

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

**Zpracování kalu z akvakultury prostřednictvím
vermikompostování**

Diplomová práce

Autor: Bc. Pavla Kolářová

Studijní program: Technologie odpadů (WASTEM)

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.

© 2023 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Zpracování kalu z akvakultury prostřednictvím vermikompostování" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 7. 4. 2023

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu práce doc. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. za vstřícnost, čas a dohled nad mou prací, dále Ing. Tereze Hřebečkové, Ph.D. a Ing. Janě Najmanové, Ph.D. za mnoho cenných rad, Bc. Victorii Demině za přátelskou a pozitivní spolupráci během laboratorních analýz a Tetianě Bihun za pomoc při odběrech. Děkuji svým rodičům za podporu a Rost'ovi za trpělivost a oporu během celého studia.

Diplomová práce byla vytvořena v rámci projektu NAZV č. QK21010207 a QK1910095.

Zpracování kalu z akvakultury prostřednictvím vermikompostování

Abstrakt

V rámci diplomové práce byla zpracována rešerše zaměřená na zpracování biologicky rozložitelných odpadů s využitím konkrétních biotechnologií, a následně uskutečněn experiment zahrnující vermikompostování akvakulturního kalu s využitím *Eisenia andrei*.

V první části experimentu byly připraveny dvě skupiny zpracovávaných materiálů. Polovinu tvořily kontrolní varianty, které neobsahovaly žížalí substrát, do druhé poloviny byl přidán substrát (matolina, jablečné výlisky a dřevní piliny) s násadou žížal. Jednalo se o čtyři základkové směsi — kal, kal + salát, kal + nasávaná kartonáž a kal + salát + nasávaná kartonáž ve třech opakováních. Vermikompostování probíhalo po dobu šesti měsíců. Vzorky jednotlivých variant byly odebrány při založení experimentu, měsíc od založení, tři měsíce od založení a šest měsíců od založení. Pro každý vzorek byly analyzovány následující parametry — pH, EC, sušina, počet a biomasa žížal (u variant se substrátem), celkové a přístupné obsahy prvků (Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, P, S, K), celkové a přístupné obsahy rizikových prvků (As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn), obsah C a N. Stanovené hypotézy byly prověřeny na základě změřených parametrů.

Vstupní poměr C:N samotného akvakulturního kalu byl velmi nízký ($6,48 \pm 0,08$), z tohoto důvodu byl smíchán s uhlíkově bohatým materiálem (nasávaná kartonáž). Z výsledků je patrné, že použití vermikompostů z akvakulturního kalu může být problematické z hlediska zvýšených obsahů zinku ve variantách tvořených 100 % kalem ($1837,8 \pm 49,2$ mg/kg), a směsí kal + salát ($1782,3 \pm 70,8$ mg/kg) — zinek se běžně vyskytuje v komerčních rybích krmivech. Dále bylo prokázáno, že přítomnost žížal zajistila zvýšení celkových obsahů i přístupných obsahů draslíku ve všech variantách obsahujících žížalí substrát. Varianty obsahující nasávanou kartonáž obsahovaly, narozdíl od ostatních variant, podlimitní hodnoty rizikových prvků. Ve variantách se žížalami bylo oproti kontrolním variantám statisticky významné snížení pH a hodnot přístupného Cd. V průběhu vermikompostování došlo ke snížení pH a NH_3 proti původnímu stavu.

Klíčová slova: vermikompostování, kal z akvakultury, odpady, *Eisenia andrei*

Aquaculture sludge treatment through vermicomposting

Abstract

As part of the diploma thesis, research focused on the processing of biodegradable waste using specific biotechnologies was carried out, followed by an experiment involving vermicomposting of aquaculture sludge using *Eisenia andrei*.

In the first part of the experiment, two groups of processed materials were prepared. Half consisted of control variants that did not contain earthworm substrate, the other half was supplemented with a substrate (mud, apple pomace and sawdust) with earthworms. There kinds of mixtures were prepared — sludge alone, sludge + lettuce, sludge + cardboard pulp and sludge + salad + cardboard pulp, each in three repetitions. Vermicomposting took place for six months. Samples of individual variants were taken at the start of the experiment, one month from the start, three months from the start and six months from the start. The following parameters were analyzed for each sample — pH, EC, dry matter, number and biomass of earthworms (for the variants with substrate), total and accessible element contents (Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, P, S, K), total and accessible contents of toxic elements (As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn), C and N contents. The established hypotheses were verified based on the measured parameters.

The input C:N ratio of the aquaculture sludge itself was very low (6.48 ± 0.08), which is why it was mixed with carbon-rich material (the cardboard pulp). The results show that the use of vermicomposts from aquaculture sludge can be problematic in terms of increased zinc contents in variants consisting of 100 % sludge (1837.8 ± 49.2 mg/kg) and a mixture of sludge + lettuce (1782.3 ± 70.8 mg/kg) — zinc is commonly found in commercial fish feed. Furthermore, it was proven that the presence of earthworms caused an increase in both total and accessible content of potassium in all variants containing earthworm substrate. Unlike the other variants, the variants containing cardboard pulp showed below-limit values of toxic elements. The presence of earthworms had a statistically significant effect (decrease) on both pH and accessible Cd content. During vermicomposting both pH and NH_3 decreased.

Keywords: vermicomposting, sludge from aquaculture, wastes, *Eisenia andrei*

Obsah

1. Úvod	9
2. Vědecká hypotéza a cíle práce	10
3. Literární rešerše	11
3.1. Biologicky rozložitelný odpad	11
3.2. Kompostování	12
3.2.1. Zakládka.....	13
3.2.2. Mineralizační fáze.....	13
3.2.3. Přeměnná fáze.....	13
3.2.4. Dozrávací fáze (syntéza).....	14
3.3. Vermikompostování	14
3.3.1. Princip.....	15
3.3.2. Podmínky nutné pro správný průběh procesu	16
3.3.3. Žížaly a mikroorganismy	18
3.3.4. Vermikompostovací systémy	21
3.3.5. Ekonomické aspekty verмикompostování	22
3.4. Surovinová skladba verмикopostovaného materiálu	23
3.4.1. Nasávaná kartonáž.....	24
3.4.2. Listový salát.....	25
3.4.3. Matolina	25
3.4.4. Jablečné výlisky	26
3.4.5. Dřevní štěpka a piliny	27
3.4.6. Suroviny nevhodné pro verмикompostování.....	28
3.4.1. Vlastnosti verмикompostu a jeho účinek na rostliny.....	28
3.5. Vermikompostování a cirkulární ekonomika	30
3.6. Akvakultura	32
3.6.1. Recirkulační akvakulturní systém.....	32
3.6.2. Možnosti zpracování akvakulturního kalu	33
4. Metodika	35
4.1. Design experimentu	35
4.1.1. Vstupní suroviny a substrát	36
4.1.2. Odběr vzorků	38
4.2. Laboratorní analýzy	38
4.2.1. Stanovení pH a EC.....	38
4.2.2. Stanovení obsahu sušiny	39
4.2.3. Stanovení celkových obsahů prvků	40
4.2.4. Stanovení celkového obsahu uhlíku a dusíku.....	43

4.2.5. Stanovení přístupných prvků metodou CAT.....	44
4.3. Statistické zpracování dat.....	46
5. Výsledky.....	47
5.1. Obsah NH ₃ v průběhu vermikompostování.....	47
5.2. Množství sušiny ve vstupních surovinách a směsích.....	48
5.3. Hodnoty pH.....	49
5.3.1. Založení pokusu.....	50
5.3.2. Druhý odběr.....	50
5.3.3. Třetí odběr.....	50
5.3.4. Ukončení pokusu.....	50
5.4. Měrná elektrická vodivost.....	51
5.4.1. Založení pokusu.....	51
5.4.2. Druhý odběr.....	52
5.4.3. Třetí odběr.....	52
5.4.4. Ukončení pokusu.....	52
5.5. Objemová hmotnost.....	53
5.6. Celkové obsahy prvků.....	54
5.6.1. Založení pokusu.....	54
5.6.2. Druhý odběr.....	55
5.6.3. Třetí odběr.....	55
5.6.4. Ukončení pokusu.....	56
5.7. Přístupné obsahy prvků.....	57
5.7.1. Založení pokusu.....	57
5.7.2. Druhý odběr.....	57
5.7.3. Třetí odběr.....	58
5.7.4. Ukončení pokusu.....	58
5.8. Celkové obsahy uhlíku a dusíku.....	60
5.8.1. Založení pokusu.....	60
5.8.2. Ukončení pokusu.....	61
5.9. Množství a biomasa žížal.....	61
5.10. Statistické šetření.....	62
5.10.1. Rozdělení dat.....	62
5.10.2. Hypotéza č. 1.....	62
5.10.3. Hypotéza č. 2.....	64
5.10.4. Hypotéza č. 3.....	65
6. Diskuse.....	67
6.1. Obsah NH ₃	67
6.2. Sušina.....	67
6.3. pH.....	67

6.4. Měrná elektrická vodivost	68
6.5. Objemová hmotnost	68
6.6. Celkové obsahy prvků.....	69
6.7. Přístupné obsahy prvků.....	69
6.8. Celkové obsahy C a N.....	70
6.9. Počet a biomasa žížal	70
7. Závěr.....	72
8. Literatura.....	73
9. Seznam použitých zkratek a symbolů.....	85
10. Samostatné přílohy	I

1. Úvod

Problematika odpadů rezonuje společností více než kdy dříve. Vzhledem k rozmachu konzumního stylu života nejen ve vyspělých zemích, je nutné zajistit včasná a environmentálně zodpovědná řešení ve zpracování a zhodnocování odpadu. Přejít na cirkulární ekonomiku dnes už nepředstavuje pouze volbu, ale jedná se o bezpodmínečně nutný cíl. A tento cíl nemusí být tak nedosažitelný, jak se může zdát. Nejen v oblasti oběhového hospodářství se posouváme takřka každým dnem. Vyvíjí se moderní technologie pro třídění, separaci a následné zpracování odpadů, odpadní materiály se v řadě případů stávají cennými surovinami a podniky často motivují spotřebitele k environmentálně zodpovědnějšímu přístupu a chování.

Nezanedbatelnou část odpadů tvoří biologicky rozložitelné odpady vznikající v důsledku zemědělské a chovatelské činnosti, dále v domácnostech a stravovacích zařízeních. Takovým odpadem je i akvakulturní kal produkovaný při chovu ryb v akvakultuře. Jedná se o specifický materiál, který můžeme připodobnit k čistírenskému kalu, nicméně fyzikálně-chemické parametry, stejně jako obsahové látky, bývají velmi rozdílné. Rovněž jeho použití mimo místo vzniku je značně problematické, protože se jím současná legislativa dostatečně nezaobírá (na rozdíl od čistírenských kalů). Nicméně jej lze zpracovávat podobně jako kaly z ČOV.

Optimálním řešením v oblasti zpracování biologicky rozložitelných materiálů je využití biotechnologií. Mezi běžně využívané biotechnologie patří zejména kompostování, a v poslední době i vermikompostování, které se stalo oblíbenou technologií i v domácích podmínkách. Hlavním přínosem je ekonomická a technologická nenáročnost celého procesu a vznik kvalitního a živinově bohatého substrátu. Během vermikompostování navíc vzniká výluh, který je následně možné použít jako alternativu minerálních hnojiv. Vermikompost je možné aplikovat na zemědělskou půdu, ale i do parků nebo zahrad.

Žížaly ve spolupráci s mikroorganismy již několikrát prokázaly schopnost velmi významné biodegradace, odstraňování různých polutantů (rizikových prvků, farmak, endokrinních disruptorů aj.) a zpřístupňování prvků nepostradatelných pro správný vývoj a růst rostlin. Tato diplomová práce se věnuje možnosti využití žížal ve zpracování akvakulturních kalů tak, aby došlo k jejich zhodnocení a možnosti dalšího využití.

2. Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce je identifikovat faktory ovlivňující aktivitu žížal, zjistit míru účinnosti rozkladu akvakulturního kalu prostřednictvím vermikompostování a ověřit, zdali je tento způsob zpracování odpadu vhodným řešením.

Hypotézy práce:

1. Samotný kal z akvakultury není vhodný pro vermikompostování.
2. Přídavek nasávané kartonáže ke kalu zvýší počet a biomasu žížal.
3. V základních agrochemických parametrech budou průkazné rozdíly mezi materiálem zpracovaným žížalami a bez nich.

3. Literární rešerše

V současné době je problematika odpadů jedním z nejdiskutovanějších témat. K tomu přispívá fakt, že se jedná o vážný celosvětový problém. V roce 2020 bylo celosvětově vyprodukováno 2,24 miliard tun pevného odpadu, což odpovídá bezmála 0,8 kg na osobu za den. Vzhledem k závratnému populačnímu růstu se může produkce odpadu do roku 2050 přiblížit číslu 4 mld tun, a proto je nezbytné začít jednat co nejdříve a produkci odpadu omezit (Solid Waste Management 2022).

