

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí

SCHVÁLENÁ METODIKA

Tereza Hřebečková a kol.



Praha 2025

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů



Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí

Metodika byla schválena Ministerstvem zemědělství ČR,
Odborem rostlinných komodit pod č.j. MZE-74287/2024-13123

Tereza Hřebečková a kol.

Praha 2025

Schválená metodika byla zpracována v rámci řešení výzkumného projektu
TAČR TQ03000050

Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí

SCHVÁLENÁ METODIKA

Dedikace: Ke zpracování schválené metodiky bylo použito výsledků výzkumných aktivit realizovaných v rámci řešení výzkumného projektu TAČR TQ03000050 „Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí“.

Kolektiv autorů

Ing. Tereza Hřebečková, Ph.D.

Ing. Zdeněk Košnář, Ph.D.

Ing. Filip Mercl, Ph.D.

Ing. Kamil Kraus, Ph.D.

Ing. Pavel Míchal, Ph.D.

prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c.

Česká zemědělská univerzita v Praze

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin

Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí

Tereza Hřebečková a kol.

Vydání první, 2025

Vydavatelství: Česká zemědělská univerzita v Praze

Tisk Powerprint s.r.o., Brandejsovo nám. 1219/1, 165 00 Praha 6 – Suchdol,

www.powerprint.cz

165 00 Praha 6 – Suchdol

© **Česká zemědělská univerzita v Praze**

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin, FAPPZ ČZU v Praze

Kamýcká 129, 165 00 Praha 6 – Suchdol

tel: +420 224 382 736

<http://www.af.czu.cz/>

ISBN 978-80-213-3518-9

Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí

Abstrakt

Metodika se zabývá přidavkem biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí tvořených svozovým bioodpadem, čistírenským kalem, popelem z biomasy, slámou a zeminou. Jejím cílem je stanovit optimální podíl biocharu ve směsi a vyhodnotit jeho vliv na obsah makroživin, emise plynů (CO_2 , NH_3) a splnění legislativních požadavků pro zemědělské komposty a vermikomposty. Pokusy v provozních podmínkách prokázaly, že přidavek dřevního biocharu, zejména v 1 % obj., přispívá ke snížení emisí a zlepšení vlastností výsledného produktu, aniž by negativně ovlivnil ekonomiku výroby. Metodika poskytuje praktický návod pro kompostárny a zemědělce a může být případně využita při tvorbě nebo úpravě legislativy související s emisemi a kvalitou kompostů a vermikompostů.

Klíčová slova: Kompostování; vermikompostování; biochar; emise; živiny

Implementation of biochar into composting and vermicomposting mixtures

Abstract

The methodology focuses on the implementation of biochar into composting and vermicomposting mixtures composed of biowaste, sewage sludge, biomass ash, straw, and soil. Its aim is to determine the optimal proportion of biochar addition and to evaluate its effect on the content of macronutrients, gas emissions (CO_2 , NH_3), and compliance with legislative requirements for agricultural composts and vermicomposts. Experiments under operational conditions have demonstrated that the addition of biochar, particularly at a concentration of 1%vol., contributes to reducing emissions and improving the properties of the final product without negatively affecting production economics. The methodology provides a practical guide for composting facilities and farmers and may also be used in the development or adjustment of legislation related to emissions and the quality of composts and vermicomposts.

Key words: Composting; vermicomposting; biochar; emission; nutrients

Obsah

I. Cíl metodiky.....	5
II. Vlastní popis metodiky	5
1. Úvod do problematiky	5
1.1 Kompostování a vermikompostování	5
1.2 Emise.....	6
1.3 Biochar	7
2. Metodika.....	7
2.1 Kompostování a vermikompostování	7
2.1.1 Vstupní suroviny	8
2.1.2 Založení kompostovacích a vermikompostovacích zákládek	9
2.1.3 Analýzy a vyhodnocení	11
III. Srovnání novosti postupů	22
IV. Popis uplatnění Schválené metodiky	22
V. Ekonomické aspekty.....	22
VI. Závěr	27
VII. Seznam použité související literatury	28
VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice	30
IX. Jména oponentů a názvy jejich organizací.....	31
X. Dedikace	31

I. Cíl metodiky

Cílem metodiky je stanovení optimálního podílu přídatku biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí (svozový bioodpad, kal z ČOV, popel po spalování biomasy, sláma, zemina); na základě přesného provozního pokusu v areálu kompostárny ZERS spol. s.r.o. předložit data ukazující rozdíl zakládek s přídatkem a bez přídatku kalového a dřevního biocharu z pohledu obsahu živin, změn v množství emisí (CO_2 , NH_3) a splnění požadavků pro zemědělské komposty a vermikomposty.

II. Vlastní popis metodiky

1. Úvod do problematiky

Díky obsahu organických polutantů, rizikových prvků a dalších nežádoucích látek, není často možné čistírenský kal aplikovat přímo na zemědělskou půdu, ke snížení jejich obsahu by mohlo pomoci zpracování kalu využitím vermi/kompostování. Popel po spalování biomasy není také často samostatně využíván a podobně jako biochar může přispívat k degradaci polutantů, především díky optimalizaci pH kompostovací směsi. Firma ZERS spol. s.r.o. využívá právě tyto i další biologicky rozložitelné odpady pro výrobu zemědělských kompostů (složení směsi: svozový bioodpad, kal z ČOV, popel po spalování rostlinné biomasy, sláma, zemina).

1.1 Kompostování a vermikompostování

Kompostování a vermikompostování je z procesního hlediska již dobře prozkoumané. Jedná se o aerobní fermentaci biologicky rozložitelného odpadu. Hlavním rozdílem mezi kompostováním a vermikompostováním je, že při vermikompostování se využívá aktivity epigeických druhů žížal, které jsou hlavním hnacím motorem rozkladného procesu a zároveň provzdušňují vermikompostovací zakládku. Dalším rozdílem je vlhkost, kterou je nutné udržovat během obou procesů. U kompostování však stačí dodržovat vlhkost kolem 50–60 %, u vermikompostování se jedná ale o vlhkost v rozmezí 80–85 %, nezbytnou pro rozvoj žížal (Edwards et al., 2011). U vermikompostování nedochází k termofilní fázi, která je pro klasické kompostování typická (Plíva et al., 2016). Zatímco u kompostování dochází k hygienizaci právě v termofilní fázi rozkladu (teploty kolem 60–70 °C), u vermikompostování je to zhruba po 70 dnech vermikompostování (Edwards et al., 2011). Činnost žížal nejen zrychluje rozklad primární organické hmoty (Lv et al., 2013), ale má také vliv na vyšší obsah huminových kyselin a výskyt půdních mikroorganismů (Carrasquero-Durán a Flores, 2009), díky kterým mají vermikomposty jemnou strukturu a obsahují živiny ve formách snadno přístupných pro rostliny

(Garg et al., 2006; Tripathi a Bhardwaj, 2004). Pro komposty pak může být zdrojem mikroorganismů jak samotný bioodpad, tak například přídavek zeminy, která má také schopnost zadržovat vodu, pohlcovat vznikající zápach, a pozitivně ovlivňovat sorpci živin (především poutáním vznikajícího NH_3) hlavně na počátku procesu kompostování, kdy nemá organická hmota téměř žádnou sorpční schopnost (Crecchio et al., 2004; Edwards et al., 2011). Během procesu vermikompostování je velká část primární organické hmoty mineralizována na oxid uhličitý (CO_2), amoniak (NH_3) a vodu (H_2O), zbylá část je přeměněna na stabilní organickou hmotu podobnou humusovým látkám (Romero et al., 2007). U kompostování dochází k uvolňování největšího objemu CO_2 , NH_3 a minerálních látek zejména ve fázi mineralizace (Vaněk et al., 2012). V důsledku vysokých ztrát uhlíku by mohl být problém s koncentrací rizikových prvků, která se sice v důsledku mineralizace zvyšuje, ale množství biologicky přístupných rizikových prvků má tendenci se snižovat vzhledem k tvorbě stabilních komplexů s huminovými látkami (Edwards et al., 2011). V průběhu kompostování i vermikompostování musejí být dodrženy podmínky definované Vyhláškou MŽP č. 273/2021 Sb. o podrobnostech nakládání s odpady, jako je například minimální a maximální teplota či vlhkost. Výsledné komposty i vermikomposty musí splňovat limitní hodnoty udávané přílohou č. I vyhlášky MZe č. 309/2024 Sb., která upravuje limitní hodnoty rizikových prvků pro organická hnojiva se sušinou nad 13 %. Komposty by dále měly splňovat technické požadavky udávané normou ČSN 46 5735 a vermikomposty normou ČSN 46 5736, která specifikuje kvalitativní znaky a obsah živin ve vermikompostech. Vermikomposty v řadě ukazatelů převyšují svou kvalitou klasické komposty (Marcinčák, 2015), neboť jsou látky prospěšné rostlinám u vermikompostů aplikovaných do půdy přístupné rostlinám z 80–90 %, zatímco u kompostů je to pouze z 60–70 % (Borkovcová a Žáková, 2015).

