a měla by se u zralého kompostu pohybovat v neutrální až lehce alkalické oblasti (Wagner & Illmer, 2004).
- **Koeficient humusu** vyjadřuje zbarvení extraktu kompostu při 550 nm. Z původně organické substance vznikají chemické fragmenty, které se slučují do humusových sloučenin tmavé barvy s krátkým řetězcem, dobře rozpustných ve vodě, tzv. fulvokyselin. Až následným zráním během kompostování se tyto krátké řetězce spojují působením mikroorganismů do delších řetězců. Nejsou již rozpustné ve vodě, díky čemuž je extrakt světlejší (Abächerli et al., 2010). Protože je koeficient humusu závislý na vstupním materiálu kompostu, nelze ho použít k hodnocení zralosti kompostu u všech výchozích variant vstupních surovinových skladeb. Koeficient humusu lze ale použít jako doplňkové hodnocení a považuje se za důležitý kvalitativní znak u kompostů, které se používají jako komponenty pro substráty. Koeficient humusu se u rakouských i českých kompostů pohyboval podobným způsobem v rozmezí průměrných hodnot. **Komposty s koeficientem humusu 20 a méně jsou vhodné pro použití v zahradnictví. Komposty s výrazně vyššími koeficienty humusu než 37 a výše by se měly používat výhradně v zemědělství.**
- **Spotřeba kyslíku** populace mikroorganismů v kompostu se měřila ke zjištění stability kompostu. Nezralý kompost obsahuje velké množství odbouratelných organických substancí, které se rozkládají díky velké aktivní populaci mikroorganismů při vysoké prodyšnosti. S přibývajícím zráním a stabilitou kompostu však tato populace klesá. Rakouské i české komposty měly v průměru spotřebu kyslíku ve výši 15 mmol O₂/kgOM/h a pohybovaly se na hranici nestabilních a stabilních

kompostů. Rozmezí odchylek tohoto parametru je v obou zemích velké, protože při odběru vzorků byly záměrně vybírány komposty s různou zralostí.

- Vhodným parametrem kompostů je rovněž **organický uhlík rozpustný ve vodě (DOC)**. Živiny jsou přijímány obvykle jen v rozpustné formě. Rozpustné substance jako cukr, aminokyseliny, mastné kyseliny atd. vznikají mikrobiálním rozkladem polymerů. Rozpustné sloučeniny jsou ihned využity mikroorganismy, a proto obsah rozpuštěného organického uhlíku během procesu kompostování stále klesá (Wagner & Illmer, 2004). České komposty vykazují v průměru obsah DOC ve výši 938 mg/l a rakouské 743 mg/l. Obě průměrné hodnoty představují vysoký obsah rozpustných sloučenin uhlíku, který je typický pro nezralé komposty. Na základě odběru vzorků v různém stádiu procesu lze i u tohoto parametru najít velmi velké rozdíly mezi vzorky, standardní odchylka, která z nich vyplývá, je proto vysoká.
- Dalším parametrem zralosti kompostu je **poměr nitrátového a amonného dusíku**. V první fázi rozkladu se tvoří relativně velké množství amonia. Nitrifikační bakterie nejsou při teplotách nad 40 °C aktivní. Vstupují do akce až po termofilní fázi (Jiménez & Garcia, 1989). Proto lze výskyt významného množství dusičnanů hodnotit jako ukazatel zralosti kompostu. S postupujícím zráním je obsah nitrátového dusíku vyšší než obsah amonného dusíku. Tato změna koncentrace nitrátového a amonného dusíku během procesu kompostování se odráží ve velmi vysoké standardní odchylce českých a rakouských vzorků. Nápadné však je, že celková koncentrace minerálního dusíku (amonný dusík a nitrátový dusík) byla u českých vzorků v průměru výrazně vyšší než u rakouských. Příčinu lze hledat v různých surovinových skladbách. U testovaných rakouských kompostů se jednalo v první řadě o komposty čistě rostlinného původu. U českých kompostů se z části jednalo o komposty s čistírenskými kaly, které přirozeně obsahují více dusíku.
- **Index SOLVITA** se zjišťuje na základě stejnojmenného rychlotestu Solvita, který vyvinuly laboratoře Woods End Laboratories, USA, k posouzení stability a zralosti. V rámci tohoto testu se měří koncentrace oxidu uhličitého a amoniaku, která vzniká ve vzorku po čtyřech hodinách v uzavřené nádobě. Jak u rakouských, tak i u českých kompostů byl naměřen index SOLVITA 6. Ve srovnání s ostatními parametry zralosti kompostu bylo rozmezí odchylek malé. Téměř všechny rakouské i české komposty vykazovaly nízké emise amoniaku. Index byl proto stanoven téměř výhradně na základě koncentrace CO₂.
- **Součtový parametr „bodů zralosti“** odráží výsledky chemické analýzy na mokré cestě. V předloženém souboru údajů byl převážně tvořen komposty s průměrnou zralostí. Velmi čerstvé, nezralé komposty s méně než 4 body zralosti byly zastoupeny ve velmi malém množství.