S rostoucím množstvím odpadu souvisí i významné znečišťování životního prostředí (vody, ovzduší a půdy) a ztráta biologické diverzity organismů. Odstraňování odpadu, zejména prostřednictvím skládkování, značně přispívá ke globálnímu oteplování, jelikož skládky pevného odpadu emitují velké množství skleníkových plynů, zejména CO₂ a CH₄. Emise produkované odpadovým hospodářstvím v EU v roce 2019 představovaly přibližně 108 mil. tun CO_{2ekv}, což odpovídá 3,1% celkové emisní produkce (Greenhouse gas emission by IPPC source sector EU 2021). Jednotlivá odvětví (potravinářství, zemědělství atd.) produkují množství organicky rozložitelného odpadu se surovinovým potenciálem. Značnou část představují odpady ze zemědělství, u nichž téměř 80 % připadá na organickou frakci (Bharagava 2020). Takový odpad lze využít v řadě procesů, kterými jsou kompostování, biometanace nebo vermikompostování. Poslední zmíněný proces se v posledních letech stal velmi oblíbeným nástrojem pro zpracování biologicky rozložitelného odpadu (živočišný, zemědělský, komunální a průmyslový odpad) (Sharma et Garg 2019).

3.1. Biologicky rozložitelný odpad

Ačkoliv je dle hierarchie odpadového hospodářství hlavní prioritou předcházení vzniku odpadu, ne vždy je toho možné docílit. Z toho důvodu je nakládání se vzniklým odpadem ošetřeno legislativně zákonem č. 541/2020 Sb. *Zákon o odpadech*. Odpad je definován jako každá movitá věc, které se osoba zbavuje, má úmysl nebo povinnost se jí zbavit. Odpad je dále zařazen do kategorie (NO, OO) a druhu (dle katalogu odpadů), biologicky rozložitelný odpad (BRO) spadá dle *přílohy č. 1 vyhlášky MŽP 8/2021 Sb., o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů* do několika druhů (02, 03, 04, 10, 15, 17, 19 a 20). BRO podléhá anaerobnímu nebo aerobnímu rozkladu. Biologicky rozložitelný materiál může kompostovat každý, při jehož činnosti materiál vzniká, a vzniklý kompost je možné použít výhradně pro své vlastní potřeby, případně jej odevzdat v souladu se zákonem č. 156/1998 Sb. *Zákon o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)*. Výjimku tvoří biologicky rozložitelný materiál živočišného původu, se kterým lze nakládat pouze v zařízeních k tomu určených (splňujících požadavky na zpracování vedlejších produktů živočišného původu). Pokud vzniklý kompost není využit pro vlastní potřebu a není s ním nakládáno v souladu se zákonem č. 156/1998 Sb., jedná se o odpad (Zákon č. 541/2020 Sb.). Kompost lze dle několika tříd (I, II, III) použít rovněž při rekultivacích, a to v souladu s vyhláškou č. 8/2021 Sb. *o katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů*. Třída I

zahrnuje prostranství určená pro zeleň v okolí obytných, rekreačních a sportovních ploch. Třída II představuje plochy určené pro parky, městskou zeleň a intravilán průmyslových zón. Zároveň je stanoven množstevní limit (200 t sušiny na 1 ha za 10 let). Kvalitativní třída III je určena pro tvorbu rekultivačních vrstev při uzavírání skládek tuhých odpadů, odkališť a také jako výplň biofiltrů.

Technologické požadavky (teplota, množství žížal v zakládce, vlhkost a monitoring) na zpracování BRO prostřednictvím vermikompostování stanovuje § 48 Vyhlášky č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. Vermikompostování je dále ošetřeno českou technickou normou ČSN 46 5736, která stanovuje podmínky, za jakých může být vermikompost připravován, a dále popisuje požadované kvalitativní vlastnosti a maximální obsahy rizikových prvků u hotových vermikompostů (ČSN 46 5736).

3.2. Kompostování

Převážnou část pevného komunálního odpadu tvoří biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO). Převládajícím způsobem odstraňování tohoto druhu odpadu bylo ještě do nedávna skládkování, spalování v lepším v případě. V dnešní době se celá řada států rozhodla jít udržitelnější cestou a snaží se zajistit materiálové zhodnocení BRKO. K takovému zhodnocení může dojít řadou biologických procesů, z nichž nejběžnější jsou kompostování a anaerobní digesce. Oba procesy probíhají v anaerobních a aerobních podmínkách a jsou založeny na biologickém rozkladu organické hmoty. Vedle stabilizované organické hmoty (kompostu) dochází k produkci vody, minerálů a částečně CO₂ (Cerda et al. 2018; Degli-Innocenti 2021; Adhikary 2012).

Odklon organického materiálu ze skládek pevného odpadu do kompostáren je vhodným řešením ve vztahu k životnímu prostředí. Dochází ke snížení emisí skleníkových plynů, zejména methanu a oxidu uhličitého, a v neposlední řadě ke zlepšování fyzikálně-chemických vlastností půd aplikací kvalitního kompostu. Biologicky rozložitelný komunální odpad je vysoce heterogenní směs s různým poměrem organických látek, vlhkosti a nežádoucích nečistot (Cerda et al. 2018; Bernstad Saraiva Schott et al. 2016; Degli-Innocenti 2021). Aby na konci kompostovacího procesu stál kvalitní kompost, je bezpodmínečně nutné celý proces řídit a dostatečně monitorovat. Správným složením počáteční směsi určené ke kompostování a následnou péčí rovněž eliminujeme potenciální zápach spojený se špatným průběhem kompostování. Nicméně zápach nelze vždy stoprocentně eliminovat, jelikož je velmi obtížné dosáhnout aerobních podmínek ve všech částech kompostovaného materiálu (Dominguez & Edwards 2010). Je nutné vzít v potaz, že kompostování je živý systém založený na živých organismech (Cerda et al. 2018; Bernstad Saraiva Schott et al. 2016; Degli-Innocenti 2021).

Kompostování můžeme dle technologického hlediska rozdělit do čtyř skupin. První skupinou je *kompostování na volné ploše* a jedná se o plošné nebo pásové hromady. Tento způsob je v českých průmyslových kompostárnách zastoupen nejčastěji. Dále se setkáme s *kompostováním ve vacích* nebo s *intenzivní formou kompostování* v biofermentorech,

žlabech a boxech. Čím dál atraktivnější je však poslední skupina, a tou je *vermikompostování*.

3.2.1. Zakládka

Jak již bylo řečeno, k dosažení kvalitního kompostu je nezbytné zajistit vhodné složení kompostované směsi. Při korektním nastavení receptury můžeme předejít hnilobným procesům a zajistit dostatečný rozvoj mikroorganismů potřebných ke správnému průběhu kompostování (Tognetti et al. 2005). V této přípravné fázi dochází ke smísení surovin s různými biodegradačními schopnostmi a různými poměry C/N. Například lignin je velmi stabilní a tvoří tak základní strukturu kompostu. Oproti tomu celulóza je lépe rozložitelná a do celého procesu přináší potřebnou energii a biomasu. Zmíněná energie je nezbytná k dosažení požadované teploty uvnitř kompostované směsi, aby nebylo nutné energii dodávat z vnějšího zdroje. Jedná se o *exotermickou* reakci. K zajištění dostatečné poréznosti je ideální do vstupní směsi přidávat dřevní štěpku, piliny nebo slámu. Součástí zakládky jsou čím dál častěji obalové materiály na bázi celulózových vláken nebo na bázi biodegradabilních plastů. Vstupním surovinám je věnována samostatná kapitola 3.4 (Degli-Innocenti 2021). Po založení vstupního materiálu následují samotné fáze kompostování. Různí autoři uvádějí odlišný počet fází kompostovacího procesu, nicméně se shodují na tom, že proces zahrnuje fázi termofilní a dozrávací (Degli-Innocenti 2021; Waszkielis et al. 2013; Dominguez & Edwards 2010).

3.2.2. Mineralizační fáze

Kompostování zahrnuje urychlenou degradaci organické hmoty činností mikroorganismů za řízených podmínek (Dominguez & Edwards 2010). První fáze, aktivní, je spojena s vysokou mikrobiální aktivitou termofilních mikroorganismů. Během této fáze dochází k prudkému nárůstu teploty uvnitř hromady na 50-70 °C. Fáze rozkladu probíhá obvykle tři až čtyři týdny, rozkládají se snadno rozložitelné látky (bílkoviny, škrob) a z materiálu jsou eliminovány organismy patogenní pro rostliny a člověka (hygienizace). Živiny vázané v organické hmotě přecházejí zčásti do původní minerální formy (Degli-Innocenti 2021; Waszkielis et al. 2013; Dominguez & Edwards 2010). Jednou z hlavních nevýhod procesu kompostování je ztráta cenného dusíku, jenž v průběhu termofilní fáze uniká ve formě NH₃ do ovzduší (Dominguez & Edwards 2010).

3.2.3. Přeměnná fáze

Přeměnná neboli mezofilní fáze je charakteristická rychlým metabolickým rozkladem labilních substrátů bohatých na uhlík. S touto metabolickou aktivitou se pojí mezofilní mikroorganismy — aktinomycety, houby a bakterie preferující mírnější teploty v rozmezí 15–40 °C. Provdzušňováním substrátu dochází k dočasnému snižování teploty (Fischer & Glaser 2012; Hanč & Hřebečková 2023). Mezofilní fáze se obvykle rovněž vyznačuje eliminací fyto toxinů (Dominguez & Edwards 2010).

3.2.4. Dozrácí fáze (syntéza)

Během dozrácí fáze dochází k zanedbatelným úbytkům hmotnosti materiálu, protože kompost se již přibližuje finální podobě. Teplota kompostu se vyrovnává s teplotou okolního prostředí. Zároveň se jedná o fázi, kdy je možné pozorovat zvýšení činnosti půdních makroorganismů (žížaly, stonožky atd.), které mimo jiné podporují vznik pevných vazeb mezi organickými a anorganickými sloučeninami. Výsledkem dozrácí fáze je stabilní a kvalitní humus s vysokým obsahem živin přístupných pro rostliny (Degli-Innocenti 2021; Erhart & Hartl 2008; Hejátková 2007).

3.3. Vermikompostování

Vermikompostování je hojně praktikovanou metodou v souvislosti s využitím biologicky rozložitelných odpadů. Jedná se o proces kompostování, při kterém jsou využívány endogeické, anekické a epigeické druhy žížal, zejména *Eisenia fetida*, *Eisenia andrei*, *Perionyx excavatus* a *Eudrilus eugeniae*. Tyto druhy jsou nejhojněji využívané zejména díky vysoké míře reprodukce, vysoké rychlosti vermikonverze, toleranci vůči širokému spektru podmínek prostředí a schopností žít se širokou škálou BRO — jedná se o tzv. *r-stratégy* (Sharma & Garg 2019; Gupta & Garg 2009).

Na rozdíl od většiny minerálních používaných hnojiv má vermikompost řadu výhod, a proto je hojně využíván v ekologickém zemědělství. Obsahuje huminové kyseliny, růstové hormony a značné množství živin ve formách dostupných pro rostliny. Řada výzkumů (Hussain & Abbasi 2018; Sharma & Garg 2018 et 2019) také potvrdila, že aplikace vermikompostu nejen na zemědělskou půdu může značně zvýšit klíčivost semen, ale i vegetativní růst pěstovaných plodin, a to aniž by došlo k ohrožení úrodnosti a zdraví půdy. Aplikací vermikompostu dochází ke zlepšení biologických a fyzikálně-chemických vlastností půdy, rozvoji prospěšných mikroorganismů a v některých případech i k odpuzování určitých druhů rostlinných škůdců. Výsledný produkt vermikompostování je navíc ve srovnání s klasickým kompostem jemnější a homogennější (Pereira et al. 2014; Hussain & Abbasi 2018; Sharma & Garg 2018; Simsek-Ersahin 2011; Hanč & Dreslová 2016; Kováčik et al. 2022).