1.2 Emise

Emise skleníkových plynů jsou v dnešní době velkým tématem, zejména z hlediska globálního oteplování. Největší problém pak představují emise CO_2 . Na základě toho již v dnešní době začínají fungovat tzv. uhlíkové kredity z půdní sekvence uhlíku v zemědělském hospodářství a obchodování s těmito kredity. Dle dostupných studií by do konce století mohla půda potenciálně vázat 2–4 % ročních globálních emisí a tím významně přispět ke splnění cílů Pařížské dohody (2016). Čisté sekvence uhlíku v půdě s tímto efektem by bylo možné dosáhnout pomocí podpory (platby za environmentální služby – uhlíkových kreditů) při ceně uhlíku, která by odpovídala výše uvedenému celosvětovému úsilí o udržení nárůstu globální teploty pod 2 °C do roku 2100 (OECD, 2021; OECD, 2022). Každý uhlíkový kredit

odpovídá jedné tuně oxidu uhličitého, který již není vypouštěn do atmosféry díky redukci těchto plynů během výroby, hospodaření nebo díky zavedení nových technologií. V Čechách a na Slovensku se do projektu zatím zapojilo 7000 hektarů půdy. Například u české společnosti Carboneg se podařilo hospodářům za rok 2022 do půdy vrátit zhruba 49 tisíc tun CO₂ (Buřivalová, 2023a; Buřivalová, 2023b).

1.3 Biochar

Ke snížení emisí v průběhu vermi/kompostování by mohl pomoci právě přídavek biocharu (Czekała et al., 2016; Malińska et al., 2014; Awasthi et al., 2016), který vykazuje i potenciál sekvestrace uhlíku během kompostování (Awasthi et al., 2017).

Biochar, jinak nazývaný biouhel, je pevný materiál vyráběný thermochemickým zpracováním biomasy. Jde o jemnozrnnou porézní látku, která je velmi stabilní a jejíž rozklad probíhá pomalu (O'Laughlin a McElligott, 2009). Díky vysoké stabilitě a obsahu uhlíku, který tvoří 50–90 % z celkové hmotnosti, je biochar schopen dlouhodobě zadržovat uhlík v půdě a tím bránit jeho uvolnění do atmosféry ve formě oxidu uhličitého. Přispívá tak ke snižování koncentrace skleníkových plynů. Porézní struktura biocharu umožňuje zadržet v půdě živiny (dusík, fosfor, draslík), což zlepšuje úrodnost půdy a poskytuje tak vhodné prostředí pro mikroorganismy a jejich aktivitu v půdě. Zároveň zabraňuje vyplavování těchto živin do spodních vod a zvyšuje tak jejich dostupnost pro rostliny. Také zvyšuje kapacitu zadržování vody v půdě. Na vlastnosti biocharu má přímý vliv druh suroviny, ze které je vyráběn, podmínky pyrolýzy a jeho následná úprava (Yuan et al., 2017).

2. Metodika

2.1 Kompostování a vermikompostování

Pokus probíhal v areálu kompostárny společnosti ZERS spol. s r.o. v Neškaredicích (okr. Kutná Hora, obrázek 1). Pokus byl prováděn se dvěma typy biocharu (kalový a dřevní) při objemovém přídavku biocharu 1 a 5 %. Pokus byl založen 19.06.2024 a ukončen 17.09.2024.



Obr. 1: Mapa znázorňující polohu kompostárny Zers spol. s.r.o. (Neškaredice, Kutná Hora).

2.1.1 Vstupní suroviny

Vstupní směsí byla běžně využívaná směs komerční kompostárnou, pro produkci zemědělského kompostu (registrovaná směs č. 191212). Směs byla tvořena svozovým bioodpadem, čistírenským kalem, slámou, popelem ze spalování biomasy a zeminou, viz tabulka 1.

Tab. 1: Složení vstupní směsi.

Objem	Surovina
55 %	svozový bioodpad
30 %	kal z ČOV
3 %	sláma
6 %	popel ze spalování biomasy
6 %	zemina

Dřevní biochar byl zakoupen u firmy Dr. Uhlí, kalový biochar pocházel z ČOV s kapacitou do 50 tis. ekvivalentních obyvatel, a byl vyroben z odvodněného čistírenského kalu. Oba biochary byly vyrobeny při teplotě 600 °C a době zdržení 30 min. Základní parametry vstupních surovin jsou vyobrazeny v tabulce 2. Pro proces vermikompostování byl využit druh žížal *Eisenia andrei* B. Žížaly pocházely z farmy Kalifornské žížaly z Lužice u Hodonína, hustota žížal v násadě byla cca 50 ks/l.

Tab. 2: Základní parametry vstupních surovin.

Surovina	Vlhkost (% hm)	Celkový dusík (% hm. v sušině)	Poměr C:N	pH
Svozový bioodpad	19,2	1,42	17,3	5,89
Kal z ČOV	40,4	3,52	8,8	8,22
Sláma	12,6	1,16	38,7	7,87
Popel	12,2	0,11	117,0	10,80
Zemina	7,9	0,10	13,5	8,15
Dřevní biochar	0,7	1,59	60,6	9,59
Kalový biochar	1,0	2,56	12,2	8,62

2.1.2 Založení kompostovacích a vermikompostovacích zakládek

Nejdříve byla pomocí těžké techniky připravena vstupní směs se složením shodujícím se s tabulkou 1. Kolovým nakladačem Case 821G XR byly na manipulační plochu postupně navezeny všechny složky vstupní směsi (obrázek 2). Nakladačem bylo také provedeno první promíchání a vzniklá směs byla dále homogenizována rozmetadlem ZDT RM21, viz obrázek 3. Ze vzniklé vstupní směsi byly založeny kontrolní zakládky bez přídavku biocharu.



Obr. 2 a 3: Vstupní suroviny (vpravo) a jejich homogenizace (vlevo).

Zbylá vstupní směs byla použita pro přípravu směsí s přídavkem biocharu, v dávce 1 a 5 % obj. pro kalový i dřevní biochar. Výsledná směs byla po přidání biocharu znovu homogenizována pomocí rozmetadla (celkem 3×), následně byly vytvořeny jednotlivé zakládky. Základní parametry připravených směsí jsou uvedeny v tabulce 3.

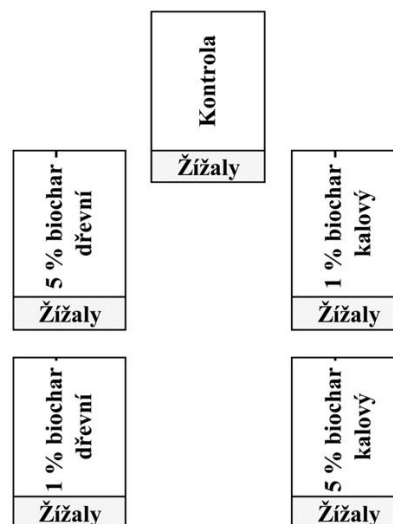
Tab.3: Základní parametry vermi/kompostovacích směsí.

Směs	Vlhkost (% hm)	Celkový dusík (% hm. v sušině)	Poměr C:N	pH
Kontrola	19,1	1,64	14,5	7,89
1 % obj. dř. biocharu	19,9	1,49	16,4	8,00
5 % obj. dř. biocharu	23,0	1,59	16,1	7,82
1 % obj. kal. biocharu	20,5	1,56	15,4	7,48
5 % obj. kal. biocharu	21,3	1,54	15,2	7,76

Kompostování probíhalo v zastřešeném prostoru s betonovým podkladem. Hmotnost jednotlivých kompostovacích zakládek byla přibližně 4,9 t a objem činil cca 6 m³. Na obrázku 4 je vidět schéma kompostovacích zakládek. V průběhu kompostování proběhly celkem tři překopávky. Jednotlivé zakládky byly také pravidelně zavlažovány, v průběhu prvního měsíce jednou za dva týdny, následně jednou měsíčně. Vermikompostování probíhalo ve větrané hale s omezeným vlivem prostředí na průběh procesu. Podobně jako v případě kompostování, bylo vytvořeno 5 zakládek (obrázek 5), ke kterým byly následně pomocí nakladače LOCUST 753 přidány násady žížal o objemu cca 0,3 m³, viz obrázek 6. Hmotnost jednotlivých zakládek byla cca 2,45 t, objem pak činil cca 3 m³. Vermikompostování probíhalo v procesu jednorázového krmení žížal. Zakládky byly pravidelně zavlažovány, na začátku procesu jednou týdně, následně dle potřeby (cca jednou za dva týdny).



Obr. 4: Schéma a fotografie kompostovacích zakládek.



Vermikompostování

Obr. 5: Schémata a fotografie vermikompostovacích zakládek.



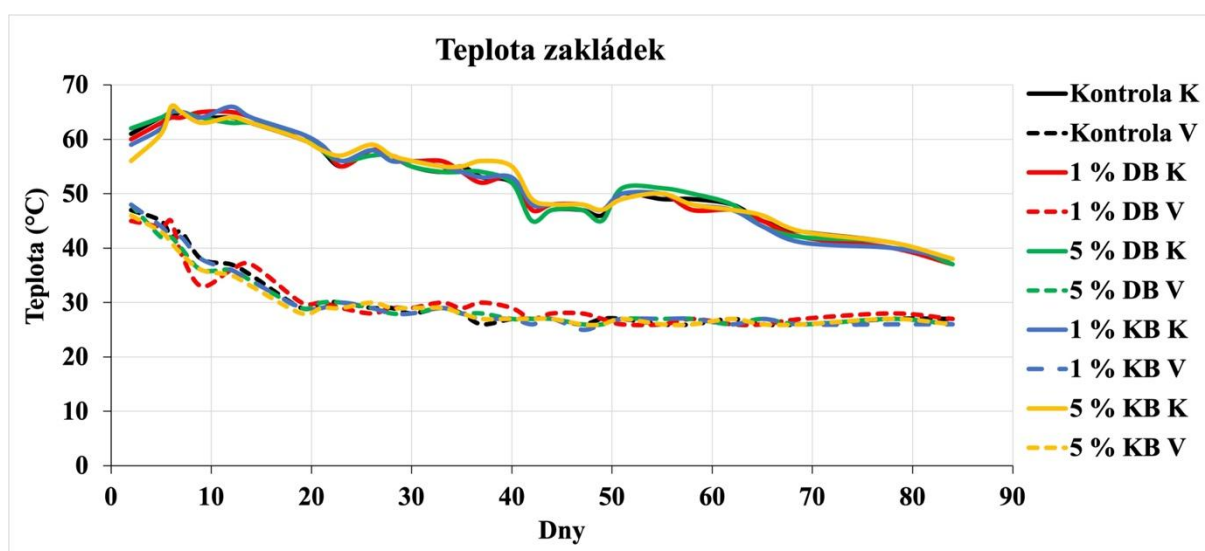
Obr. 6: Detail vermikompostovací zakládky s násadou žížal.