Tabulka 13 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů ve 3 různých stádiích kompostovacího procesu

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 [H₂O]	8,3 (± 0,6)	8,3 (± 0,9)	8,4 (± 0,5)
	Koeficient humusu	35 (± 29)	27 (± 19)	19 (± 18)
Parametry zralosti kompostu	NH₄-N v extraktu CaCl₂ [mg/kg sušiny]	1094 (± 2908)	437 (± 1121)	39,3 (± 91,5)
	NO_x-N v extraktu CaCl₂ [mg/kg sušiny]	241 (± 352)	342 (± 355)	640 (± 382)
	DOC ve vodném extraktu [mg/l]	1518 (± 1784)	1140 (± 651)	734 (± 239)
	Spotřeba O₂ [mmolO₂/kgOM/h]	20,6 (± 19,1)	17,2 (± 16,5)	11,7 (± 5,8)
	Index SOLVITA	5 (± 2)	6 (± 1)	7 (± 1)
	Body zralosti	5,30 (± 2,89)	6,16 (± 2,15)	7,54 (± 1,53)

Posuzujeme-li tedy české komposty tříděné podle jejich fáze zrání (tabulka 13), termofilní fáze, mezofilní fáze a fáze dozrávání, je vidět, že 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 O₂/kgOM/h a hodnotí se jako nestabilní. Spotřeba kyslíku 17 mmol O₂/kgOM/h v mezofilní fázi označuje stále ještě nestabilní komposty. Teprve komposty, jejichž vzorky byly podle protokolu o odběru vzorků testovány 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 %. To poukazuje na

nedostatečné zvlhčování kompostů v této fázi v některých kompostárnách. Pro úspěšný proces kompostování je však zvlhčování nezbytné.

Tabulka 14 Střední hodnoty a standardní odchylky obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů tříděných podle výchozího materiálu

	Výchozí materiál	BRKO	BRKO + kal	BRKO + biouhel
		n=62	n=20	n=2
Obecné parametry kompostu	Obsah vody [%]	38,4 (± 15,4)	43,5 (± 12,7)	41,5 (± 5,5)
	Vodivost [mS/cm]	1,33 (± 0,48)	1,61 (± 1,33)	1,22 (± 0,06)
	Obsah soli [g/l]	4,70 (± 1,82)	4,73 (± 2,63)	4,79 (± 0,12)
	pH [H ₂ O]	8,5 (± 0,5)	8,0 (± 0,9)	9,0 (± 0,1)
	Koeficient humusu	25 (± 22)	17 (± 16)	19 (± 12)
Parametry zralosti kompostu	NH ₄ -N v extraktu CaCl ₂ [mg/kg sušiny]	87,7 (± 214)	1245 (± 2995)	<0,2
	NO _x -N v extraktu CaCl ₂ [mg/kg sušiny]	439 (± 361)	497 (± 609)	468 (± 109)
	DOC ve vodném extraktu [mg/l]	878 (± 350)	1358 (± 1853)	537 (± 45)
	Spotřeba O ₂ [mmolO ₂ /kgOM/h]	12,7 (± 9,3)	18,8 (± 14,6)	8,2 (± 1,0)
	Index SOLVITA	6 (± 1)	6 (± 2)	8 (± 1)
	Body zralosti	6,84 (± 2,08)	6,23 (± 2,28)	9,13 (± 1,59)
	Doba tlení [dny]	191 (± 161)	112 (± 89)	83 (± 13)