Vermikompostování může být dle různých studií (Zhu et al. 2017; Sharma & Garg 2019; Pereira et al. 2014; Javed & Hashmi 2021) užitečné nejen při zúrodnování zemědělských půd, ale i v dalších oblastech, jakými jsou různé půdní remediace (vermiremediace) a sanace, čištění odpadních vod nebo citlivé analytické metody pro kvantifikaci toxických kovů. K posledním dvěma zmíněným oblastem se používají zejména fytotoxické vermikomposty nebo vermikomposty s nízkou hladinou živin (Pereira et al. 2014). Velkou výhodou je totiž nízká pořizovací cena a poměrně snadná dostupnost. To jsou hlavní faktory, které vedly k rozličným pokusům při dekontaminacích odpadních vod a čistírenských kalů. Je tedy ověřeno, že prostřednictvím vermikompostování můžeme z odpadních vod (a kalů) efektivně a ekonomicky odstranit různé znečišťující látky, zejména těžké kovy. Právě při dekontaminaci odpadních vod byla prokázána zvýšená

schopnost adsorpce těžkých kovů (Javed & Hashmi 2021; Pereira et al. 2014; Goswami et al. 2017, Villar et al. 2016, Zhu et al. 2017). Nicméně tento postup dekontaminace včetně dekontaminace půd není hojně využíván, jelikož nedochází k využití živinového potenciálu vermikompostů. Vzhledem k tomu, že se jedná o biotechnologii, při které jsou využívány žížaly, je zde také omezeno použití při rozsáhlých kontaminacích s vysokými koncentracemi toxických kontaminantů. Řada kontaminantů, jakými jsou polycyklické aromatické uhlovodíky (PAH), ropné deriváty, rizikové prvky a toxické kovy (Cu, Zn, Mn, Fe, Cr, Cd), barviva atd., je ve velkých koncentracích pro používané kroužkovce smrtelná (Pereira et al. 2014; Sharma & Garg 2019; Javed & Hashmi 2021; Paradelo et al. 2019).

Kvalitní vermikomposty mají velký potenciál pro potlačení širokého spektra patogenů způsobujících závažné rostlinné choroby. Mezi těmito patogeny můžeme nalézt *Pythium*, *Fusarium*, *Phytophthora*, *Veticillium*, *Rhizoctonia* atd. Tyto patogeny se běžně vyskytují v různých druzích biologicky rozložitelného odpadu – separovaná mléčná sušina, živočišné hnoje, čistírenské kaly, chlévská mrva, rostlinné kuchyňské odpady aj. (Simsek-Ersahin 2011; Gupta & Garg 2009). Aplikace vermikompostů ze zvířecích hnojů prokazatelně inhibují aktivitu houbových kořenových patogenů. Přidání vermikompostů do zeminy k rajčatům může významně snížit infekce způsobené *Phytophthora nicotianae* a *Fusarium oxysporum* (Simsek-Ersahin 2011; Dominguez & Edwards 2004). V případě rajčat nebo zelí je pro dosažení významné stimulace růstu, kvality a životnosti vhodné vermikompost kombinovat s klasickým kompostem (Goswami et al. 2017).

Abychom maximalizovali pozitivní aspekty vermikompostů, je nutné je aplikovat s notnou dávkou racionality. Aplikování vermikompostů do půdy v nevhodných termínech nebo použití nekvalitních vermikompostů zpomaluje klíčivost řady rostlin, klesá výnosnost, a v krajních případech může dojít ke zhoršení kvality životního prostředí (Kováčik et al. 2018).

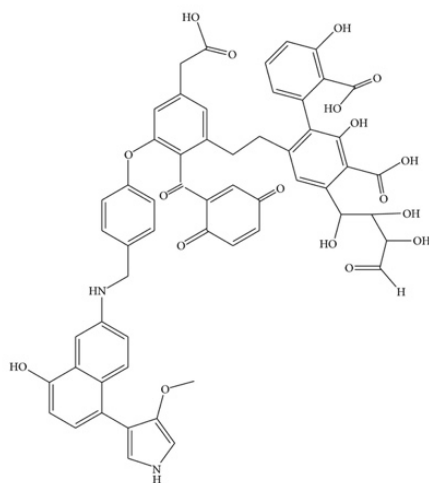
3.3.1. Princip

Vermikompostování je přirozený biooxidační mezofilní rozklad, při němž využíváme synergismu žížal a mikroorganismů. Jejich činností dochází k mineralizaci biologicky rozložitelných odpadních organických substrátů na produkt bohatý na živiny. Výsledkem je tedy vysoce kvalitní kompost — vermikompost (Sharma & Garg 2019; Hanč 2018). Během vermikompostování se mění fyzikálně-chemické (poměr C:N, pH, barva, zápach, množství organické hmoty, NPK, elektrická vodivost, množství těžkých kovů) a biologické (počty a složení kolonií hub, bakterií, množství hormonů a enzymů) vlastnosti (Sharma & Garg 2019). Zvýšení nebo snížení hodnoty pH je závislé na vstupním odpadním materiálu a dále na samotném průběhu vermikompostování (Lv et al. 2016; Malińska et al. 2016). Z hlediska urychlení celého procesu je ideální využívat polykultury namísto monokultur, díky čemuž může vermikompostování probíhat současně v různých vrstvách půdy (Goméz-Brandón et al. 2014). V průběhu humifikačního procesu dochází ke štěpení biopolymerů na drobné fragmenty, které jsou následně spojovány a vytvářejí různě velké huminové prekurzory. Během dlouhého procesu, při němž jsou dodržovány ideální

vlhkostní a teplotní podmínky (viz kapitola 3.3.2), vznikají tři hlavní skupiny huminových látek — huminové kyseliny (HA), huminy a fulvokyseliny (FA). Jedná se o látky obtížně rozložitelné, které se mimo jiné liší svou rozpustností ve vodě. Nejlépe rozpustné jsou FA, naopak huminy jsou nezávisle na koncentraci vodíkových iontů ve vodě velmi omezeně rozpustné. Tyto látky jsou významné pro další výživu rostlin. Huminové sloučeniny se vyznačují velmi složitou strukturou (Obr. 1) a pravděpodobnost nalezení dvou totožných molekul v přírodě je téměř nulová. Molekulové hmotnosti huminových látek se pohybují v rozmezí 0,5-5 kDa pro FA a 3–1000 kDa pro HA (Stevenson 1994; Pereira et al. 2014; Hussain & Abbasi 2018; Sharma & Garg 2018 et 2019).

Vermikompostování by se dalo rozdělit na dvě fáze — fázi aktivní a fázi podobnou dozrávání. Během aktivní fáze dochází ke zpracování odpadního materiálu žížalami, dále k modifikaci mikrobiálního složení a k fyzikálním změnám (Lores et al. 2006; Dominguez & Edwards 2010). Během druhé fáze, která by se dala považovat za fázi dozrávací, dochází k přesunu žížal do čerstvějších vrstev, kde ještě není materiál zpracován, a zde začínají úřadovat dekompozitní mikroorganismy. Tyto mikroorganismy degradují žížalami zpracované materiály a uvolňují řadu látek ve formách dostupnějších pro rostliny. Jako příklad můžeme uvést uvolňování fosforu z organického odpadu činností střevních fosfatáz žížal, který je následně mikroorganismy přeměněn na biologicky dostupnější formy (Dominguez & Edwards 2010; Goméz-Brandón et al. 2014; Ramnarain et al. 2019).

Ideální variantou je kombinace kompostování a vermikompostování, díky čemuž lze dosáhnout stabilizovaných substrátů. Kompostování hygienizuje použité odpady a eliminuje toxické sloučeniny a následné vermikompostování zajistí zvýšení dostupnosti živin (Ndegwa & Thompson 2001).



Obrázek 1 Strukturální fragment HA dle Vanloon 2000

3.3.2. Podmínky nutné pro správný průběh procesu

Na rozdíl od klasického termického kompostování probíhá vermikompostování při odlišných podmínkách. Jak je již známo, kompostování i vermikompostování jsou aerobní procesy, při nichž dochází k rozkladu organické hmoty a výsledkem je surovina zvaná kompost, respektive vermikompost. Jako vedlejší produkt vzniká oxid uhličitý, voda a

energie. Část vzniklé energie je spotřebována na metabolické procesy a zbytek je vyzářen ve formě tepla. Ačkoliv se jedná o relativně podobné procesy s analogickým produktem, podmínky a samotný průběh se liší (Paradelo et al. 2019; Oshins et al. 2022; Dominguez & Edwards 2010).

Během vermikompostování nenastává termická fáze, která je vzhledem k přítomnosti žížal nežádoucí. Naopak, při vermikompostování by teplota neměla přesáhnout 35 °C. Dlouhodobé působení, byť jen lehce zvýšených teplot může mít pro žížaly katastrofické důsledky končící zpravidla smrtí. Co se týče spodního teplotního limitu, jsou žížaly schopny omezeně zpracovávat odpadní materiál do 9 °C, pokud dojde k dalšímu poklesu teplot, proces se zastaví (Oshins et al. 2022; Dominguez & Edwards 2010; ČSN 46 5736).

Důležitým ukazatelem kvalitního vermikompostu je rovněž poměr C:N, který by se měl u zakládky pohybovat ideálně v rozmezí 25-30:1. Zakládka může obsahovat nejrůznější druhy odpadního materiálu — BRKO, odpady ze zahrad a zemědělství (včetně živočišných odpadů), čistírenské kaly, odpady z lihovarnictví, cukrovarnictví a pivovarnictví (Hanč 2018).

Tabulka 1 Hlavní rozdíly mezi kompostováním a vermikompostováním (upraveno dle Dominguez et al. 2010; Paradelo et al. 2019; Oshins et al. 2022)

	Vermikompostování	Běžné kompostování
Vstupní suroviny	BRO	BRO
Požadované teplotní rozmezí	15–30(35) °C	různé fáze: 15–70 °C
Požadovaná vlhkost	80–85 (60–90) %	55–60 %
Fáze	biologická oxidace, stabilizace organické hmoty	mineralizační (termická), přeměnná, dozrávací
Mechanické provzdušňování	žížaly	překopáváním (nejčastěji)
Hygienizace	enzymatická	termická
Časová náročnost	4–12 měsíců (pásové hromady), 4–8 týdnů (kontinuální reaktorové systémy)	6–8 týdnů (pásové hromady), 4–8 týdnů (boxy), 8–12 týdnů (vaky)
Kvalita výsledného produktu	vyšší než v případě kompostu	nižší než v případě vermikompostu
Obsah živin	vyšší než v případě kompostu	nižší než v případě vermikompostu
Cena výsledného produktu	vyšší než v případě kompostu	nižší než v případě vermikompostu

Neopomenutelnou podmínkou je poměrně vysoká vlhkost (75–82 %). Je nezbytné, aby po celou dobu procesu byla zajištěna dostatečná vlhkost zpracovávaného substrátu. Optimální vlhkost a dostatek kyslíku pozitivně ovlivňují počet a kvalitu mikroorganismů nezbytných pro huminifikační proces. Pro normální růst, reprodukci a funkci buněk dále mikroorganismy potřebují kvalitní zdroj uhlíku, makroživin (N, P, K etc.), mikroživin a stopových prvků. Tyto podmínky jsou však většinou zajištěny právě aplikací organických odpadních materiálů do zakládky (Dominguez & Edwards 2010; Paradelo et al. 2019; ČSN 46 5736). Rozdíly mezi kompostováním a vermikompostováním shrnuje tabulka č. 1.

Ačkoliv se pro vermikompostování používá celá řada odpadních produktů, existují i odpadní materiály, které se pro vermikompostování nehodí. Není vhodné používat živočišné produkty (maso, kosti a mléčné výrobky), citrusy, velké množství trávy a listů nebo materiály s vysokým obsahem solí (Hussain & Abbasi 2018; Hanč 2018).

Neméně podstatnými jsou množství a vitalita žížal, které jsou součástí vsadby do daného vermikompostu. Je vhodné volit druh žížal podle zpracovávaného materiálu, jelikož některé druhy jsou odolnější vůči různým kontaminantům. Zároveň záleží, v jaké vrstvě chceme materiál zpracovávat a na základě toho volit vhodný druh — epigeický, anekický, endogeický (Goméz-Brandón et al. 2014).

3.3.3. Žížaly a mikroorganismy

Žížaly jsou dvoustraně souměrné organismy řadící se do kmene *Annelida* (kroužkovci), podkmene *Clitellata* (opaskovci), třídy *Oligochaeta* (máloštetinatci). Jedná se o jednu z nejdůležitějších skupin půdní makrofauny. Stavba těla žížal je poměrně jednoduchá s homonomní segmentací. V každém článku, mimo koncových, se nachází dva coelomové váčky, metanefridie a nervová ganglia. Jak již název podkmene napovídá, tyto živočichové mají kožní žlázy a zduřelé tělní články tvořící opasek, který jim slouží k rozmnožování. Opasek má dvě základní funkce — usnadnění přenosu spermií prostřednictvím výměšků a tvorbu kokonu k ochraně vajíček. V pokožce se nachází hmatové a světločivné buňky, díky nimž žížaly rozeznávají tmou a světlo. Jde o důležitou fyziologickou vlastnost, jelikož se jedná o fotofobní organismy (Sedlák 2002; Cambell & Reece 2006).