2.1.3 Analýzy a vyhodnocení

2.1.3.1 Teplota a emise

Během kompostování i vermikompostování byla pravidelně sledována teplota pomocí tyčového teploměru. Již tři dny po založení pokusu byla teplota kompostovacích zakládek vyšší než 56 °C (zakládka s 5 % obj. kalového biocharu). U vermikompostovacích zakládek se pohybovala v rozmezí od 45 °C (zakládka s 1 % obj. dřevního biocharu) do 48 °C (zakládka s 5 % obj. dřevního biocharu a 1 % obj. kalového biocharu) (graf 1). Právě kvůli předpokladu zahřívání vstupních směsí byla násada žížal umístěna z boku vermikompostovacích zakládek (obr. 6). U vermikompostovacích zakládek se teploty držely nad 35 °C po dobu 14 dnů

po založení, pak již teploty klesaly k 26–28 °C a žížaly již začaly nalézat do vermikompostovacích směsí. Maximální teplotu 35 °C pro vermikompostování udává Vyhláška MŽP č. 273/2021 Sb. Kompostovací zakládky dosáhly nejvyšších teplot během prvních 7–11 dní, kdy se maximální teploty pohybovaly kolem 65 až 66 °C. Teploty nad 60 °C byly pozorovány až do 19. dne kompostování. Následně teploty klesaly k 55–57 °C k 23. dni, kdy byly kompostovací zakládky poprvé překopány. Tyto teploty jsou v souladu s požadavkem normy ČSN 465735 pro komposty, kde by měly být dodrženy teploty ≥ 60 °C min. 7 dní nebo ≥ 55 °C min. 14 dní. Další překopávka kompostovacích zakládek proběhla ve 49. dni a poslední ve dni 75. Po 84 dnech kompostování klesly teploty kompostovacích zakládek pod 40 °C, kompost tak bylo možné považovat z hlediska teploty za hotový k distribuci. Což je v souladu s vyhláškou MŽP č. 273/2021 Sb.



Graf 1: Průběh teploty během kompostování a vermikompostování. (K – kompostovací zakládky, V – vermikompostovací zakládky, DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar).

Pravidelně byly měřeny emise CO_2 a NH_3 pomocí analyzátoru LCpro+ (ADC BioScientific Ltd., Spojené království) a detektoru plynů WatchGas POLI (WatchGas BV, Nizozemsko) (obrázek 7 a 8). Kvůli vysokým koncentracím emisí těchto plynů v prvotní fázi kompostování (termofáze) i vermikompostování (první měsíc), nebylo možné běžné přístroje použít, a tak byly tyto emise stanovovány pomocí titrační metody jako tok plynu po dobu 15 min: CO_2 uvolňovaný ze zakládek byl jímán do předem odměřeného objemu roztoku hydroxidu barnatého ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) o koncentraci 0,05 mol/l, kde reagoval za vzniku nerozpustného uhličitanu barnatého (BaCO_3). Po ukončení jímání byl tento roztok, včetně sraženého BaCO_3 , titrován standardním roztokem kyseliny šťavelové (HOOC-COOH) za použití fenolftaleinu jako pH indikátoru. Množství navázaného CO_2 bylo stanoveno z rozdílu

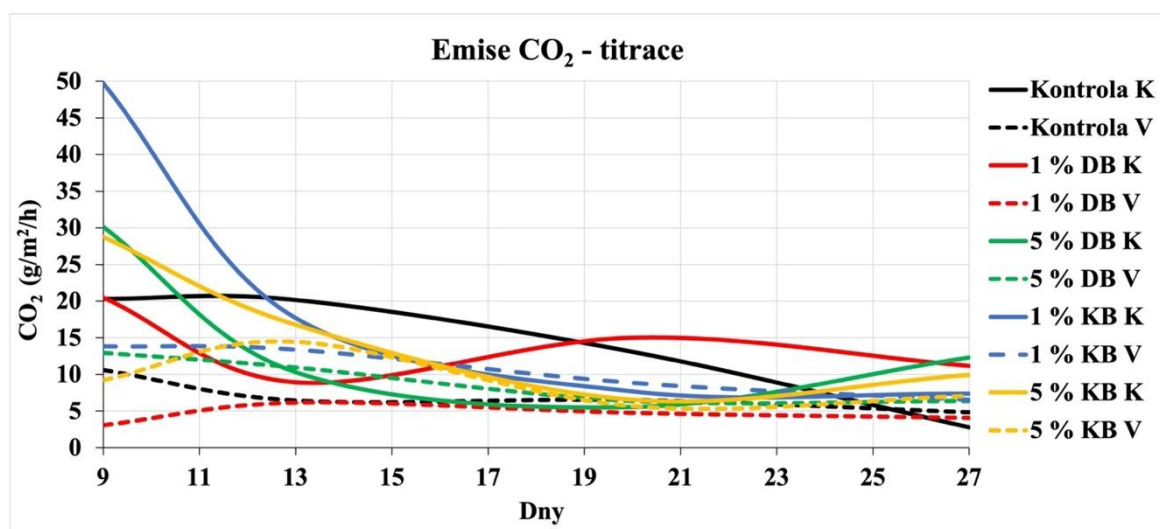
mezi původním a titračně zjištěným množstvím $\text{Ba}(\text{OH})_2$. Amoniak (NH_3) uvolňovaný ze zakládek byl zachycován do předem odměřeného objemu zředěné kyseliny sírové (H_2SO_4) o známé koncentraci (např. 0,01 mol/l). V kyselém prostředí došlo ke kvantitativní přeměně NH_3 na amonné ionty (NH_4^+). Po ukončení jímání byl nezreagovaný přebytek H_2SO_4 stanoven zpětnou titrací standardizovaným roztokem NaOH. Pro zvýšení přesnosti byla nejprve ověřena koncentrace roztoku NaOH pomocí kyseliny šťavelové a následně byla tímto roztokem standardizována zředěná kyselina sírová použitá k jímání amoniaku. Pro vlastní titraci byl použit indikátor methyl červeň.

Hodnoty kumulativních emisí CO_2 byly počítány z teoretické plochy zakládky o rozměrech $82 \times 5 \times 3$ m (d × š × v) a hmotnosti 1000 t čerstvé hmoty (kapacita kompostárny), s využitím programu Origin (OriginLab, USA) a MS Excel (Microsoft, USA).



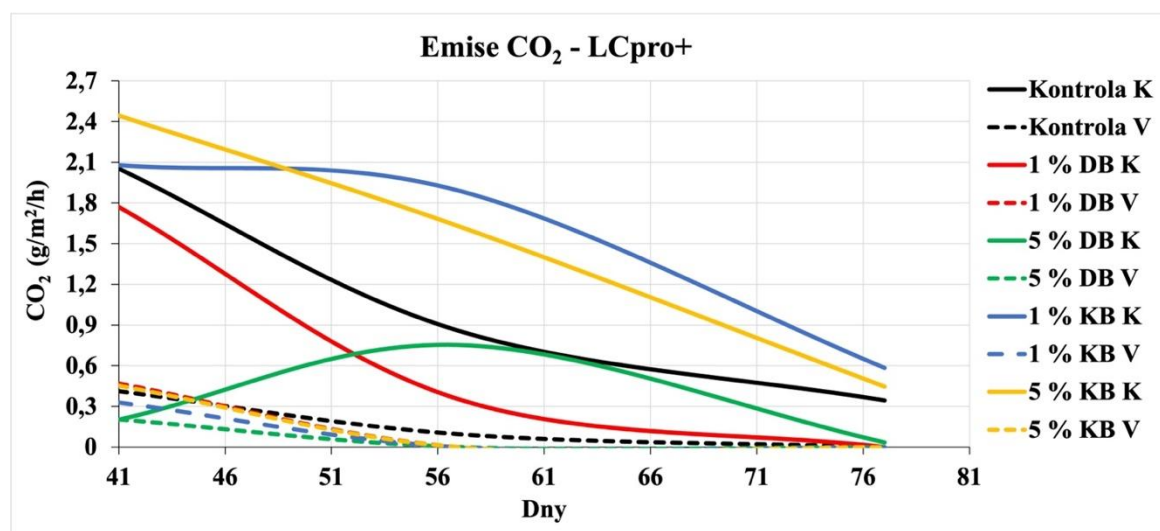
Obr. 7 a 8: Měření emisí pomocí LCpro+ (vlevo) a WatchGas POLI (vpravo).