V tabulce 14 byly rozděleny komposty podle variant surovinové skladby. Komposty s přidanými čistírenskými kaly se podle očekávání výrazně odlišovaly od kompostů z kontejnerů na biologický a zelený odpad i od kompostů s biouhlem. Komposty s čistírenskými kaly mají díky kalům velmi vysokou koncentraci amonného dusíku a uhlíku rozpustného ve vodě. Průměrná spotřeba kyslíku se i přes průměrnou dobu tlení 3-4 měsíců pohybuje kolem 18,8 mmol O₂/kgOM/h a je stále velmi vysoká a charakterizuje nestabilní komposty. Naopak se komposty s přidáním biouhlu jeví jako velmi stabilní s nízkou spotřebou kyslíku, nízkým obsahem rozpustného uhlíku a velmi vysokým počtem bodů zralosti 9,13. Zřetelná je rovněž závislost hodnoty pH na výchozím substrátu. Komposty z BRKO vykazují v průměru hodnotu pH 8,5, komposty, do kterých byly přidány čistírenské kaly, vykazují v průměru hodnotu pH

kolem 8 a komposty s biouhlem jsou na základě přidání biouhlu velmi alkalické a vykazují hodnotu pH 9. Při používání kompostů s vysokými hodnotami pH může docházet ke snížení dostupnosti živin. Rovněž koeficient humusu charakterizuje, jak je popsáno, závislost na výchozím materiálu. Komposty s čistírenskými kaly tak vykazují ve srovnání s oběma dalšími výchozími substráty nejnižší koeficient humusu, ačkoliv mají, co se týče parametrů zralosti kompostu, v průměru nejnižší zralost. Velmi nízký obsah vody během procesu kompostování lze najít v první řadě u kompostů, u kterých je výchozím materiálem BRKO.

Tabulka 15 Střední hodnoty a standardní odchylky od obecných parametrů kompostu a parametrů zralosti kompostu pro charakteristiku českých kompostů tříděných podle techniky kompostování

	Překopávka	Ventilátory	Vermikomposty	Jiné technologie	
	n=44	n=30	n=9	n=8	
Obecné parametry kompostu	Obsah vody [%]	39,4 (± 10,7)	34,2 (± 16,5)	55,2 (± 8,1)	46,2 (± 16,7)
	Vodivost [mS/cm]	1,32 (± 0,46)	1,54 (± 0,97)	0,85 (± 0,46)	0,99 (± 0,47)
	Obsah soli [g/l]	4,66 (± 1,65)	4,51 (± 2,11)	3,60 (± 1,80)	3,84 (± 1,87)
	pH [H₂O]	8,6 (± 0,6)	8,2 (± 0,7)	8,1 (± 0,4)	8,4 (± 0,7)
	Koeficient humusu	27 (± 24)	21 (± 18)	9 (± 4)	25 (± 25)
Parametry zralosti kompostu	NH₄-N v extraktu CaCl₂ [mg/kg sušiny]	69,4 (± 148)	672 (± 2054)	< 5	34,5 (± 89,6)
	NO_x-N v CaCl₂ extrakt [mg/kg sušiny]	418 (± 348)	390 (± 481)	655 (± 486)	444 (± 418)
	DOC ve vodném extraktu [mg/l]	903 (± 348)	1226 (± 1510)	506 (± 232)	770 (± 325)
	Spotřeba O₂ [mmolO₂/kgOM/h]	12,8 (± 12,0)	19,8 (± 13,6)	8,3 (± 7,3)	12,2 (± 4,9)
	Index SOLVITA	6 (± 1)	5 (± 2)	7 (± 1)	7 (± 1)
	Body zralosti	6,85 (± 1,98)	5,82 (± 2,16)	9,06 (± 1,84)	6,94 (± 2,04)
	Doba tlení [dny]	158 (± 135)	120 (± 98)	438 (± 131)	274 (± 139)