Žížaly obývají téměř všechny kontinenty (vyjma Antarktidy) a nalezneme je zejména v půdním substrátu, kde fragmentují a dekompozují organickou hmotu (saprofágové). K neutralizaci některých kyselin, obsažených v organické hmotě, jim slouží vápenaté žlázy ústící do jícnu. Trávení a vstřebávání probíhá ve střevě, ve kterém se nachází *typhlosolis* zvětšující plochu střeva (Schlaghamerský et al. 2020). Vnitřní strana střeva je pokrytá hlenem obsahujícím proteiny a polysacharidy. Kromě hlenu je střevo bohatě zásobeno symbiotickými mikroorganismy (bakterie, houby a prvoci) (Pathma & Sakthivel 2012). Vylučování zajišťují kožní, septální a faryngeální nefridie, ve kterých jsou přítomny gramnegativní bakterie (Davidson & Stahl 2006). Výsledkem trávení jsou speciální výměšky, bohaté na řadu významných látek. Mezi tyto látky patří stimulační fytohormony (auxiny, cytokininy a gibereliny), $N-NO_3^-$ a $N-NH_4^+$, ionty Ca^{2+} , Mg^{2+} a K^+ , $H_2PO_4^-$ a volné aminokyseliny (AMK) (Kumar et al. 2021; Schlaghamerský et al. 2021).

Za „žížaly“ je světově považováno přes 5500 druhů kroužkovců. V Česku se vyskytuje přibližně 60 druhů, které nalezneme nejčastěji v lužních lesích, lučních půdách a eutrofních prameništích. Naopak půdy s nízkými hodnotami pH jsou na žížaly velmi chudé. Jak již bylo řečeno dříve, rozlišujeme tři základní ekologické skupiny žížal. Žížaly *anekické* (hlubinné) jsou mohutné druhy charakteristické tvorbou hlubokých vertikálních chodeb. V případě *endogeických* žížal se jedná o středně velké druhy kolonizující svrchní vrstvy minerálního půdního komplexu. Třetí skupina — *epigeické* žížaly, se nachází v povrchových, organických vrstvách a na rozdíl od předchozích skupin nevytváří chodby.

Poslední jmenovaná skupina je pro vermikompostování nejvýznamnější. Příklady zástupců používaných pro vermikompostování biologicky rozložitelného odpadu znázorňuje tabulka č. 2. Jedná se o žížaly menší velikosti s rovnoměrnou pigmentací, krátkým životním cyklem a vysokou rychlostí rozmnožování. Zároveň u nich byla pozorována velmi dobrá regenerační schopnost (Pathma & Sakthivel 2012). Žížaly ovlivňují strukturu a složení mikrobiálních společenstev. To je způsobeno provzdušňováním a fragmentací organické hmoty, čímž dochází ke zvětšení povrchu částic, které jsou následně pro mikroorganismy dostupnější (Kumar et al. 2021; Schlaghamerský et al. 2020; Domínguez et al. 2019). Předchozí studie navíc prokázaly, že metabolická činnost žížal vede ke snížení počtu patogenních organismů, jakými jsou termotolerantní koliformní bakterie (*Escherichia coli*), *Enterococcus* spp., a rod *Salmonella* v prasečím a kravském hnoji a v matolině (Karimi et al. 2017; Monroy et al. 2009; Roubalová et al. 2019). Metabolický systém žížal je velmi odolný a střevní mikrobiota společně s epitelálními chloragogenními buňkami zajišťují účinné odstraňování těžkých kovů (zejména Cd a Zn). Žížaly zároveň zvyšují biologickou aktivitu a upravují substrát, tudíž jsou považovány za hnací motor celého procesu (Vyas et al. 2020).

Tabulka 2 Využití různých druhů žížal pro vermikompostování (upraveno dle Kavita-Sharma 2019)

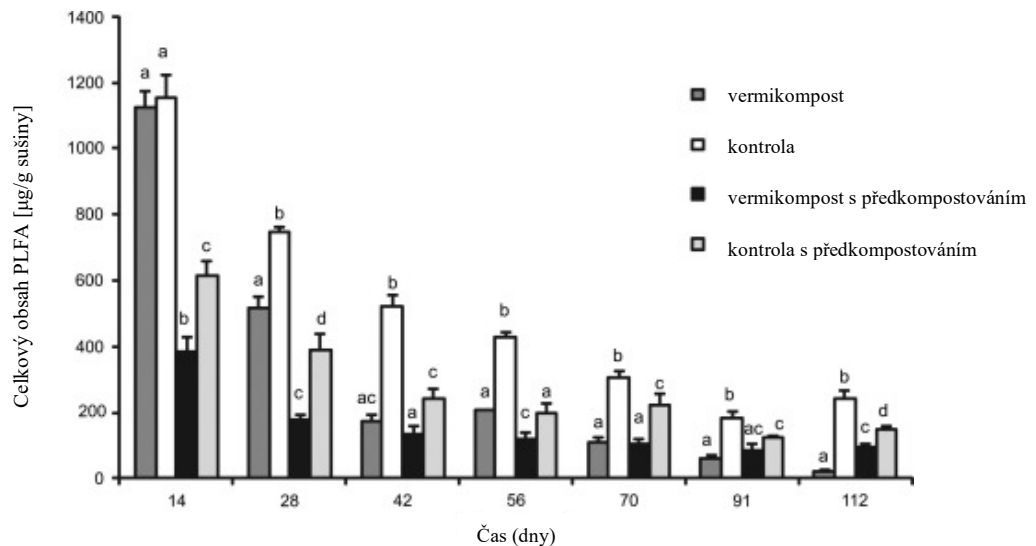
	Druh odpadu	Druh žížal
Monokultury (jeden druh žížal)	digestát, zeleninový odpad	<i>Allolobophora parva</i>
	bagasa, cukrová třtina, odpad z lisování	<i>Drawida willsi</i>
	vodní hyacint	<i>Perionyx sansibaricus</i>
	kaly z městských ČOV	<i>Lumbricus rubellus</i>
	odvodněný kal	<i>Bimastus parvus</i>
	odpad z juty	<i>Metaphire posthuma</i>
	bylinná residua	<i>Eisenia fetida</i>
	exkrementy býložravců	<i>Eisenia fetida</i>
	papírové kelímky	<i>Eudrilus eugineae</i>
	rostlinná podestýlka, městský odpad	<i>Eisenia fetida</i>
	tuhý komunální odpad	<i>Eisenia eugeniae</i>
	akvakulturní kaly	<i>Eisenia andrei</i>
Polykultury (více druhů žížal)	zeleninový odpad	<i>Pheretima</i> sp., <i>E. fetida</i> , <i>Perionyx excavatus</i>
	půda	<i>Lumbricus rubellus</i> , <i>Aporrectodea caliginosa</i> , <i>Lumbricus terrestris</i>
	čistírenské kaly	<i>Eisenia fetida</i> , <i>Eisenia andrei</i>
	zeleninový odpad z obchodů, rýžová sláma	<i>Eisenia fetida</i> , <i>Perionyx excavatus</i>
	tuhý komunální odpad	<i>Metaphire posthuma</i> , <i>Eisenia fetida</i>
	zeleninový odpad z kuchyní, neloupaná sláma	<i>Eisenia fetida</i> , <i>Eisenia eugeniae</i> , <i>Perionyx excavatus</i>
	papírový odpad, hovězí hnůj, tráva	<i>Perionyx excavatus</i> , <i>Eisenia eugeniae</i> , <i>Dichogaster annae</i>

Ačkoliv je přítomnost žížal v procesu vermikompostování klíčová, skutečný rozklad organické hmoty je zejména výsledkem činností mikroorganismů. Jejich zastoupení se v průběhu kompostování mění, přičemž změny ve složení souvisí s mikrobiální sukcesí. Rovněž je struktura mikrobiálních společenstev modifikována i výskytem žížal (Villar et al. 2016; Goméz-Brandón et al. 2011).

Zatímco žížalí společenstva úřadující během vermikompostování jsou poměrně detailně popsána, o přítomných mikrobiálních komunitách toho tolik nevíme. Mnoho studií se zaměřuje zejména na složení mikrobiálních společenstev ve zralých kompostech a vermikompostech, proto jsou tyto skupiny nejlépe charakterizované. Největší změny v bakteriálním složení byly pozorovány v průběhu prvních čtrnácti dní, a dále mezi druhým až šestým týdnem (Domínguez et al. 2019; Fracchia et al. 2006; Huang et al. 2017; Fernández-Gómez et al. 2013).

Běžně se vyskytujícími kmeny mikroorganismů, zodpovědnými za dekompozici organické hmoty, které můžeme nalézt v kompostované směsi během různých fází kompostování, jsou například *Proteobacteria*, *Bacteroidetes* nebo *Actinobacteria*. Nicméně složení bakteriálního společenstva závisí zejména na vstupní organické hmotě a rychlosti kompostovacího procesu. Mikroorganismy však neslouží pouze k rozkladu organické hmoty. Jsou také schopné využívat exudáty vylučované rostlinami. Dusík-fixující mikroorganismy jsou navíc schopny vázat atmosférický dusík, který následně poskytují rostlinám (tzv. biologická fixace dusíku). Tyto mikroorganismy se často vyskytují v kořenovém systému rostlin. Kromě nejrůznějších bakterií (včetně mezofilních a termofilních aktinomycet) se v kompostech vyskytují také různé druhy hub a prvoci. Rod *Actinomycetes* zahrnuje grampozitivní bakterie, které mají zároveň řadu vlastností shodných s plísněmi. Houby (*Ascomycota*, *Basidiomycota*) jsou důležité zejména pro stabilizaci půdních agregátů a během procesů tvorby humusových látek. Na rozdíl od bakterií jsou houby tolerantnější vůči nízkým hodnotám pH a velmi vysokým koncentracím znečišťujících látek (Domínguez et al. 2019; Pan et al. 2012; Makova et al. 2019; Vyas et al. 2020).

K hodnocení nebo sledování dynamiky mikrobiální kultury (a enzymatické aktivity) se využívá mnoho metod, mezi nimi například fosfolipidová analýza mastných kyselin (PLFA) nebo molekulární technologie. PLFA umožňuje pozorovat změny ve složení mikrobiálního společenstva v průběhu času. Změny složení MO v průběhu vermikompostování znázorňuje graf č. 1. Některé mastné kyseliny jsou specifické pro určité skupiny mikroorganismů a mohou být použity jako biomarkery ukazující na přítomnost konkrétních mikrobiálních skupin (Villar et al. 2016; Fernández-Gómez et al. 2011; Yu et al. 2007).



Graf 1 Změny v mikrobiální biomase (upraveno dle Villar 2016)

Žížaly představují jakýsi přirozený bioreaktor a společně s celou řadou mikroorganismů se množí, čímž poskytují optimální podmínky pro biodegradaci odpadů. (Vyas et al. 2020) Ačkoliv se jedná převážně o nekonfliktní soužití žížal a mikroorganismů, může nastat situace, kdy si obě skupiny začnou konkurovat. K takovým situacím může dojít zejména ve chvíli, kdy je přítomnost uhlíku limitující. V takovém případě dochází mezi oběma skupinami ke kompetici o zdroj uhlíku. (Villar et al. 2016)

3.3.4. Vermikompostovací systémy

Stejně jako klasické kompostování je i vermikompostování možné provádět v různých technologických systémech, lišících se použitou technologií. Na základě druhu a množství biologicky rozložitelného odpadu můžeme vybírat z několika systémů (Sharma & Garg 2023; Dominguez & Edwards 2010).

Pro nízkoobjemové vermikompostování v domácnostech, kde zpracováváme nejčastěji kuchyňské zbytky, jsou nejvhodnější volbou malé *domácí vermikompostéry*. Tyto vermikompostéry jsou velmi jednoduché a na trhu existuje mnoho druhů lišících se použitým materiálem a cenou. Nejčastěji se setkáme s plastovými, několikapatrovými nádobami, které mohou být opatřeny ventilem pro odpouštění výluhu, tzv. *vermitea*, který je možné aplikovat jako hnojivo pro pokojové rostliny. Odpady jsou v těchto vermikompostérech zpracovávány postupně v jednotlivých patrech, která jsou perforovaná, a žížaly se tak mohou mezi jednotlivými patry přeskupovat. Obsluha domácích vermikompostérů je jednoduchá, nicméně je nutné zajistit optimální vlhkost a teplotu pro prosperitu žížal (Hanč & Plíva 2013; ČSN 46 5736).