Celkově lze říct, že vysoké hodnoty emisí CO_2 byly měřeny zhruba první měsíc po založení, proto musely být stanovovány metodou titrace (graf 2). Z titračního stanovení na celkový úhrn emisí CO_2 vycházela nejlépe u kompostování varianta kontrolní, u vermikompostování vycházela nejlépe varianta s 1 % obj. přídatku dřevního biocharu. Nejvyšší emise pak byly v celkovém součtu u variant s přídatkem kalového biocharu.



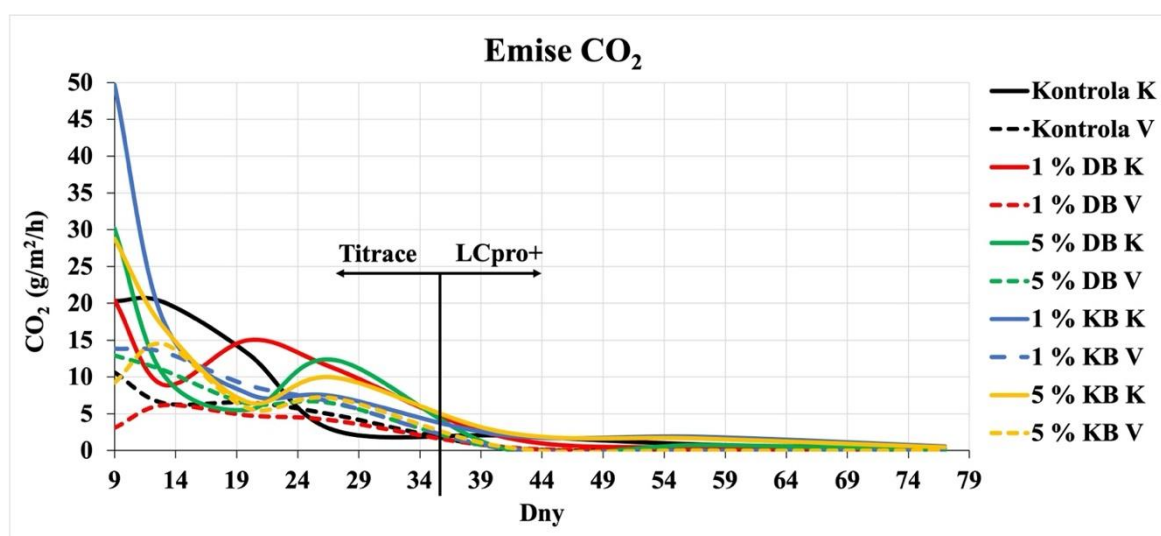
Graf 2: Titrační stanovení vyšších emisí CO₂ během kompostování a vermikompostování. (K–kompostovací zakládky, V–vermikompostovací zakládky, DB–dřevní biochar, KB–kalový biochar).

Při měření pomocí LCpro+ (graf 3) v celkovém úhrnu vycházely u kompostování nejvyšší emise u variant s přidavkem kalového biocharu (1 % KB K, 5 % KB K). Lépe, než kontrolní kompostovací varianta vycházely varianty s přidavkem dřevního biocharu (1 % DB K, 5 % DB K), přičemž nejnížší emise v celkovém součtu vykazovala varianta s 5 % obj. dřevního biocharu. U vermikompostování vycházely všechny zkušební varianty lépe než varianta kontrolní, všechny zkušební varianty byly již v 57. dni pod mezí detekce, kontrolní vermikompostovací varianta se v emisích CO₂ dostala pod mez detekce až po 77 dnech vermikompostování.



Graf 3: Stanovení nižších emisí CO₂ během kompostování a vermikompostování pomocí LCpro+ (K–kompostovací zakládky, V–vermikompostovací zakládky, DB–dřevní biochar, KB–kalový biochar).

Emise CO₂ byly během procesu vermikompostování výrazně nižší než u kompostování, a to zejména v úplném začátku procesu. Graf 4 zobrazuje průběh emisí všech variant stanovený pomocí titrace i LCpro+. Nejvyšší hodnoty po založení pokusu vykazovala varianta s 1 % obj. přídavku kalového biocharu, a to jak z kompostovacích, tak i z vermikompostovacích zakládek, i když nevykazovala nejvyšší teploty, ale během prvních 10 dnů kompostování došlo u této varianty k mírnému nárůstu teploty. Varianta kontrolní nevykazovala z počátku tak vysoké emise CO₂, ale jejich pokles byl oproti variantám zkušebním velmi pozvolný. Z grafu 4 je patrné skokové zvýšení emisí při první překopávce kompostovacích zakládek, avšak pouze u variant s biocharem, varianta kontrolní u kompostování průběžně klesala.



Graf 4: Průběh emisí CO₂ během kompostování a vermikompostování. (K–kompostovací zakládky, V–vermikompostovací zakládky, DB–dřevní biochar, KB–kalový biochar).

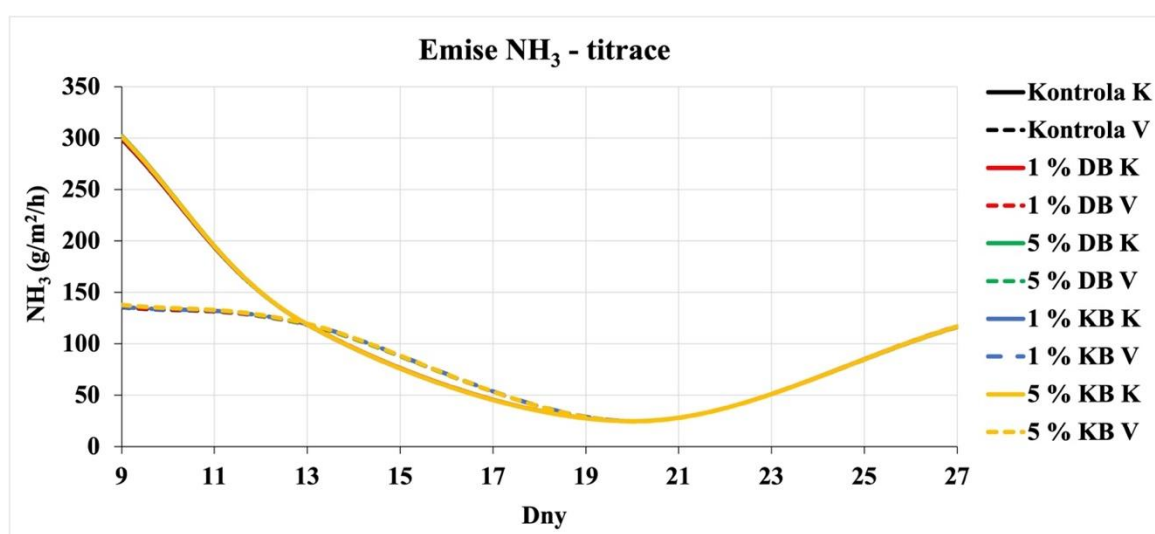
Pro výpočet kumulativních emisí CO₂ bylo počítáno s roční kapacitou vermi/kompostárny 1000 t. Zakládky o celkové hmotnosti 1000 t a výšce 3 m by za celou dobu procesu vyprodukovaly množství CO₂ v řádu jednotek tun. Nejvyšší emise při zpracování 1000 t směsi by vykazovaly u obou procesů varianty s přídavkem kalového biocharu, zejména s 1 % obj. přídavku. Nejnižší hodnoty by naopak vykazovaly varianty s přídavkem dřevního biocharu. U kompostování varianta s 5 % obj. přídavku a u vermikompostování varianta s 1 % obj. přídavku. Podobný trend zvýšení emisí CO₂ s přídavkem biocharu, zejména při termofázi, uvádějí i další studie (Czekała et al., 2016; Awasthi et al., 2016; Awasthi et al., 2017). Dle těchto studií podporují vyšší dávky biocharu mineralizaci organické hmoty, což vede ke zvýšení emisí CO₂, ale zároveň k výraznému snížení emisí dalších skleníkových plynů (CH₄ a N₂O).

Tab. 4: Kumulativní emise CO₂ při kompostování a vermikompostování 1000 t čerstvé směsi.