V tabulce 15 byly rozděleny výsledky analýzy podle technologie kompostování. Překopávka je způsob kompostování, při němž je přísun kyslíku zajišťován pravidelným otáčením kompostované zakládky. Zakládky s označením „ventilátor“ jsou provzdušňované potrubním systémem s ventilátory, který vhání vzduch do zakládek. Při „vermikompostování“ se při výrobě kompostu cíleně využívá schopnosti žížal.

Nejnižší vlhkost, výrazně pod 40 %, vykazaly zakládky s ventilátory, vermikomposty měly naproti tomu vysoký obsah vody v průměru 55,2 %, přičemž u dvou kompostů se objevila vlhkost vyšší než 60 %, zde

již hrozí nebezpečí, že voda vytěsňuje vzduch z jemných pórů. Vermikomposty byly velmi stabilní a vykazovaly velmi nízkou spotřebu kyslíku, nízký obsah DOC ve vodném roztoku a poměr amonného dusíku vůči nitrátovému dusíku byl zcela na straně nitrátového dusíku. Díky tomu dosáhly tyto komposty vysokého počtu bodů zralosti, v průměru 9 bodů. Porovnáme-li obě technologie překopávky a ventilátor, vykazují komposty na ventilátorech ve všech parametrech zralosti kompostu nižší stabilitu a zralost. Vermikomposty měly i po 438 dnech tlení v průměru nejvyšší zralost. Průměrná doba procesu kompostování s využitím technologie „ventilátoru“ byla se 120 dny téměř o 40 dnů kratší než doba kompostovacího procesu u kompostů s použitím technologie „překopávky“.

Tabulka 16 uvádí podrobné příklady kompostování vždy u dvou zakládek během dvou po sobě jdoucích let s ohledem na zralost a obecné parametry kompostu. Jedná se tedy o čtyři zakládky, které byly založeny v rámci projektu na kompostárně FERTIA vstupní surovinovou skladbou BRKO (pouze rostlinný materiál). Zakládky byly ošetřeny kompostovací přísadou PROBIO K2, preparátem z polysacharidů na bázi tepelně modifikovaného oxidovaného bramborového škrobu. Tento preparát slouží ke zvýšení efektivity kompostování a snížení zápachu. Zakládky byly založeny každoročně na technologii překopávky na volné ploše a na technologii s ventilátory.

Tabulka 16 Výsledky analýzy kompostů z kompostárny ZERA při použití dvou různých technologií kompostování: rotátoru a ventilátoru, při dvou odběrech vzorků v různých fázích kompostovacího procesu v roce 2017 a 2018 (výchozí materiál: kontejner na biologický odpad)

	Rok	2017				2018			
	Kompostárna	ZERA							
	Technologie	Rotátor		Ventilátor		Rotátor		Ventilátor	
	Výchozí materiál	BRKO + PROBIO K2							
	Označení krechtu	2.2017.P.5		4.2017.V.5		18.2018.P.5		5.2018.V.5	
	Datum odběru vzorků	16.08.2017	08.10.2017	16.08.2017	08.10.2017	03.07.2018	17.09.2018	03.07.2018	17.09.2018
	Stádium zralosti kompostu	Proces (40 °C)	Kompost (30 °C)	Proces (40 °C)	Kompost (30 °C)	Proces (40 °C)	Kompost (30 °C)	Proces (40 °C)	Kompost (30 °C)
Obecné parametry kompostu	Obsah vody [%]	33,4	38,5	17,5	31,7	51,8	30,3	10,4	21,2
	Vodivost [mS/cm]	1,67	1,42	1,69	1,12	1,43	0,85	1,42	1,45
	Obsah soli [g/l]	6,11	6,25	4,47	4,02	5,40	3,25	5,05	4,91
	pH [H ₂ O]	9,2	8,8	8,2	8,4	7,9	8,9	8,6	7,5
	Koeficient humusu	67	19	22	11	15	11	21	9
Parametry zralosti kompostu	NH ₄ -N v extraktu CaCl ₂ [mg/kg]	7,38	15,08	316	12,22	46,61	< 5	25,89	22,28
	NO _x -N v extraktu CaCl ₂ [mg/kg]	485	511	144	298	828	99	350	797
	DOC ve vodném	1086	832	1145	649	1168	578	745	666
	Spotřeba O ₂ [mmolO ₂ /kgOM/	8,0	4,6	14,7	8,8	17,7	9,6	14,5	11,1
	Index SOLVITA	7	6	3	5	5	7	6	5
	Body zralosti	7,00	7,75	5,00	7,50	5,50	8,00	6,75	7,50