Při velkoprodukčním vermikompostování volíme mezi jednoduššími a složitějšími technologickými postupy. Mezi jednoduché patří vermikompostování *v plošných hromadách* a *v boxech*, což je obdoba klasického kompostování. První zmíněný způsob je technologicky snadno proveditelný a investičně nenáročný. Vermikompostované suroviny jsou rozloženy do hromad nebo řádků na volném prostranství a není potřeba je

překopávat. Druhý způsob — boxové vermikompostování — je technologicky náročnější, protože je nutná výroba boxu, který může být i zastřešen, což zajistí lepší ochranu žížal proti vnějším podmínkám (Hanč & Plíva 2013; Sharma et al. 2023).

Mezi složitější velkoprodukční systémy patří modulové vermireaktory a reaktory kontinuální. Nejčastěji používaný *dvoumodulový vermireaktor* funguje na principu dvou stejných spojených modulů, z nichž v jednom probíhá předkompostování odpadu, a ve druhém je následně předupravený odpad vermikompostován žížalami. Moduly jsou spojeny pomocí sponek a mají perforovanou spojovací stěnu. Je tedy důležité oba moduly spojit jen na nezbytně nutnou dobu, aby se mohly žížaly přesunout z již zpracovaného materiálu do nezpracovaného. *Kontinuální vermireaktor* (průtokový) je plněn shora a ze spodní části je odebírán hotový vermikompost. Jedná se o složitý plně automatizovaný systém. Výhodou uzavřených vermireaktorů je možnost monitorování průběhu a celoroční provoz kompostování a vermikompostování (Hanč & Plíva 2013; Dominguez & Edwards 2010; Sharma & Garg 2023).

3.3.5. Ekonomické aspekty vermikompostování

Vzhledem k podobnosti procesů kompostování a vermikompostování se nabízí zavádět vermikompostovací technologie v prostorách kompostáren. V případě zpracování biologicky rozložitelného odpadu v množství nad 150 tun za rok je nutné vybudovat vodohospodářsky zajištěnou zpevněnou plochu s jímkou pro tekutý podíl vznikající během rozkladu organické hmoty. Výstavba nové vodohospodářsky zabezpečené plochy je značně nákladná a může dosahovat ceny více než dvou tisíc korun za metr čtvereční. Tato podmínka platí pro kompostování i vermikompostování, proto je vhodné pro vermikompostování využít areál kompostárny (Plíva 2010; ČSN 46 5735).

Dalším ekonomicky pozitivním aspektem vermikompostování je absence překopávání zpracovávaného materiálu. Jednorázové náklady na překopávací zařízení se pohybují od 600 tisíc do cca 1,5 milionu korun, přičemž záleží na zvolené technologii (řízená, samojízdná). Nicméně nesmíme opomenout dodatečné náklady na provoz a servis vozidla (amortizace, palivo atd.) Naopak pro vermikompostování je nutné zajistit žížalí substrát. Cena násady žížal je velmi variabilní a pohybuje se nejčastěji cca od 100,- do 300,- (přepočteno na 200 jedinců na základě různých cenových nabídek). Náklady na vermikompostování jsou sice řádově nižší, ale doba zpracování BRO je v průměru třikrát delší, čímž dochází k dodatečnému navýšení nákladů. Na druhou stranu pořízení žížalího substrátu můžeme považovat za jednorázovou investici, jelikož jej není třeba obnovovat. Aplikací vermikompostu na zemědělskou půdu lze rovněž ušetřit finance za pesticidy a minerální hnojiva (Hanč & Plíva 2013; Hanč & Plíva 2013b).

Ideální je však oba procesy (kompostování-vermikompostování) zkombinovat. Jedná se o ekonomicky výhodný a environmentálně zodpovědný způsob nakládání (nejen) s kontaminovanými odpady (Grasserová et al. 2020).

3.4. Surovinová skladba vermikopostovaného materiálu

Pro účely vermikompostování můžeme využít celou řadu odpadních materiálů. Vhodné jsou zejména organické materiály rostlinného původu (ovocné výlisky, celulóza, listí, piliny, posekaná tráva, sláma, zeleninová nať, plevele atd.), ale je možné zpracovávat i materiály původu živočišného a některé kuchyňské odpady z domácností (káвовá sedlina, vaječné skořápky, ovocné a zeleninové slupky, čajové sáčky atd.) (Hanč & Plíva 2013; Hanč 2018; Li et al. 2020; Huang et al. 2017). Na rozdíl od klasického kompostování je možné vermikompostovat i hůře rozložitelné materiály (zejména listí), které se během kompostování rozkládají jen obtížně.

V případě exkrementů hospodářských zvířat je nejčastěji vermikompostován kravský a prasečí hnůj (Gupta & Garg 2009; Mupondi et al. 2018). Problémový je zejména slepičí trus, jelikož obsahuje vysoké koncentrace solí, NH_3 , a často u něj dochází k intenzivnímu zahřívání, což je z hlediska přítomnosti žížal nežádoucí. Oproti vermikompostu z potravinového odpadu však obsahuje vermikompost připravený ze slepičího trusu prokazatelně více dusičnanového dusíku (N-NO_3), draslíku a hořčíku (Mupambwa 2017; Arancon et al. 2012).

Velkou skupinu odpadů vhodných pro vermikompostování tvoří kromě odpadů z potravinářského průmyslu odpady z textilního nebo papírenského průmyslu. Zejména odpady z potravinářského průmyslu se nabízí před samotným vermikompostováním nejprve termicky upravit. Termická předúprava se provádí z důvodu likvidace patogenních organismů a zároveň eliminuje samozahřívatelnost některých materiálů. Na samozahřívání jsou náchylné zejména odpady živočišného původu (hnůj hospodářských zvířat) a kuchyňské zbytky (Alshehrei & Ameen 2021; Hanč & Plíva 2012; Mupondi et al. 2018; Vyas et al. 2022).

Pro dosažení nejen ideálního vstupního poměru C:N (30:1) je vhodné kombinovat různé odpadní materiály. Pokud máme tedy odpadní materiál bohatý na dusík (čistírenské kaly, digestáty, exkrementy hospodářských zvířat), je důležité jej vyvážit surovinou s vysokým obsahem uhlíku (dřevěná štěpka, papírový odpad, piliny). Stejná situace je i v případě vlhkosti. Při vermikompostování velmi vlhkých odpadních materiálů je žádoucí je proložit materiálem suchým, jakým jsou například piliny nebo papír. (Vyas et al. 2022). V tabulce č. 3 je uveden přehled hodnot poměru C:N u některých běžných odpadních materiálů.

Tabulka 3 Poměr C:N některých organických materiálů (upraveno dle Brust 2019; Černý 2019; Kaur 2020)

Poměr C:N	Odpadní surovina
5:1	rybí pozůstatky, krev, sójová moučka
10:1	jetel, vikev, hrách, kejda, čistírenský kal
15:1	tráva ve vegetativním stádiu, kuchyňský odpad
20:1	shnilý hnůj
30:1	hrachová sláma, zahradní odpad, koňský hnůj
40:1	seno, moučka z peří, kukuřičná siláž
> 50:1	kukuřičné stonky, sláma, listí, papír, piliny

Kvalitní vermikompost se vyznačuje vysokým obsahem živin a huminových kyselin. Zvýšení množství nejen těchto látek je možné zajistit přidáním rhamnolipidu a inokulací specifických skupin mikroorganismů. Rhamnolipid je biosurfaktant zvyšující biologickou aktivitu, proto se jedná o vhodný glykolipid do surovinové zakládky určené k vermikompostování (Gong et al. 2017). Kromě zvyšování obsahu žádoucích látek je obohacování vstupního materiálu dobrou volbou pro zkrácení vermikompostovacího procesu. Toho je možné docílit například kombinací s arbuskulárními mykorhizními houbami (Maji et al. 2015). Aby žížaly a mikroorganismy dobře prosperovaly, je důležité, aby suroviny nebyly příliš zasolené. Vysoká salinita, zejména vysoké množství Na^+ , narušuje metabolismus a snižuje aktivitu mikroorganismů (Wu et al. 2019). Hypertonické prostředí může navíc vést k plazmolýze (rostlinné buňky) nebo k plazmorhize (živočišné buňky). Salinita by optimálně neměla přesáhnout 0,5 %, aby nedocházelo k inhibici mikrobiálního dýchání a k zpomalení biologické degradace organického materiálu. Zároveň se zvyšující se salinitou klesá aktivita většiny půdních redoxních enzymů (Rietz & Haynes 2003; Wu et al. 2019). Wu et al. (2019) navíc prokázali, že při hodnotě vyšší než 0,2 % docházelo ke zvýšené produkci amonného dusíku $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Wichern et al. 2006; Wu et al. 2019). Koncentrace $\text{NH}_4^+\text{-N}$ by neměla dlouhodobě přesáhnout 200 ppm (Hanč & Plíva 2012). Žížaly jsou zároveň velmi citlivé na aciditu, případně alkalitu materiálu. Pokud je pH vstupního materiálu příliš nízké, je nutné jej nějakým způsobem neutralizovat. V takovém případě se nabízí použití dřevěného popela nebo mletého vápence (Kalina 2004).

V rámci této práce bylo prostřednictvím vermikompostování zpracováváno několik surovin (akvakulturní kal, nasávaná kartonáž, listový salát) a substrát se žížalami (jablečné výlisky, piliny, matolína), proto budou tyto suroviny v následujících kapitolách podrobněji rozepsány.

3.4.1. Nasávaná kartonáž

Nasávaná kartonáž je velmi běžně používaný materiál k balení křehkých výrobků. Jedná se o pevný, recyklovatelný materiál, který pohlcuje vibrace a otřesy. Nejčastěji se s nasávanou kartonáží setkáváme ve strojním a potravinářském průmyslu. V dnešní době je primární surovinou pro výrobu nasávané kartonáže rozvlákněná odpadní celulóza,

kteřá je získávána recyklací odpadního papíru, čímž dochází k významné úspoře vody, emisí skleníkových plynů a ke snížení energetické náročnosti. Kromě celulózy je tento materiál tvořen řadou aditiv, zejména plnivy, klíždily (např. AKD a ASA), retenčními činidly ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$), biocidy (enzymy), syntetickými polymery a barvivy. Během praní a bělení odpadní celulózy se používají různé chemické látky (Cl , O_3 , H_2O_2 , NaOH etc.), které vedou k tvorbě vysoce toxických xenobiotik. Tato xenobiotika následně končí v procesních vodách, kde způsobují řadu dalších problémů. (Kaur et al. 2020; Hossain & Ismail 2015)

Odpadní papírové materiály jsou častou příměsí vermikompostovaného materiálu. Slouží ke správnému nastavení vstupního poměru C:N, aby celý proces probíhal za optimálních podmínek. Kartonáž obecně obsahuje poměrně vysoké množství uhlíku (srovnatelně s kravským hnojem), ale malé množství fosforu a dusíku. Nasávanou kartonáž je dobré před promícháním s dalšími surovinami navlhčit, aby byla zachována potřebná vlhkost pro vermikompostování, nebo kombinovat s velmi vlhkými surovinami (Mupondi et al. 2018; Mupambwa et al. 2018; Gupta & Garg 2009).

Žížaly a specifické mikroorganismy jsou schopny rozkládat papír v nejrůznějších formách (nasávaná kartonáž, balicí papír atd.) většinou v kombinaci s dalšími odpadními materiály (sláma, hnůj, čajové sáčky) (Hanč & Hřebečková 2023; Abbasi et al. 2018; Ganguly & Chakraborty 2021).

3.4.2. Listový salát

Locika setá (*Lactuca sativa* L.) je běžně dostupná a hojně využívaná plodina z čeledi *Asteraceae*. Je tvořena z velké části vodou (až 95 % hmotnosti) a je bohatá na draslík. Vysokou vlhkost je nutné vyvážit suššími surovinami, které nadbytečnou vodu pohltí a sníží tak riziko vzniku anaerobních podmínek během rozkladu (Hanč & Chadimová 2014). Kromě toho locika obsahuje různé organické kyseliny (citronová, šťavelová, jablečná) (Zahradnický slovník naučný 2001; Robertson 2003).

Vermikompost z lociky může být mimo jiné aplikován i k mladým rostlinám lociky, čímž je možné dosáhnout lepších nutričních aspektů u dospělé rostliny (vyšší hodnoty Mg, Fe, Zn a Cu) (Hernández et al. 2010).