Varianta	CO ₂ (g/m ²)	CO ₂ (t)
Kompost kontrola	7516	3,1
Kompost 1 % DB	8394	3,4
Kompost 5 % DB	4264	1,7
Kompost 1 % KB	8919	3,7
Kompost 5 % KB	8430	3,5
Vermi kontrola	4059	1,7
Vermi 1 % DB	3387	1,4
Vermi 5 % DB	4945	2,0
Vermi 1 % KB	5656	2,3
Vermi 5 % KB	5402	2,2

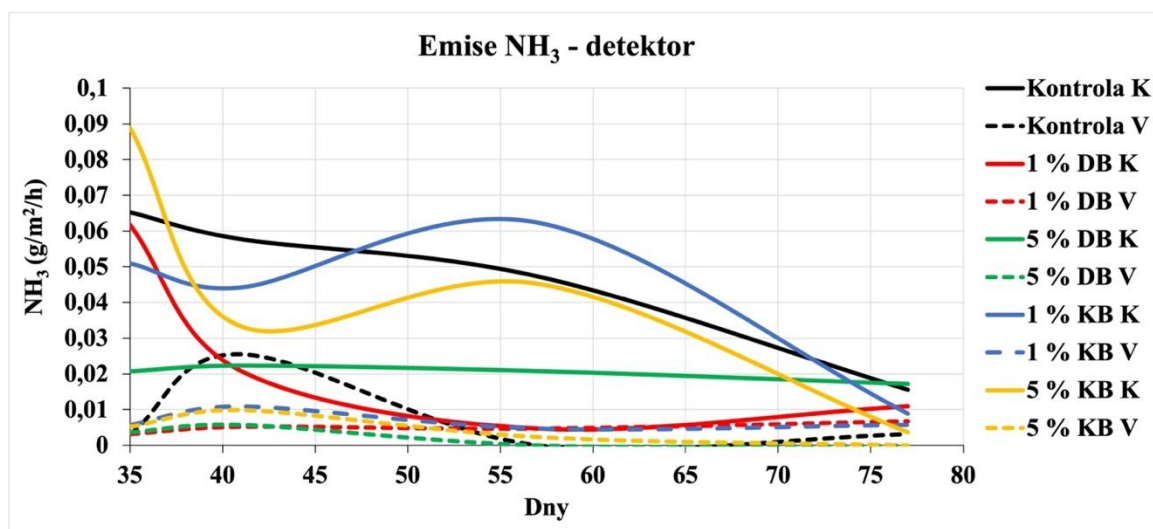
DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

Emise NH₃ byly taktéž v prvním měsíci po založení nad mezí detekce detektoru plynů WatchGas POLI, proto byly stanovovány taktéž titrační metodou. Rozdíly mezi variantami při stanovení titrační metodou byly velmi malé, od 1 do 4 g/m²/h, proto se křivky v grafu překrývají. Po první překopávce ve dni 23 je z grafu 5 patrný nárůst emisí NH₃. Problémem je, že je tento nárůst i u vermikompostovacích zakládek, kde k překopávce nedošlo. Titrace NH₃ jsou v praxi velmi problematické, a to zejména kvůli H₂SO₄ pasti, do které nemusí být zachytáván pouze amoniak, ale mohou zde být zachyceny i aminy, které vznikají při rozkladu bílkovin (Mironov et al., 2023), což je u kompostování i vermikompostování zejména směsí s kaly z ČOV vysoce pravděpodobné.



Graf 5: Titrační stanovení vyšších emisí NH₃ během kompostování a vermikompostování. (K–kompostovací zakládka, V–vermikompostovací zakládka, DB–dřevní biochar, KB–kalový biochar).

Měření emisí NH_3 detektorem zaznamenává aktuální hodnoty koncentrace daného plynu. Z hlediska celkové uvolněné hladiny emisí NH_3 stanovené pomocí detektoru byly nejvyšší emise u kontrolních variant (graf 6), a to jak u kompostování, tak u vermikompostování. Naopak nejnižší hodnoty vykazovaly varianty s přidavkem dřevního biocharu u kompostovacích zakládek (1 % DB K, 5 % DB K) a u vermikompostovacích zakládek varianta s 5 % obj. dřevního biocharu, která se již po 57 dnech vermikompostování dostala pod mez detekce.



Graf 6: Stanovení nižších emisí NH_3 během kompostování a vermikompostování pomocí detektoru WatchGas POLI. (K–kompostovací zakládky, V–vermikompostovací zakládky, DB–dřevní biochar, KB–kalový biochar).

2.1.3.2 Základní analýzy

Vzorky byly z jednotlivých zakládek odebírány pomocí půdní sondýrky při založení, v průběhu a při ukončení pokusu. Při založení pokusu byly současně odebrány vzorky jednotlivých materiálů vstupní směsi a oba druhy biocharu.

Z jednotlivých vzorků byly v případě vermikompostů manuálně vyselektovány žížaly, které byly spočteny a zváženy. Následně bylo stanoveno pH (H_2O) (1:5 w/v) za použití pH metru WTW 340 i dle normy ČSN EN 15933. Lahvičky se vzorky byly následně zmrazeny při teplotě $-26\text{ }^{\circ}\text{C}$ a lyofilizovány. Po lyofilizaci byla gravimetricky stanovena sušina. Materiál byl následně prosátý přes síto o průměru ok 1 cm a rozemlet pomocí mlýnu Retsch SM100 (Verder s.r.o., Německo) na velikost částic 0,75 mm. Procento spalitelných látek bylo stanoveno pomocí ztráty žíháním v muflové peci (Linn High Therm GmbH, Německo) při $550\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Celkový obsah makroživin i rizikových prvků v kompostech a vermikompostech byl stanoven rozkladem na mokré cestě (2 ml 30 % H_2O_2 + 8 ml 65 % HNO_3) v uzavřeném systému s mikrovlnným ohřevem v přístroji Ethos 1 (MLS GmbH, Německo) a následnou optickou emisní spektrometrií s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, VARIAN VistaPro, Varian, Austrálie). Pro analýzu bylo naváženo cca 0,5 g lyofilizovaného vzorku. Pro stanovení celkové rtuti (Hg) byl použit přístroj AMA-254 (Altec, Česká republika). Navážka vzorků se pohybovala v rozmezí 0,03 – 0,04 g, z důvodu zrnitosti materiálu, aby bylo zajištěno dokonalé spálení. Vzorky byly měřeny v 6-ti opakováních, z důvodu vysokého rozptylu hodnot u některých vzorků pomocí železných, předem vyžíhaných kyvet.

Pro stanovení celkového dusíku (N) a uhlíku (C) byl použit CHNS analyzátor Vario MACRO cube (Elementar Analysensysteme GmbH, Německo). V tomto přístroji bylo spáleno v katalytické peci cca 25–30 mg lyofilizovaného namletého vzorku a následně byly pomocí teplotně-vodivostního detektoru stanoveny hodnoty N a C a následně vypočten jejich poměr.

Hodnoty kvalitativních parametrů pro použití kompostů udává norma ČSN 46 5735, kde jsou specifikovány: Vlhkost, spalitelné látky, celkový obsah dusíku, poměr C:N a pH finálního kompostu. Požadované hodnoty těchto parametrů a současně i námi dosažené hodnoty u všech finálních kompostů jsou shrnuty v tabulce 5. Ve všech parametrech, kromě vlhkosti, byly u námi vyprodukovaných kompostů limity splněny. Požadované hodnoty vlhkosti (30-60 %) nebylo dosaženo pouze u varianty s 5 % obj. přídatkem kalového biocharu, kde byla hodnota vlhkosti pouze 24 %. Jedná se však o parametr, který se dá velmi snadno před odběrem vzorku ovlivnit. Spalitelné látky by měly být u finálních kompostů vyšší než 20 %. U výsledných kompostů se procento spalitelných látek pohybovalo od 30,3 (5 % obj. kalového biocharu) do 33,5 % (5 % obj. dřevního biocharu). Poměr C:N klesl během kompostování na 12, respektive 13:1, při čemž procento dusíku v sušině bylo od 1,5 do 1,7 %. Hodnota pH výsledných kompostů byla slabě zásaditá (7,4–7,7).

Tab. 5: Hodnoty kvalitativních parametrů pro použití kompostu dle ČSN 46 5735.

Znak jakosti	Povinná hodnota pro komposty	Kontrola	1 % DB	5 % DB	1 % KB	5 % KB
Vlhkost (% hm.)	30–65	30	33	34	30	24
Spalitelné látky (% hm. v sušině)	min. 20	30,1	30,5	33,5	32,3	30,3
Celkový dusík (% hm. v sušině)	min. 0,6	1,5	1,5	1,7	1,7	1,7
Poměr C:N	max. 30	12	12	13	12	12
pH	6–9	7,4	7,7	7,5	7,5	7,5

Červená barva – nevyhovuje normě, DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

Výsledné komposty musejí také splnit limitní hodnoty rizikových prvků stanovené jak normou pro Komposty (ČSN 46 5735), ale také současně Vyhláškou Ministerstva Zemědělství č. 309/2024 Sb. pro organická hnojiva se sušinou 13 % a více. Limitní hodnoty těchto osmi rizikových prvků a hodnoty naměřené u zralých kompostů zobrazuje tabulka 6. Ze získaných hodnot je patrné, že limitní hodnoty všech prvků byly u všech variant splněny. Celkově nejnižší hodnoty rizikových prvků vykazovaly varianty s přidavkem dřevního biocharu.

Tab. 6: Hodnoty rizikových prvků pro použití kompostu dle ČSN 46 5735 a Vyhlášky MZe č. 309/2024 Sb.

Parametr (mg/kg suš.)	Nejvyšší přípustné množství	Kontrola	1 % DB	5 % DB	1 % KB	5 % KB
As	30	27	20	16	17	20
Cd	2,0	0,6	0,7	0,7	0,7	0,8
Cr	100	38	39	43	41	49
Cu	150	75	80	69	86	135
Hg	1,0	0,5	0,5	0,6	0,5	0,4
Ni	50	31	27	27	29	35
Pb	100	40	25	29	32	32
Zn	600	287	311	284	408	419

DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

Hodnoty kvalitativních parametrů pro použití vermikompostů udává norma ČSN 46 5736, kde jsou oproti kompostům specifikovány i obsahy fosforu (v normě jako P_2O_5) a draslíku (v normě jako K_2O). Vlhkost u vermikompostů by měla být vyšší než u kompostů, a to v rozmezí 50–70 %, což splnila pouze kontrolní varianta a varianta s přidavkem 5 % obj. dřevního biocharu a 1 % obj. kalového biocharu (tabulka 7). Zbylé dvě varianty měly vlhkost

o 1 % nižší. Větším problémem byl u vermikompostů obsah spalitelných látek, který by měl být min. 35 %, tedy o celých 15 % více než u kompostů. Této hodnoty dosáhla pouze varianta s 5 % obj. přidavkem dřevního biocharu (35,3 %). Ostatní parametry byly u všech variant splněny. Poměr C:N byl srovnatelný s komposty. Hodnoty pH byly o něco více zásadité než u kompostů, a to v rozmezí od 7,8 (kontrolní varianta) do 8,1 u variant s kalovým biocharem. Celkové obsahy fosforu nebo draslíku byly vždy minimálně dvojnásobné oproti minimální požadované hodnotě.