U kompostů s technologií překopávky na ploše, při níž se otevřené kompostovací zakládky pravidelně provzdušňují, se obsah vody v obou letech pohyboval mezi 30,3 a 51,8 % a byl až na jeden vzorek pod doporučenou minimální hodnotou 40 %. Krechty s technologií „ventilátoru“ však vykázaly ještě nižší obsah vody - mezi 10,4 a 31,7 %. Takový obsah vody je příliš nízký, proces příjmu a dopravy živin je obtížný a proces kompostování se zpomaluje. Při obsahu vody pod 20 % se mikrobiální proces rozkladu dokonce úplně zastavuje.

Obsah soli ve vzorcích je mezi 3,25 g/l a 6,25 g/l, takový kompost proto není vhodný pro kultury citlivé na přítomnost soli. Hodnota pH se během fáze přeměny (40 °C) pohybuje v obou letech podle očekávání v alkalické oblasti a klesá vždy ve fázi ochlazování (30 °C). V roce 2018 je ve fázi 30 °C hodnota pH u obou technologií neutrální až lehce alkalická, což znamená, že se pohybuje v optimálním rozmezí. Koeficient humusu se v obou letech s narůstající zralostí snižuje a pohybuje se u všech čtyřech

kompostů ve fázi 30 °C na spodní hranici. Komposty by bylo možné proto použít s ohledem na zabarvení extraktu i v zahradnictví.

Při posuzování parametrů zralosti kompostu vykazují v roce 2017 i v roce 2018 oba zakládky s překopávkou i zakládka s ventilátory po stejně dlouhé době procesu vyšší činnost mikroorganismů. U všech krechtů lze rozpoznat, že stabilita kompostů roste s přibývajícím délkou kompostovacího procesu. Zde lze při spotřebě kyslíku 4,6 mmol O₂/kgOM/h u zakládky s překopávkou hodnotit v roce 2017 kompost jako velmi stabilní. Spotřeba kyslíku 8,8 až 11,1 mmol O₂/kgOM/h krechtu s „ventilátorem“ v roce 2017 a obou krechtů v roce 2018 charakterizuje stabilní komposty. Obsah organického uhlíku rozpustného ve vodě rovněž v obou letech a u obou technologií v průběhu procesu klesá. Koncentrace se v rámci druhého termínu odběru vzorků pohybuje mezi 578 mg/l a 832 mg/l, tedy v dolním rozmezí. Poměr amonného a nitrátového dusíku byl ve všech čtyřech testovaných vzorcích již ve fázi přeměny na straně nitrátového dusíku. Důvodem bude výchozí materiál, který již od počátku obsahoval nitrát. U tří ze čtyř kompostů však lze rozpoznat, že se na základě začínající nitrifikace ve srovnání s prvním odběrem vzorků snížila koncentrace amonného dusíku ve fázi dozrávání. Stejně jako spotřeba kyslíku ukazuje rovněž index SOLVITA a body zralosti vyplývající ze všech použitých metod hodnocení zralosti kompostu na nestabilní kompost u varianty s „ventilátorem“ ve srovnání s variantou překopávky.