3.4.3. Matolina

Vinná réva (*Vitis vinifera* L.) je jednou ze světově nejrozšířenějších ovocných plodin. Roční produkce přesahuje 200 milionů tun, z nichž přibližně 15 % slouží k výrobě vína. Vinařství jsou považována za původce velkého objemu organického odpadu, se kterým je nutné nakládat vhodným způsobem, aby byly omezeny negativní dopady na životní prostředí (Gómez-Brandón et al. 2020; Domínguez et al. 2016). Během lisování šťávy z vinných hroznů vzniká velké množství dužniny, pecek a slupek, které se souhrnně nazývají *matolina*. Složení matoliny závisí zejména na předúpravě hroznů před výrobou vína. Pokud nejsou odstraněny stopky, je matolinová pasta tvořena z 30 % semeny, z 30

% stonky a 40 % představují slupky a dužnina. Matolinu je vhodné vracet zpět do půdy za účelem zvýšení množství dostupných živin a fytochemických sloučenin (flavonoly, anthokyany, stilbeny atd.). Než se však může matolina do půdy aplikovat, je nutné ji zbavit velkého množství polyfenolických látek, které působí na rostliny fytotoxicky (Domínguez et al. 2014 et 2016; Gómez-Brandón et al. 2020). Vzhledem k tomu, že jsou žížaly schopné polyfenolické látky částečně trávit, lze minimalizovat fytotoxicitu vermikompostováním. Matolina představuje 20 % celkové hmotnosti hroznů. V současné době se podařilo prokázat potenciál vermikompostování hroznového odpadu za účelem získání kvalitního organického hnojiva zejména z bílých hroznů (Domínguez et al. 2014, 2016 et 2017), ale potenciál matoliny z červených hroznů ještě není dostatečně ověřen (Gómez-Brandón et al. 2020). Ve většině experimentů týkajících se vermikompostování matoliny však byl použit stejný druh žížal, a to *Eisenia andrei* (Domínguez et al. 2014, 2016 et 2017; Gómez-Brandón et al. 2020; Santana et al. 2020).

Jako v případě jiných odpadních látek je směrodatný poměr C:N ve výsledném vermikompostu. Matolina má poměr C:N poměrně nízký, proto je vhodné ji kombinovat s dalšími druhy odpadu bohatými na uhlík. Enzymatická aktivita je v průběhu vermikompostování poměrně nízká, což může být způsobeno vysokým podílem nerozložených hroznových semen ze vstupního materiálu (Hanč et al. 2018; Freixas et Landa 2012). Hodnota pH se během vermikompostování matoliny zvyšuje. Z původně kyselých hodnot (4–5) se díky vermikompostování dostaneme do vhodnějších neutrálních hodnot (7–8). Elektrická vodivost je u čerstvé matoliny ve srovnání s výsledným vermikompostem značně vyšší. Dle Domínguez et al. (2016) došlo ke snížení elektrické vodivosti z 1,34 mS/cm u čerstvé matoliny na 0,27 mS/cm u vermikompostu. V případě Domínguez et al. (2017) došlo ke snížení dokonce na 0,1 mS/cm. Snížením elektrické vodivosti se hotový vermikompost stává vhodnějším pro aplikaci na zemědělskou půdu (Domínguez et al. 2014, 2016 et 2017).

Kromě vermikompostování se matolina používá k výrobě některých pokrutinových pálenek (Grappa, Orujo), ethanolu nebo oleje. Dále je možné matolinu používat jako krmivo pro hospodářská zvířata, ale to pouze v omezeném množství, jelikož je bohatá na lignin, který je téměř nestravitelný (Álvarez-Casas et al. 2014; Domínguez et al. 2017).

3.4.4. Jablečné výlisky

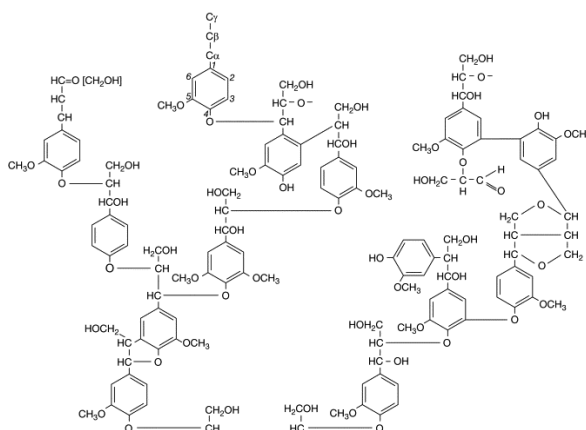
Stejně jako výlisky jiných ovocných plodů vznikají jablečné výlisky jako vedlejší produkt výroby moštů z plodů rodu *Malus*. Výlisky zahrnují slupky, jadřince a stopky tvoří až 50 % hmotnosti samotných plodů, proto je vhodné je dále zpracovávat (Hanč & Chadimová 2014). Obsahují vysoké množství vody, kromě toho obsahují nerozpustné sacharidy (celulóza, lignin, hemicelulóza), jednoduché sacharidy (fruktóza, glukóza, sacharóza) a nepatrné množství bílkovin, vitamínů a minerálů. Proto není divu, že jsou využívány jako substrát pro žížaly a mikroorganismy. Na výliscích je rovněž pěstována řada hub, bakterií a kvasinek, protože se jedná o levný substrát a jsou velmi dostupné v období sklizně (Kosseva 2011). Kromě použití jako živného substrátu nebo hnojiva jsou

výlisky vhodné k vermikompostování nebo výrobě ethanolu. Další možností je zpracování v rámci potravinářství, čemuž se věnuje například pekárna Zemanka. Ve spolupráci s UGO salatérií zbylou dužinu po lisování ovoce (jablka) a zeleniny (mrkev, červená řepa) zpracovávají do sušenek a krekrů. Razí filozofii zero waste, snaží se minimalizovat vznik odpadu a předcházet plýtvání potravinami (Asociace společenské odpovědnosti 2021; Kosseva 2011).

Jablečné výlisky jsou pro účely vermikompostování většinou mícháány s dalšími materiály – digestát, hroznové výlisky, piliny, sláma, hnůj, papír etc., protože mají poměrně nízké pH (3–4) (García-Sánchez et al. 2017; Hanč & Chadimová 2014; Hanč & Hřebečková 2023). Vzhledem k tomu, že jablečné výlisky obsahují značné množství vody, je vhodné je kombinovat s materiály suššími, které vodu naopak pohlcují. Takovým materiálem je například sláma (Hanč & Chadimová 2014). S ohledem na obsah různých organických kyselin se výsledné vermikomposty mohou pohybovat kromě neutrálních hodnot i v mírně kyselém spektru (pH 5,9–6,9). Elektrická vodivost má optimální rozmezí 1,6–4,4 mS/cm a výsledný poměr C:N se pohybuje mezi 13 a 14. Takový kompost má navíc přidanou hodnotu ve formě zvýšení celkových obsahů živin (Hanč & Chadimová 2014). Poněkud odlišných výsledků bylo dosaženo v rámci jiné práce, při níž bylo výsledné pH neutrální až alkalické (7,8–8,8). Elektrická vodivost byla v tomto případě nižší (405–1046 mS/cm). Vysoká hodnota pH však může být způsobena skutečností, že společně s jablečnými výlisky byl vstupní surovinou balicí papír a koňský hnůj (Hanč & Hřebečková 2023).

3.4.5. Dřevní štěrka a piliny

Během těžby a zpracování dřeva vzniká velké množství dřevního odpadu, který následně končí na skládkách, ve spalovnách nebo v lepším případě v kompostárnách. Kromě kompostování je možné dřevní hmotu i vermikompostovat, avšak v takovém případě je vhodné dřevní odpad nejprve předupravit. Předúpravu je možné provést inokulací určitými populacemi mikroorganismů, které jsou schopny rozkládat celulózní a ligninová vlákna (Kumar & Shweta 2011). Lignin (Obr. 2) je strukturně velmi složitý aromatický polymer nejhojněji zastoupený v přírodě. Jedná se o základní stavební jednotku dřevní



Obrázek 2 Strukturní molekula ligninu dle Kögel-Knabner & Amelung 2014

hmoty a druhou nejrozšířenější biomasu na Zemi. Lignin dále vystupuje jako vedlejší produkt při výrobě papíru a během dalších procesů. V papírenském průmyslu vzniká více než 50 milionů tun ligninu ročně (Karthäuser et al. 2021). Inokulace mikroorganismy stimuluje syntézu auxinů (kyselina indolactová), gibberelinů, antifugálních antibiotik, růstových látek a vitamínů (riboflavin, thiamin, pyridoxin, kyselina panthotenová, kyselina niktonová) (Kumar & Shweta 2011).

Piliny, hobliny a štěrka vznikající zpracováním dřeva během lesnické činnosti a v nábytkářském průmyslu se běžně používají jako objemové materiály ke zlepšení poréznosti, pohlcení vlhkosti a zvýšení poměru C:N v kompostech a vermikompostech. Výhodou tohoto typu odpadního materiálu je jeho dostupnost a nízká ekonomická nákladnost (Nogales et al. 1999). Fyzikálně-chemické parametry závisí na druhu a stáří dřeva a dále na vlhkosti. Obecně se u dřevní štěrky pH pohybuje v neutrálních až lehce zásaditých hodnotách (7,2–7,8) a poměr C:N je značně vysoký (220–250), proto je vhodné dřevní odpad kombinovat s odpady bohatými na dusík (čistírenské kaly, hnoje hospodářských zvířat, kejda etc.). Během vermikompostování dřevní štěrky došlo paradoxně ke snížení obsahu dusíku jak ve formě dusičnanového (N-NO_3), tak i v případě amonného dusíku (N-NH_4), obvykle dochází k výraznému nárůstu (Kumar & Shweta 2011).

3.4.6. Suroviny nevhodné pro vermikompostování

Na rozdíl od běžného kompostování je v případě vermikompostování nutné brát ohled na viabilitu žížal. Z toho důvodu nemůžeme do zakládky přidat jakýkoliv materiál. Ačkoliv je možné vermikompostovat mnoho organických látek, existují materiály, které jsou pro žížaly zcela nevhodné. Mezi tyto odpadní materiály patří zejména odpady živočišného původu (kosti, ryby, maso a mléčné nebo příliš mastné výrobky). Dále jsou nepřijatelné odpady s vysokým množstvím amoniaku (NH_3) (Kaur 2020). Na rozdíl od většiny ovoce a zeleniny nejsou pro žížaly vhodné chemicky ošetřené slupky citrusových plodů (citron, limetka, pomeranč). V případě nemocných nebo napadených rostlin je situace diskutabilní, nicméně se doporučuje takový materiál nejprve předupravit kompostováním. Nevhodné jsou rovněž kvašené a vařené potraviny, tuky, impregnované dřevo, barevné tiskoviny, farmaka a chemikálie, vata, cigaretové filtry, popel, kovové a plastové odpady, některé druhy textilních odpadů a v neposlední řadě odpady obsahující velké množství soli. Nadměrná salinita (vysoká měrná elektrická vodivost) vstupního materiálu může být pro žížaly smrtelná (Hanč & Plíva 2013b; Dominguez & Edwards 2010).

3.4.1. Vlastnosti vermikompostu a jeho účinek na rostliny

Vermikompost představuje udržitelnou alternativu minerálních hnojiv, a je tak významnou součástí ekologických způsobů zemědělství. Zlepšuje fyzikální, chemické i biologické vlastnosti půdy. Jak bylo již několikrát řečeno, výsledná kvalita vermikompostu je závislá především na vstupních surovinách. Stejně tak jsou důležité parametry, během

nichž celý proces probíhá (Ramnarain et al. 2019). Kvalitní vermikompost je netoxický, velmi dobře rozložitelný a šetrný k životnímu prostředí (Saha et al. 2022).

Hotový vermikompost je tmavě hnědá, až černá homogenní hmota s jemnou strukturou (granulovaná forma) bez zápachu (zápach by poukazoval na přítomnost nežádoucích látek) připomínající rašelinu. Vermikompost působí jako půdní kondicionér, zlepšuje pórovitost, půdní drenáž a zvyšuje retenční schopnost půdy. Takový vermikompost může být v případě splnění podmínek pro registraci uveden do oběhu (ČSN 46 5736; Saha et al. 2022; Pathma & Sakthivel 2012). Ve výsledném vermikompostu se sledují kvalitativní parametry (Tab. 4) a zastoupené množství rizikových prvků. Nejvyšší přípustné hodnoty rizikových prvků jsou uvedeny v tabulce č. 5. Právě biologická dostupnost těžkých prvků a jejich distribuce v půdním profilu jsou jedny z nejdůležitějších otázek pro bezpečnou aplikaci výsledného vermikompostu (Alloway & Jackson 1991).