Tab. 7: Kvalitativní parametry a obsah živin ve vermikompostu dle ČSN 46 5736

Znak jakosti	Povinná hodnota pro vermikomposty	Kontrola	1 % DB	5 % DB	1 % KB	5 % KB
Vlhkost (% hm.)	50–70	50	49	52	50	49
Spalitelné látky (% hm. v sušině)	min. 35	30,4	31,8	35,3	32,5	32,0
Celkový dusík (% hm. v sušině)	min. 1,0	1,5	1,5	1,5	1,5	1,6
Poměr C:N	max. 30	13	13	14	13	12
pH	6–9	7,8	8,0	7,9	8,1	8,1
Celkový fosfor (% hm. v sušině)	min. 0,26	1,08	1,06	1,18	1,09	1,23
Celkový draslík (% hm. v sušině)	min. 0,83	1,80	1,94	2,03	1,66	1,66

Červená barva – nevyhovuje normě, DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

Výsledné vermikomposty musejí taktéž splnit limitní hodnoty rizikových prvků stanovené jak normou pro Vermikomposty (ČSN 46 5736), ale také současně Vyhláškou Ministerstva Zemědělství č. 309/2024 Sb. pro organická hnojiva se sušinou 13 % a více. Všechny sledované rizikové prvky byly pod maximální přípustnou hodnotou. U většiny rizikových prvků vycházely rozsahy hodnot nižší než u výsledných kompostů. Nejnižších hodnot celkově dosahovala nejčastěji varianta s 1 % obj. dřevního biocharu a následně varianta s 1 % obj. kalového biocharu. Naopak většina nejvyšších naměřených hodnot byla ve variantě vermikompostu s přidavkem 5 % obj. kalového biocharu (tabulka 8).

Tab. 8: Hodnoty rizikových prvků pro použití vermikompostu dle ČSN 46 5736 a Vyhlášky MZe č. 309/2024 Sb.

Parametr (mg/kg suš.)	Nejvyšší přípustné množství	Kontrola	1 % DB	5 % DB	1 % KB	5 % KB
As	30	20	15	18	17	18
Cd	2,0	0,7	0,7	0,7	0,7	0,9
Cr	100	38	43	40	36	48
Cu	150	80	75	88	82	100
Hg	1,0	0,5	0,5	0,6	0,6	0,5
Ni	50	29	26	27	25	31
Pb	100	27	31	29	25	32
Zn	600	323	306	362	333	382

DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

Kromě již zmíněného procenta dusíku u kompostů i vermikompostů a procenta fosforu a draslíku u vermikompostů, nejsou další makroživiny nijak limitovány. Pro stanovení ceny hnojiv by však tyto hodnoty měly mít zásadní význam. Celkový obsah vápníku byl vyšší u zralých vermikompostů než kompostů, nejvyšší hodnoty u vermikompostů dosahovala varianta s 1 % obj. přídatku dřevního biocharu (31,4 g/kg suš.). U kompostů byl nejvyšší obsah vápníku a draslíku stanoven v kontrolní variantě, naopak celkový obsah hořčíku, dusíku, fosforu a síry byl nejvyšší ve variantě s přídatkem 5 % obj. kalového biocharu (kompost). U vermikompostů byl také naměřen nejvyšší obsah Mg, N, P a S ve variantách s přídatkem kalového biocharu (tabulka 9).

Tab. 9: Obsah makroživin ve zralých kompostech a vermikompostech.

Varianta	Ca	K	Mg	N	P	S
	(g/kg suš.)					
Kompost kontrola	31,2	27,2	7,5	14,6	9,2	4,3
Kompost 1 % DB	28,4	23,9	6,6	14,7	10,9	5,1
Kompost 5 % DB	24,5	18,8	6,0	17,0	9,4	4,9
Kompost 1 % KB	28,4	22,2	6,8	16,7	10,9	5,1
Kompost 5 % KB	24,5	23,4	8,0	16,9	13,1	5,4
Vermi kontrola	28,4	18,0	6,4	15,0	10,8	4,3
Vermi 1 % DB	31,4	19,4	6,6	14,6	10,6	4,3
Vermi 5 % DB	27,6	20,3	6,5	15,1	11,8	4,7
Vermi 1 % KB	28,3	16,6	6,2	14,5	10,9	5,1
Vermi 5 % KB	29,9	16,6	6,9	15,7	12,3	4,2

DB – dřevní biochar, KB – kalový biochar

III. Srovnání novosti postupů

Předložená metodika podává ucelený souhrn poznatků získaných studiem literatury, a především vyhodnocením zpracovaných provozních pokusů z kompostování a vermikompostování čtyř zkušebních a jedné kontrolní směsi bioodpadu, které probíhaly v provozu kompostárny Zers spol. s.r.o. v roce 2024. Byly hodnoceny kvalitativní parametry výsledných kompostů a vermikompostů, obsah živin a rizikových prvků ve vztahu k limitním hodnotám udávaným příslušnou normou nebo vyhláškou Ministerstva zemědělství. Dále byla hodnocena výše emisí CO₂ a NH₃. A to vše z hlediska výběru vhodného procenta přídavku dřevního nebo kalového biocharu do směsi.

Metodika předkládá nové údaje o výši emisí během kompostování a vermikompostování. Návrhy složení kompostovacích a vermikompostovacích směsí jsou na území České republiky nové.

Výsledné komposty a vermikomposty s přídavkem zejména dřevního biocharu vykazovaly nižší emise NH₃ než kontrolní varianta, vybrané varianty vykazovaly nižší emise CO₂ (kompostování varianta s 5 % obj. dřevního biocharu, vermikompostování varianta s 1 % obj. biocharu).

IV. Popis uplatnění Schválené metodiky

1. Metodika je určena především kompostárnám, vermikompostárnám nebo zemědělcům věnujícím se zpracování bioodpadů. Podává jim přehled vlastností, které mohou očekávat u takovýchto směsí bioodpadů s přídavkem biocharu a na jaké výsledné vlastnosti kompostu nebo vermikompostu má biochar vliv. A jaké je možné zhodnocení kompostů či vermikompostů z těchto směsí.

2. Metodika může být využita pro případnou tvorbu legislativy v oblasti emisí, zejména CO₂, během kompostování a vermikompostování. A při případné úpravě stávajících legislativních parametrů pro výsledné komposty a vermikomposty.

V. Ekonomické aspekty

Výsledná cena vermi/kompostu závisí na několika hlavních faktorech: kdo je cílovým odběratelem, jaká je regionální poptávka, jaké jsou náklady na výrobu a jaký výnos vermi/kompost přináší. Pro stanovení správné ceny je proto nezbytné mít k dispozici aktuální údaje o tržních cenách i o nákladech na jejich výrobu.

Poplatky za příjem svozového bioodpadu nebo kalů z čistíren odpadních vod (ČOV) významně ovlivňují finální cenu hnojiva. Komposty z kalů se využívají výhradně

v zemědělství, a právě kvůli této vstupní surovině konečná prodejní cena klesá na 300-500 Kč/t. U směsi bez biocharu (Kontrolní varianta) poplatky za příjem kalu z ČOV nebo svozového bioodpadu (BRO) převyšují výdaje za nákup slámy a popela (tabulka 10 A). U směsi s biocharem převyšuje příjem za suroviny výdaje pouze u 1 % obj. přídavku, jak kalového, tak dřevního biocharu, u 5 % obj. přídavku jsou již náklady na 1 tunu směsi vyšší než příjmy za zbylé suroviny (tabulka 10 B a 10 C).

Tab. 10 A: Příjem za suroviny pro výrobu kompostu/vermikompostu –kontrolní varianta.

Odpad/Surovina	Podíl (% obj.)	Obj. hm. (g/l)	Cena (Kč/t)	Příjem (Kč/t směsi)
Popel	6	880	-1	341
BRO	55	600	350	
Zemina	6	1200	0	
Sláma	3	50	-50	
Kal z ČOV	30	1100	500	
Kontrola: Směs 191212	100 %			

Ceny jsou bez DPH.

Tab. 10 B: Příjem za suroviny pro výrobu kompostu/vermikompostu–dřevní biochar.

Odpad/Surovina	Obj. hm. (g/l)	Cena (Kč/t)	Příjem (Kč/t směsi)	
			Směs DB 1 %	Směs DB 5 %
Popel	880	-1	260	-58
BRO	600	350		
Zemina	1200	0		
Sláma	50	-50		
Kal z ČOV	1100	500		
Dřevní biochar (DB)	170	-29 411		

Ceny jsou bez DPH.

Tab. 10 C: Příjem za suroviny pro výrobu kompostu/vermikompost –kalový biochar.