5 Shrnutí – měření zralosti metodou NIRS a sumarizace doporučení pro posouzení kvality kompostu

V rámci projektu byly podle plánu analyzovány velmi rozdílné české a rakouské komposty. Parametry zralosti kompostu odrážely postup kompostovacího postupu u vzorků kompostů, které byly odebírány v různých stádiích kompostovacího postupu. Body zralosti charakterizovaly stupeň zralosti kompostu při použití různých výchozích materiálů i různých technologií zpracování.

5.1 Požadavky na úspěšný proces kompostování k zajištění zralého kompostu

5.1.1 Obecné parametry zralého kompostu

- **obsah vody** - vlhkost surovinové skladby 40 – 60%
- **vodivost** – obsah solí – nad 3 g/l pro kultury citlivé na přítomnost solí , pro zemědělství jde o vedlejší parametr
- **hodnota pH** 7 – 8,5
- **koeficient humusu** – komposty s koeficientem humusu 20 a méně jsou vhodné pro zahradnictví, koeficient humusu vyšší než 37 je vhodná pro zemědělsky pěstované plodiny
- **spotřeba kyslíku**
- **DOC (organický uhlík rozpustný ve vodě)** – 4,6 – 11,1 mmol/kgOM/h (naše testy)

- **poměr nitrátového a amonného dusíku** (závislost na kvalitě vstupních surovin – obsah dusíku / kaly) – nižší než 10
- **index SOLVITA** – měření koncentrace CO₂ a NH₄
- **bod zralosti NIRS** – 7 – 8 bodů zralosti

5.1.2 Kompostovací proces – 3 stádia monitoringu

Testovaná stádia – teplotní kritéria ovařila, že při jejich dodržení proběhne kompostovací proces správně.

5.1.3 Výchozí materiál

Výchozí materiál zásadním způsobem ovlivňuje zralost kompostu

- vlhkost
- obsah dusíku – NH₄ (například kaly)
- formy uhlíku – (například biouhel)
- pH

5.1.4 Technologie kompostování

Průměrná doba kompostovacího procesu pro dosažení zralosti kompostu

- technologie na volné ploše s překopávačem „rotátor“ – 120 dnů
- technologie na volné ploše s ventilátorem „ventilátor“ – 160 dnů

6 Literatura

Abächerli F., Baier U., Berner F., Bosshard C., Fuchs J., Galli U., Gfeller H., Leuenberger R., Mayer J., Pfaffen P., Schleiss K., Trachsel D., Wellinger A. (2010): Švýcarská směrnice pro kvalitu 2010 odvětví pro kompost a produkty fermentace; komise inspektorů odvětví zpracování zelených produktů ve Švýcarsku

SPOLKOVÁ SBÍRKA ZÁKONŮ RAKOUSKÉ REPUBLIKY: 292. nařízení: Nařízení o kompostech, ročník 2001, část II

Pomocné půdní látky a substráty – Stanovení aerobní biologické aktivity – část 1: Rychlost příjmu kyslíku podle (FprEN 16087-1)

Chanyasak, V., & Kubota, H. (1981): Carbon/organic nitrogen ratio in water extract as measure of composting degradation. J. Ferment. Technol., 59, 215-219

Educompost „Kvalita finálních produktů“ Běžné chemické testy

Jiménez E.I. & Garcia V.P. (1989): Evaluation of city refuse compost maturity: a review; Elsevier, Biological Wastes; Volume 27, Issue 2, Pages 115-142

Mathur S.P. et al. (1991): Composting processes: Bioconversion of waste materials to industrial products. Elsevier, London, New York:147-186

OFFICIAL SOLVITA® GUIDELINE COMPOST EMISSIONS TEST

Veeken .H.M, de Wilde V., Hamelers H:V:M, Moolenaar S.W and Postma R. (2003): OxiTop® measuring system¹ for standardised determination of respiration rate and N-mineralisation rate of organic mater in waste material, compost and soil; Wageningen University & NMI

Wagner A. & Illmer P. (2004): Kompostování - nové posouzení staré techniky; Ber.nat.-med.Verein Innsbruck; Band 91: S. 293-321



EVROPSKÁ UNIE

Tento materiál byl vytvořen v rámci projektu ATCZ42 INTEKO

2019