Bylo zjištěno, že aplikací vermikompostu na rostlinu *Oriza sativa* došlo k výraznému zlepšení fyzikálně-chemických (pH, poréznost, elektrická vodivost, vlhkost, retenční kapacita) a chemických vlastností (obsah N, P, K, Ca, Mg) (Tharmaraj et al. 2011; Aksakal et al. 2016). Vermikomposty obsahují vysoké množství huminových kyselin a bioaktivních sloučenin (regulátory růstu). Tyto kyseliny se mohou zapojovat do fotosyntézy, buněčného dýchání, oxidativní fosforylace, biogeneze etc., a tím ovlivňovat růst a produktivitu rostlin (Saha et al. 2022). Kromě fyzikálně-chemických vlastností zlepšuje vermikompost i vlastnosti biologické (enzymatická aktivita, mikrobiální biomasa, organický uhlík etc.). Rovněž se ukázalo, že enzymatická aktivita dehydrogenázy je ve srovnání s komerčním médiem vyšší právě u vermikompostu. Dehydrogenáza slouží ke kvantifikaci respirační aktivity mikrobiálních populací (Atiyeh et al. 2001; Saha et al. 2022).

Pro dlouhivý růst kořene rostlin a příjem živin je důležitá schopnost zachování struktury půdy a její stabilita. Celkovou stabilitu půdy zvyšují žížaly sekrecí hlenu a mikrobiální biomasy ze střeva (Saha et al. 2022). K růstu rostliny potřebují dostatečné množství přístupných živin. Aplikace kvalitních vermikompostů do půdy prokazatelně zvyšuje výměnný Mg^{2+} , Ca^{2+} a K (Pathma & Sakthivel 2012; Garg et al. 2006). Kromě zlepšení struktury půdy a rostlinného růstu potlačuje zralý vermikompost přítomnost a množení patogenních organismů, čímž zvyšuje výnos pěstované biomasy. Příklad vermikompostu dále snižuje podíl chemických látek rozpustných ve vodě, které představují riziko pro životní prostředí (Pathma & Sakthivel 2012). Nemenším rizikem jsou rizikové prvky obsažené v půdě. Během vermikompostování však dochází k tvorbě pevných organokovových komplexů s huminovými kyselinami a dalšími organickými polymery, čímž dochází ke zneprístupňování rizikových prvků pro rostliny (Dominguez & Edwards 2004).

Tabulka 4 Kvalitativní znaky sledované v hotovém vermikompostu (upraveno dle ČSN 46 5735)

Sledovaný znak	Požadovaná hodnota
Poměr C:N	25–30
Hodnota pH	6,0–9,0
Vlhkost [%]	50–70
Celkový obsah N [%]	min. 1,0
Množství spalitelných látek [%]	min. 35,0
Celkový obsah P ₂ O ₅ v sušině [%]	min. 0,6
Celkový obsah K ₂ O v sušině [%]	min. 1,0
Množství nerozložitelných příměsí [%]	max. 2,0

K charakterizaci a hodnocení kvality výsledného vermikompostu slouží celá řada ukazatelů. Nejčastěji se s ohledem na rychlost a náročnost laboratorních metod stanovují hodnoty pH a EC (electric conductivity). Za optimální hodnotu pH, vhodnou pro aplikaci do půdy je považována hodnota ležící v intervalu 6,0–8,5. Vermikompost s hodnotou pH v tomto rozsahu je kompatibilní s potřebami většiny rostlin (Hogg et al. 2002; Gupta & Garg 2009). Neméně podstatným ukazatelem je poměr C:N, který udává stupeň rozkladu organického materiálu. Vermikompost může mít hodnoty poměru C:N výrazně nižší než klasický kompost, protože u něj dochází k intenzivnějšímu rozkladu. Během biooxidačních procesů dochází k ztrátám N a CO₂, přičemž ztráty N probíhají s nižší intenzitou. V neposlední řadě je důležitým ukazatelem také obsah přístupných prvků (Lazcano et al. 2008; Pathma & Sakthivel 2012).

Tabulka 5 Maximální přípustné množství rizikových prvků v hotovém vermikompostu (dle ČSN 46 5736)

Rizikový prvek	Maximální přípustné množství ve vysušeném vzorku [mg/kg]
Hg	1,0
Cd	2,0
As	20
Mo	20
Ni	50
Pb	100
Cr	100
Cu	150
Zn	600

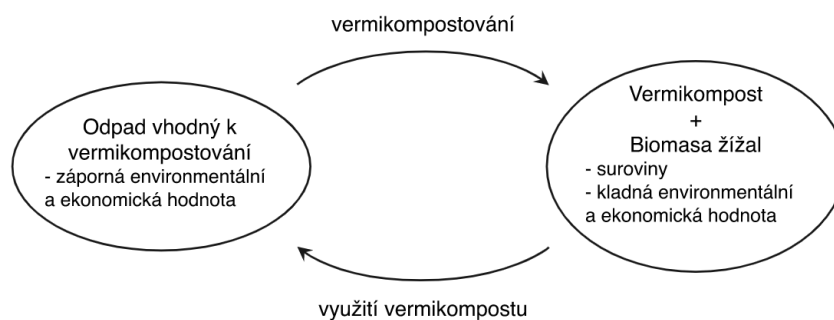
3.5. Vermikompostování a cirkulární ekonomika

Cílem oběhového hospodářství je minimalizovat produkci odpadu, zvýšit podíl efektivního využívání energie a materiálů, smysluplně využívat vedlejší produkty a případně recyklovat a opětovně využívat odpady (Korhonen et al. 2018).

V posledních letech došlo celosvětově k podstatnému nárůstu využívání udržitelných a environmentálně zodpovědných zemědělských postupů. Tento rozvoj je způsoben zejména prohlubováním obav ze snižující se bezpečnosti životního prostředí a s ním spojeného narušení zdravotní nezávadnosti potravin. Kromě bezpečnosti potravin je nepřehlédnutelným problémem plýtvání potravinami. V globálním měřítku se ročně přibližně třetina potravin vyrobených nebo určených ke konzumaci nespoteřebuje, a tudíž se stává odpadem zatěžujícím životní prostředí (Sharma & Garg 2019; Fudzagbo & Iderawumi 2020).

Odklonem organické části ze skládek komunálních odpadů a zařízení pro spalování odpadů docílíme snížení nákladů za likvidaci. Vermikompostování se v tomto případě jeví jako jedna z neudržitelnějších metod, jak ekonomicky a zároveň ekologicky naložit s potravinovým odpadem. Přeměna odpadního materiálu na nutrienty bohatý vermikompost je ukázkou toho, jak zhodnotit zdánlivě bezcennou komoditu. Kromě odpadů z domácností a ze zemědělské produkce lze vermikompostovat i některé průmyslové odpady (Fudzagbo & Iderawumi 2020; Sharma & Garg 2019). Takovými odpady jsou například čistírenské kaly nebo biomedicínské odpady. V tomto případě je před aplikací do životního prostředí důležité zajistit dekontaminaci a hygienizaci, protože se jedná o infekční materiál. Vermikompostování představuje biologickou transformaci a stabilizaci organické hmoty, čímž snižuje potenciální rizika spojená s přítomností patogenních organismů. Stabilizace čistírenských kalů vermikompostováním může vést ke snížení množství fekálních koliformních bakterií a *Salmonelly*. Analýza žízáliých střev prokázala, že k úplné eliminaci bakterií *Escherichia sp.* a *Salmonella* došlo po sedmdesáti dnech (Pathma & Sakthivel 2012).

Přínosy vermikompostování se neomezují pouze na tvorbu organického hnojiva a bioremediaci polutantů. Žížaly mohou vystupovat jako tzv. biofiltry v procesu vermifiltrace odpadních vod, ve kterých snižují hodnoty CHSK, BSK, NL a RL až o 95 % (Sinha et al. 2008). Vzhledem ke krátkému životnímu cyklu a vysoké rychlosti reprodukce slouží žížaly z vermikompostů rovněž jako krmivo pro hospodářská zvířata nebo ryby. (Sharma & Garg 2019; Pathma & Sakthivel 2012). Ukázkovou aplikaci principu cirkulární ekonomiky v rámci vermikompostování znázorňuje obrázek č. 3.



Obrázek 3 Schematické znázornění aplikace cirkulární ekonomiky na proces a produkty vermikompostování (upraveno dle Sharma & Garg, 2019)

3.6. Akvakultura

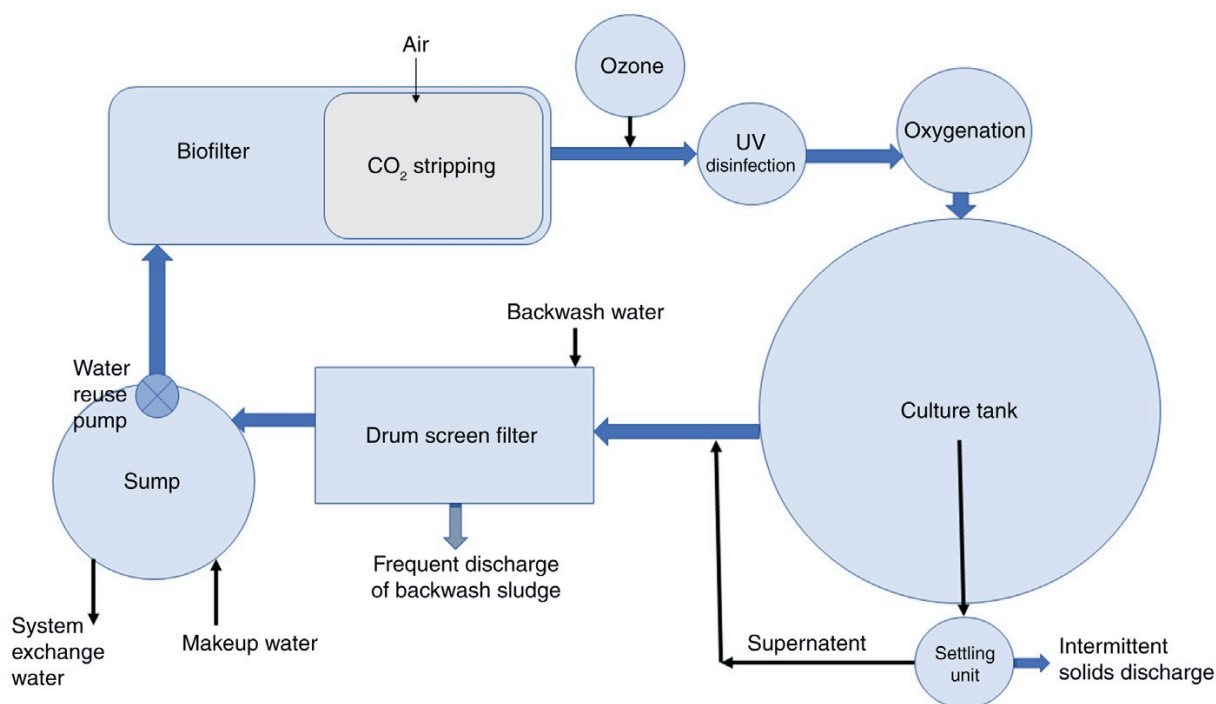
Akvakulturní průmysl je vzhledem k jeho diverzifikaci, intenzifikaci a rozsahu jedním z nejvíce rostoucích potravinářských odvětví. Roční produkce celosvětově přesahuje 100 milionů tun a zahrnuje potravinářské (ryby a rostliny) i nepotravinářské produkty. Více než polovina ryb určených k lidské spotřebě pochází od roku 2014 z akvakultur. Zvyšující se poptávka po produktech z akvakultury je vzhledem k narůstajícímu znečištění půdy a podzemních vod obecně problematická. Vypouštění kalů z akvakultury vede k degradaci a eutrofizaci vodních zdrojů (Arumugam et al. 2020; Kouba et al. 2018). Akvakulturní kaly mohou představovat určitý problém z důvodu obsahu rizikových prvků. Koncentrace prvků se liší na základě druhu akvakultury a chovaných (pěstovaných) organismů. V komerčních akvakulturních farmách chovajících krevety byly v odpadních vodách prokázány zvýšené obsahy Mn, Zn a Cr. Dlouhodobější expozice těmto prvkům překračujícím doporučené limity by mohla vést ke vzniku celé řady zdravotních problémů. Další rizikové prvky (Cu, Hg, As, Pb, Cd) byly v normě (Sultana et al. 2022). Mezi nejběžnější rody ryb chovaných v akvakulturních farmách patří *Silurus*, *Anguilla*, *Salmo*, *Tilapia*, *Cyprinus*, *Perca*, *Acipenser*, *Oncorhynchus*, dále různé akvarijní a okrasné druhy (Kouřil et al. 2013).