Odpad/Surovina	Obj. hm. (g/l)	Cena (Kč/t)	Příjem (Kč/t směsi)	
			Směs KB 1 %	Směs KB 5 %
Popel	880	-1	259	-56
BRO	600	350		
Zemina	1200	0		
Sláma	50	-50		
Kal z ČOV	1100	500		
Kalový biochar (KB)	520	-9 615		

Ceny jsou bez DPH.

Náklady na založení a údržbu kompostovacích a vermikompostovacích zakládek se liší. U obou procesů je třeba svozový bioodpad (BRO) přetřídit, neboť se v takovémto odpadu

nacházejí i nežádoucí složky, jako například plastové obaly. Již vytříděný BRO je nutné podrtit, smíchat s dalšími složkami směsi a připravenou směs řádně zhomogenizovat. U klasického kompostování je nutné zakládku pravidelně překopávat a po dokončení procesu kompost odvézt na dozrávací plochu. Během vermi/kompostování dochází k úbytku organické hmoty a z 1000 t směsi zůstane zhruba 700 t vermi/kompostu (záleží na úpravě a stáří vstupních surovin) (tabulka 11 A).

Tab. 11 A: Náklady na výrobu – Komposty.

Kompost	t	Kč/t	Kč/1000 t
Přetřídění BRO (nakladač + 2 lidi)	550	125	68 750
Drcení BRO + sláma (rychlloběžný drtič)	580	50	29 000
Homogenizace nahrubo (nakladač)	1000	20	20 000
Homogenizace – zakládka (nakladač + rozmetadlo)	1000	50	50 000
Překopávka (3x)	1000	60	60 000
Závlaha 1x	1000	10	10 000
Převoz kompostu na dozrávací plochu	700	50	35 000
Celkem		365 Kč	272 750 Kč

Ceny jsou bez DPH.

U vermikompostování naopak odpadá překopávání zakládky, neboť se o něj starají žížaly, které však představují značnou prvotní investici. V praxi by ale měl tento systém fungovat tak, že se po ukončení vermikompostování na jedné zakládce, použije horní vrstva, ve které by měla být přítomna většina žížal, pro založení zakládky nové (Hanč a Plíva, 2013). Vermikompostovací zakládka je také nutné zavlažovat, právě kvůli žížalám. Cena za výrobu vermikompostu, je tak kvůli nákladu za žížaly vyšší, než cena za výrobu kompostu (tabulka 11 B).

Tab. 11 B: Náklady na výrobu – Vermikomposty.

Vermikompost	t	Kč/t	Kč/1000 t
Přetřídění BRO (nakladač + 2 lidi)	550	125	68 750
Drcení BRO + sláma (rychlloběžný drtič)	580	50	29 000
Homogenizace nahrubo (nakladač)	1000	20	20 000
Homogenizace – zakládka (nakladač + rozmetadlo)	1000	50	50 000
Žížaly	1000	500	500 000
Závlaha 2x	1000	20	20 000
Celkem		765 Kč	687 750 Kč

Cena žížal vychází z certifikované metodiky: Hanč a Plíva, 2013. Ceny jsou bez DPH.

Jednorázovou investicí je i příprava plochy pro kompostování. Při kapacitě kompostárny 1000 tun ročně, je nutné připravit vodonepropustnou plochu 1500 m², jímku 50 m³, disponovat váhou s nosností 10 t a mít hotový provozní řád kompostárny (tabulka 11 C).

Tab. 11 C: Náklady na výrobu – Prvotní investice do kompostárny.

Roční kapacita 1000 tun	Kč/m ²	Celkem Kč	Kč/t
Vodonepropustná plocha (1500 m ²)	2 500	3 750 000	4 250
Jímka 50 m ³		300 000	
Váha – nosnost 10 t		150 000	
Provozní řád kompostárny		50 000	
Celkem		4 250 000	

Ceny jsou bez DPH.

Teoretická cena vyprodukovaného kompostu nebo vermikompostu se vypočítá, jako suma hodnoty hlavních živin (N, P, K, Mg, Ca, S) dle jejich obsahu a aktuálních cen minerálních hnojiv. Teoretická cena kvalitního kompostu tak může dosahovat 1 500 – 2 000 Kč/t. Tato cena je však obvykle 3 až 4 × vyšší než reálná tržní cena.

Reálná tržní cena kompostu se v roce 2025 pohybuje pro:

- Standardní volně ložený „kalový“ kompost (přímý prodej zemědělcům): 300–500 Kč/t, dle kvality a místa odběru.
- Prosátý zahradnický „zelený“ kompost: 600–1 200 Kč/t
- Substráty a směsi (kompost + zemina + písek apod.): 1 000–1 500 Kč/t nebo více, záleží na složení, balení a dalším zpracování.

Finální cena kompostu nebo vermikompostu je závislá i na regionu, kde se kompostárna nachází. Například v oblastech intenzivní živočišné výroby (Vysočina, horské oblasti) je o kompost menší zájem, a proto je zde cena mnohem nižší. V polních regionech s nedostatkem jiných organických hnojiv (například Polabí, Haná) je možné dosáhnout vyššího zhodnocení, zejména při přímé aplikaci na pole. Ceny námi vyrobeného kompostu zohledňují veškeré výše zmíněné aspekty i fakt, že vermikompost je běžně nabízen za vyšší cenu než kompost (tabulka 12).

Tab. 12: Příjem za prodej hnojiva.

Hnojivo	Kč/t	Kč/700 t*
Kompost Kontrola	400	280 000
Kompost 1 % DB	450	315 000
Kompost 5 % DB	600	420 000
Kompost 1 % KB	450	315 000
Kompost 5 % KB	600	420 000
Vermi kontrola	500	350 000
Vermi 1 % DB	550	385 000
Vermi 5 % DB	700	490 000
Vermi 1 % KB	550	385 000
Vermi 5 % KB	700	490 000

Ceny jsou bez DPH. *Z 1000 t směsi se vyprodukuje cca 700 t vermi/kompostu.

V celkovém zhodnocení produkce kompostů a vermikompostů daného složení a kapacity kompostárny či vermikompostárny 1000 tun ročně vychází bilance u vermikompostů záporně, právě kvůli vysokým nákladům na jejich výrobu (tabulka 13). Velikou roli zde však hraje cena za násadu žížal. Při zohlednění dlouhodobého opakovaného využívání vlastních žížal by i vermikomposty byly ziskové. Z hlediska zisku vychází nejlépe kontrolní varianta kompostů, kde je vysoký příjem za použité suroviny. Stále ale velmi dobře vychází také kompost s 1 % obj. přídatku biocharu, a to jak dřevního, tak i kalového, neboť při takto nízkém přídatku nejsou náklady na pořízení biocharu tak vysoké. V případě, že by se kompostárna rozhodla využívat přírůstek biocharu pravidelně, mohly by náklady na pořízení biocharu ještě klesnout.

Tab. 13: Celková kalkulace při roční kapacitě 1000 t.

Hnojivo	Příjem	Náklad	Zisk
Kompost Kontrola	621 000 Kč	272 750 Kč	348 250 Kč
Kompost 1 % DB	574 000 Kč	272 750 Kč	301 250 Kč
Kompost 5 % DB	364 000 Kč	272 750 Kč	91 250 Kč
Kompost 1 % KB	575 000 Kč	272 750 Kč	302 250 Kč
Kompost 5 % KB	362 000 Kč	272 750 Kč	89 250 Kč
Vermi kontrola	691 000 Kč	687 750 Kč	3 250 Kč
Vermi 1 % DB	644 000 Kč	687 750 Kč	-43 750 Kč
Vermi 5 % DB	434 000 Kč	687 750 Kč	-253 750 Kč
Vermi 1 % KB	645 000 Kč	687 750 Kč	-42 750 Kč
Vermi 5 % KB	432 000 Kč	687 750 Kč	-255 750 Kč

Příjem – příjem za suroviny + za prodej hnojiva, Náklad – na výrobu. Ceny jsou bez DPH.

Další možností navýšení zisku kompostárny nebo vermikompostárny je úprava ceny výkupu odpadních surovin, jako je svozový bioodpad (BRO) nebo čistírenský kal. Zavedení možnosti dopravy a aplikace daného hnojiva zemědělcům na jejich pole, kde si nákladní dopravci obvykle účtují 50 Kč/km za velkoobjemové vozidlo (nosnost cca 30 t). Při vzdálenosti 30 km pak vychází doprava na 100 Kč/t. Aplikace kompostu je následně často řešena službou s rozmetadlem, cena agroslužby je 50 Kč/t + PHM. Další možností je přímý prodej baleného kompostu nebo vermikompostu zahradnickým firmám či koncovým zákazníkům v městské distribuci, kde například balený kompost v pytlicích (30–50 l) stojí 1–1,50 Kč/l, tj. zhruba 1 000–1 500 Kč/t (včetně ceny práce na pytlování). U vermikompostáren je pak další možností navýšení ceny prodáváného vermikompostu, neboť se napříč republikou ceny vermikompostu velmi liší, a například u balených vermikompostů se pohybují v řadech tisíců až statisíců Kč/t.

VI. Závěr

Z hlediska emisí CO₂ se jevila pro kompostování jako nejvhodnější varianta s 5 % obj. přídavku dřevního biocharu, zatímco pro vermikompostování to byla varianta s 1 % obj. Vyšší emise CO₂ u ostatních variant s biocharem, oproti kontrole, však nutně neznamenají snížení sekvestračního potenciálu výsledného vermi/kompostu, neboť biochar je sám o sobě velmi stabilní a po aplikaci do půdy slouží jako dlouhodobý rezervoár uhlíku.

Všechny výsledné komposty splnily hodnoty teploty v průběhu kompostování, hodnoty výsledných kvalitativních parametrů a obsahu rizikových prvků pro zralé komposty. U vermikompostů nebyl splněn pouze obsah spalitelných látek, u většiny variant kromě varianty s 5 % obj. přídavku dřevního biocharu. Ostatní limitní hodnoty kvalitativních parametrů, obsahu živin a rizikových prvků byly pro vermikomposty splněny.

Z hlediska čistého zisku z produkce vermi/kompostů vyšla jako nejvýnosnější varianta kontrolní pro kompostování a jako ekonomicky stále výhodná i varianta s 1 % obj. přídavku dřevního nebo kalového biocharu. Proces vermikompostování vychází dle výše zmíněných kalkulací jako ztrátový, neboť je produkce vermikompostu značně zatížena pořizovací cenou žížal, která by při opakovaném využívání vlastních žížal v čase klesala.

Při komplexním zhodnocení všech parametrů výsledných vermi/kompostů a ekonomické stránky, se jeví jako nejvhodnější přídavek do kompostovacích i vermikompostovacích směsí 1 nebo 5 % obj. dřevního biocharu.

VII. Seznam použité související literatury

- Awasthi, M.K., Wang, Q., Ren, X., Zhao, J., Huang, H., Awasthi, S.K., Lahori, A.H., Li, R., Zhou, L., Zhang, Z. 2016. Role of biochar amendment in mitigation of nitrogen loss and greenhouse gas emission during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 2019: 270-280.
- Awasthi, M.K., Wang, M., Chen, H., Wang, Q., Zhao, J., Ren, X., Li, D., Awasthi, S.K., Shen, F., Li, R., Zhang, Z. 2017. Heterogeneity of biochar amendment to improve the carbon and nitrogen sequestration through reduce the greenhouse gases emissions during sewage sludge composting. *Bioresource Technology*. 224: 428-438.
- Borkovcová, M., Žáková, M. 2015. *Biologie pro odpadové hospodářství*. Mendelova univerzita v Brně, Brno. ISBN 978-7509-240-3.
- Buřivalová, I. 2023a. „Nepoužíváme skoro syntetická hnojiva a vyděláváme víc,” shodují se regenerativní farmáři. *Ekonews*. 02.02.2023 (<https://www.ekonews.cz/nepouzivame-synteticka-hnojiva-a-vydelavame-vic-shoduji-se-regenerativni-farmari/>)
- Buřivalová, I. 2023b. Farmáři si mohou vybírat, komu prodají uhlíkové kredity. Do Česka přicházejí další firmy. *Ekonews*. 10.03.2023 (<https://www.ekonews.cz/farmari-si-mohou-vybirat-komu-prodaji-uhlikove-kredity-do-ceska-prichazeji-dalsi-firmy/>)
- Carrasquero-Durán, A., Flores, I. 2009. Evaluation of lead (II) immobilization by a vermicompost using adsorption isotherms and IR spectroscopy. *Bioresource Technology* 100: 1691-1694.
- Crecchio, C., Curci, M., Pizzigallo, M., Ricciuti, P., Ruggiero, P. 2004. Effects of municipal solid waste compost amendments on soil enzyme activities and bacterial genetic diversity. *Soil Biol. Biochem* 36: 1595–1605.
- Czekała, W., Malińska, K., Cáceres, R., Janczak, D., Dach, J., Lewicki, A. 2016. Cp-composting of poultry manure mixtures amended with biochar – The effect of biochar on temperature and C-CO₂ emission. *Bioresource Technology*. 200: 921-927.
- ČSN 46 5735. 2020. *Kompostování*, Praha.
- ČSN 46 5736. 2018. *Vermikomposty*, Praha.
- ČSN EN 15933. 2013. *Kaly, upravený bioodpad a půdy – Stanovení pH*.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q., Sherman, R. 2011. *Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management*. CRC Press, Boca Raton. ISBN 978-1-4398-0987-7.
- Garg, P., Gupta, A., Satya, S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*. 97: 391–395.

- Hanč, A., Plíva, P. 2013. Certifikovaná metodika: Vermikompostování bioodpadů. Česká zemědělská univerzita v Praze, Powerprint, Praha, 35s. ISBN: 978-80-213-2422-0.
- Ly, B.Y., Xing, M.Y., Yang, J., Qi, W.S., Lu, Y.S. 2013. Chemical and spectroscopic characterization of water extractable organic matter during vermicomposting of cattle dung. *Bioresource Technology* 132: 320–326.
- Malińska, K., Zabochnicka-Świątek, M., Dach, J. 2014. Effect of biochar amendment on ammonia emission during composting of sewage sludge. *Ecological Engineering*. 71: 474-478.
- Marcinčák, P. 2015. Matoliny a žížaly, ideální kombinace. *Vinařský obzor*. 108: 377.
- Ministerstvo zemědělství, Vyhláška č. 309/2024 Sb. ze dne 24. října 2024, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, Sbírka zákonů České republiky, 2009, částka 137/2000. Česká republika.
- Ministerstvo životního prostředí, Vyhláška č. 273/2021 Sb. Vyhláška o podrobnostech nakládání s odpady, Sbírka zákonů České republiky, 2021, částka 119/2021.
- Mironov, V., Zhukov, V., Moldon, I., Zagustina, N., Shchelushkina, A., Ostrikova, V., Kotova, I.B., Zhang, S. 2023. Pollutant emissions from municipal biowaste composting: comparative analysis and contribution of N-containing organic compounds. *Energies*, 16(21): 7271.
- OECD. 2021. Soil Carbon Sequestration by Agriculture. OECD Publishing. 40pp.
- OECD. 2022. Developing Consumption-Based Emission Indicators from Agriculture, Forestry and Land-Use (AFOLU). OECD Publishing. 17pp.
- O’Laughlin, J., Mcelligott, K. 2009. Biochar for Environmental Management: Science and Technology. Pages 535-536 in Lehmann, J., Stephen, M., editors. *Forest Policy and Economics*. Earthscan, London
- Plíva, P., Altman, V., Hanč, A., Hejátková, K., Roy, A., Souček, J., Valentová, L. 2016. Kompostování a kompostárny. ProfiPress s. r. o., Praha. ISBN 978-80-86726-74-8.
- Romero, E., Plaza, C., Senesi, N., Nogales, R., Polo, A. 2007. Humid acid-like fractions in raw and vermicomposted winery and distillery wastes. *Geoderma*. 139: 397–406.
- Tripathi, G., Bhardwaj, P. 2004. Decomposition of kitchen waste amended with cow manure using an epigeic species (*Eisenia fetida*) and an anecic species (*Lampito mauritii*). *Bioresource Technology*. 92: 215-218.
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia, Praha. ISBN: 978-80-200-2147-2.

Yuan, Y., Bolan, N., PrévotEAU, A., Vithanage, M., Biswas, J.K., Ok, Y.S., Wang, H. 2017. Applications of biochar in redox-mediated reactions. *Bioresource Technology*. 246: 271-281.

VIII. Seznam publikací, které předcházely metodice

Hřebečková, T., Košnář, Z., Hřčka, M., Mercl, F. 2024. Vermikompostování směsi bioodpadu s přídavkem biocharu. *Racionální použití hnojiv*, Praha, ČZU v Praze. 119-122. ISBN: 978-3-12732-320-7.

Brázdilová, T. 2025. Bakalářská práce. Implementace biocharu do vermikompostovacích směsí. *Česká zemědělská univerzita v Praze*, Praha, 44s.

Hanzal, L. 2025. Diplomová práce. Vliv přídavku biocharu na eliminaci vybraných polutantů během procesu kompostování a vermikompostování. *Česká zemědělská univerzita v Praze*, Praha, 86s.

IX. Jména oponentů a názvy jejich organizací

Posudek odborníka v daném oboru vypracovala:

Ing. Michaela Budňáková; Vodáková 259/12, 289 22, Lysá nad Labem

Posudek pracovníka příslušného odborného orgánu státní správy vypracoval/a:

Ing. Zuzana Pšerarová, Ministerstvo zemědělství ČR, (Odbor rostlinných komodit, Oddělení rostlinných vstupů), Těšnov 65/17, 110 00, Praha 1

X. Dedikace

Metodika je výsledkem řešení výzkumného projektu TAČR TQ03000050 a názvem „Implementace biocharu do kompostovacích a vermikompostovacích směsí“.

Osvědčení odborného orgánu státní správy

Osvědčení o uznání schválené metodiky (MZE-74287/2024-13123) vydalo Ministerstvo zemědělství ČR dne 4.11.2025.

Název: **Implementace biocharu do kompostovacích
a vermikompostovacích směsí
(schválená metodika)**

Vydala: **Česká zemědělská univerzita v Praze**

Autoři: **Ing. Tereza Hřebečková, Ph.D.
Ing. Zdeněk Košnář, Ph.D.
Ing. Filip Mercl, Ph.D.
Ing. Kamil Kraus, Ph.D.
Ing. Pavel Míchal, Ph.D.
prof. Ing. Pavel Tlustoš, CSc., dr.h.c.**

Oponenti: **Ing. Michaela Budňáková
Ing. Zuzana Pšererová**

Tisk: **Powerprint, Praha**

Náklad: **40 výtisků**

Počet stran: **32**

Rok vydání: **2025**

Vydání: **první**

Doporučená cena: **neprodejné**

ISBN: **978-80-213-3518-9**