3.6.1. Recirkulační akvakulturní systém

Recirkulační akvakulturní systémy (RAS) určené k produkci ryb se používají již několik desetiletí. Obecně se jedná o systémy, které jsou schopny účinně recirkulovat až 90 % objemu vody. Tato skutečnost se udává nejčastěji formou stupně recirkulace (%), denní výměnou vody (%), nebo denní výměnou vody vztaženou na kg krmiva. Recirkulační systémy umožňují produkci ryb v kontrolovaném prostředí a s minimální spotřebou vody. Zároveň jsou RAS monitorovány za účelem zajištění dobrého zdravotního stavu vodních organismů a optimalizace růstu. V současné době jsou RAS ekonomicky velmi zajímavé a dokáží konkurovat chovům v otevřených sítích (Holan et al. 2020; Attramadal et al. 2012).

Recirkulační akvakulturní systémy sestávají z několika komponent (Obr. 4). Kromě produkčních nádrží jsou zde zařízení pro úpravu, separaci a následné odstranění nahromaděných organických látek, živin (N a P), dusičnanů, povrchově aktivních látek a dalších složek. Zvýšené hladiny dusičnanů jsou řešeny každodenní výměnou vody v systému. Kontrolovány jsou fyzikálně-chemické parametry, zejména pH, množství O₂ a CO₂, teplota a celkový tlak. Ryby do vody vylučují močovinu, která obsahuje amoniak. Dusík ve formě NH₃ je pro ryby i v malých koncentracích toxický a jeho obsah je závislý na teplotě a pH vody. Pokud je pH vody nízké, nachází se amoniak v méně toxické ionizované formě. Klíčovou součástí filtrační části jsou tedy biofiltry, na nichž dochází ke konverzi amonného dusíku na dusitany a následně na dusičnany činností bakterií (*Nitrosococcus sp.*, *Nitrosomonas sp.*, *Nitrobacter sp.*, *Nitrospira sp.*) (Holan et al. 2020; Mota et al. 2022; Schreier et al. 2010).

Zvýšené biologické znečištění je způsobené přítomností velkého množství odpadních částic, které jsou generovány bakteriemi, výkaly ryb a nespotřebovaným krmivem. Velikost pevných částic se pohybuje v rozmezí od 1 do více než 100 μm . Pokud se však částice neodstraní dostatečně rychle, mohou se rozpadat na drobnější rozpuštěné části (1–0,001 μm), které je již velmi obtížné ze systému odstranit. K separaci větších pevných částic slouží mechanické filtry (pískové, bubnové, pásové). V případě menších a rozpuštěných částic nastupují flotační mechanismy, jako alternativa se využívá také ozón (O_3). Residua ozónu jsou ovšem pro ryby toxická a mohou vytvářet bromhalogenidové sloučeniny. V RAS systémech je vysoký potenciál pro růst a množení bakterií a dalších patogenních organismů. K zajištění únosné míry těchto organismů slouží dezinfekce vody s ozonizací. Dávkování UV záření je nutné nastavit s ohledem na průtok a zákal vody. Kontaminace RAS nastává nejčastěji zvenčí zanesením patogenních organismů (ISAV, IHNV, VHSV, *Yersinia ruckeri*, *Renibacterium salmoninarum*, *Branchiomonas cysticola* etc.) z dodávané povrchové vody (řeky, pobřežní moře, jezera etc.). Podzemní voda (prameny, vrty, studny) je sice patogenů prostá, nicméně často obsahuje vysoké množství plynů (N_2 a CO_2) a kovových iontů (Al^{3+} , Cu^{2+} , Fe^{2+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Zn^{2+}), které je rovněž nutné částečně nebo úplně eliminovat (Holan et al. 2020).



Obrázek 4 Schématické znázornění recirkulačního akvakulturního systému (dle Holan et al. 2020)

3.6.2. Možnosti zpracování akvakulturního kalu

Akvakulturní kaly mají vzhledem k vysokému obsahu živin značný potenciál, který je možné využít v aplikacích na zemědělskou půdu. Před takovou aplikací je nutné kaly nejdříve odvodnit a stabilizovat, jelikož jsou nestabilizované kaly náchylné k hnilobě a mohou obsahovat nežádoucí patogenní organismy. Zbytkové kaly se rovněž využívají ke kultivaci různých druhů mikroskopických řas sloužících k výrobě farmaceutik, nutričních

doplňků, kosmetických produktů, krmiv nebo biopaliv (Michels et al. 2014; Guo et al. 2013; Arumugam et al. 2020; Kouba et al. 2018). V současné době existuje jen velmi málo vědeckých studií zabývajících se vermikompostováním akvakulturních kalů. Nicméně v souvislosti se zvyšující se produkcí kalů z akvakulturních farem je nezbytné zajistit environmentálně a ekologicky zodpovědné metody pro zužitkování tohoto druhu odpadu s vysokým živinovým potenciálem. Čerstvé akvakulturní kaly často produkují velké množství amoniaku, což je v případě vermitechologií obecně problematické. Vysoké koncentrace NH_3 mohou vést k masivnímu úhynu žížal. Kaly z akvakultury je pro účely vermikompostování vhodné kombinovat se suchými odpadními materiály bohatými na uhlík (papírové odpady, sláma atd.) (Marsh et al. 2005; Kouba et al. 2018).

Většina studií věnujících se využití žížal ke zpracování akvakulturních kalů se zabývá zejména viabilitou a mortalitou žížal, ale živinový potenciál zůstává všeobecně nepochopen. V průběhu krmení ryb bývá přibližně 5 % krmiva nezkonzumováno a 15–50 % přeměněno na výkaly. Tato skutečnost potvrzuje vysoký živinový a organický potenciál odpadních kalů (Kouba et al. 2018; Reid et al. 2009; Holan et al. 2020).

Obsahy rizikových prvků bývají ve výsledných vermikompostech poměrně nízké. Kouba et al. (2018) prokázali příležitostně zvýšené koncentrace arsenu (2,7–14,9 mg/kg) v žížalách. Arsen zde byl však zastoupen zejména v organické formě, která není příliš toxická, tudíž je možné žížaly z vermikompostu bez problémů využít jako krmivo pro vodní organismy. Hodnoty pH se u vstupních kalů pohybovaly v intervalu (5,4–6,3), poměr C:N byl stanoven v rozmezí 13,7–16,9 a hodnoty rizikového prvku arsenu 4,0–5,3 mg/kg. Ve zralých vermikompostech byly hodnoty pH neutrální (6,9–7,5) a zastoupení dusíku (2,2–2,7 g/kg) poměrně nízké. To může být způsobeno ztrátami v podobě vytěkání ve formě NH_3 zejména na začátku experimentu. Za zmínku stojí příležitostné nadlimitní hodnoty zinku v kalech, z důvodu nadměrného používání v komerčních krmivech (Kouba et al. 2018).

4. Metodika

Experimentální část diplomové práce probíhala ve výzkumné stanici České zemědělské univerzity v Červeném Újezdu. Pokus byl zaměřen na vermikompostování akvakulturního kalu s různým zastoupením příměsí salátu a nasávané kartonáže. Založen byl 25.3.2022 a ukončen dne 8.9.2022. Odebrané vzorky byly analyzovány v laboratořích Katedry agroenvironmentální chemie a výživy rostlin na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů. Součástí analýzy bylo stanovování pH, EC, objemové hmotnosti, počtu a biomasy žížal, přístupných prvků, zastoupení C a N a celkových obsahů prvků.

4.1. Design experimentu

Vermikompostování akvakulturního kalu probíhalo za řízených a monitorovaných podmínek v plastových vermikompostérech. Jednalo se o misky (40x40x20 cm), které byly ve spodní části perforované, aby mohl odcházet přebytečný výluh. Z toho důvodu byla do spodní části misek umístěna síťovaná tkanina, aby nepropadával zpracovávaný materiál a nedocházelo k úniku žížal. Plastová miska obsahovala kovovou podmisku, která sloužila k záchytu výluhu. Vrchní část misky překrývala netkaná geotextilie s kovovým víkem. V některých miskách byl umístěn teploměr, který sloužil k nepřetržitému zaznamenávání teplot v jednotlivých vermikompostech. Všechny misky byly umístěny v kovových regálech, jejichž podobu znázorňuje obrázek č. 5.



Obrázek 5 Umístění části vermikompostovacích nádob

V místnosti, kde experiment probíhal, bylo nepřetržité umělé osvětlení, které zabraňovalo úniku žízá z vermikompostérů. K dosažení optimální vlhkosti pro vermikompostování sloužil odpar vody z 15l skleněné kádinky umístěné na desce s topnou spirálou. Výměna vzduchu byla zajištěna instalovanou vzduchotechnikou a konstantní teplotu v místnosti udržovala klimatizace. Měření teploty a vlhkosti bylo plně automatizováno a probíhalo každou hodinu. Průměrná naměřená teplota místnosti byla 21,0 °C, průměrná vlhkost byla 86,8 %.

4.1.1. Vstupní suroviny a substrát

Substrát byl již připraven a sestával z matoliny a jablečných výlisků s dřevěnými pilinami (3:1) a byl inokulován žížalami *Eisenia andrei*. Před aplikací do zakládky byl proveden kontrolní odběr a byl stanoven počet žížal větších než 3 cm, jejich hmotnost a počet kokonů v 1 l substrátu.

Suroviny určené k vermikompostování byly tři. Hlavní surovinou byl odvodněný kal z akvakultury (Obr. 6) pocházející od společnosti Tilapia s.r.o. z obce Hroby. Tato společnost využívá moderní recirkulační systém, který v bioplynové stanici přeměňuje přebytečný akvakulturní kal na odpadní teplo. Společnost se zaměřuje zejména na chov teplomilných sladkovodních ryb (*Oreochromis niloticus*, *Clarias gariepinus*). Druhou surovinou byl nebalený listový salát, který bylo třeba pokrátit na menší fragmenty. Poslední surovinou určenou k vermikompostování byly proložky (nasávaná kartonáž), které byly před použitím do zakládky intenzivně prolity velmi teplou vodou v poměru 1:2, aby byla zajištěna dostatečná vlhkost surovin. Jednotlivé suroviny byly promíchávány v několika krocích, aby byla zajištěna dostatečná homogenita materiálu. Následně byly směsi dávkovány do vermikompostérů (Obr. 7) dle tabulky č. 6. Do misek bez žížalího substrátu byla vložena vložka z polystyrénu, aby simulovala stejnou velikost prostředí.



Obrázek 6 Odvodněný akvakulturní kal

Tabulka 6 Varianty směsí určených k vermikompostování

Varianta	Opakování	Akvakulturní kal [kg]	Salát [kg]	Nasávaná kartonáž [kg]	Substrát se žížalami [l]
1	A	7,0	-	-	-
	B	7,0	-	-	-
	C	7,0	-	-	-
2	A	1,75	-	5,25	-
	B	1,75	-	5,25	-
	C	1,75	-	5,25	-
3	A	6,3	0,7	-	-
	B	6,3	0,7	-	-
	C	6,3	0,7	-	-
4	A	2,8	0,7	3,5	-
	B	2,8	0,7	3,5	-
	C	2,8	0,7	3,5	-
5	A	7,0	-	-	3
	B	7,0	-	-	3
	C	7,0	-	-	3
6	A	1,75	-	5,25	3
	B	1,75	-	5,25	3
	C	1,75	-	5,25	3
7	A	6,3	0,7	-	3
	B	6,3	0,7	-	3
	C	6,3	0,7	-	3
8	A	2,8	0,7	3,5	3
	B	2,8	0,7	3,5	3
	C	2,8	0,7	3,5	3



Obrázek 7 Zakládání vermikompostů v Červeném Újezdu

4.1.2. Odběr vzorků

Odběry vzorků byly celkem čtyři — v den založení pokusu, měsíc od založení, 3 měsíce od založení a 6 měsíců od založení, a probíhaly vždy dva dny. Vzorkování proběhlo pro každou variantu ve třech opakováních, zároveň byly v době založení pokusu odebrány vzorky jednotlivých surovin a u variant se žížalím substrátem i žížaly. Při posledním odběru byly odebrány vzorky i pro žížalí substráty. Mezi jednotlivými odběry byly dvakrát těsně nad povrchem materiálu změřeny hodnoty NH_3 pomocí osobního jednobanňového detektoru plynů GasMan. Detektor byl ponechán pod geotextilií po dobu 30 sekund pro zjištění hodnoty pH.

Součástí odběrů bylo stanovení výšky a hmotnosti vermikompostovaného materiálu k určení objemu a objemové hmotnosti. Z každé misky bylo odebráno 200 g vzorku (5x40 g). Z takto odebraného vzorku byly ručně separovány veškeré žížaly a žížalí kokony. Žížaly byly následně spočítány, omyty, zváženy a umístěny na Petriho misku s navlhčeným filtračním papírem. Žížaly byly na misce ponechány do druhého dne, aby došlo k jejich vyprázdňení, poté byly znovu zváženy a pro analýzu sušiny lyofilizovány. Ze zbylých vzorků bez žížal bylo odebráno 150 g do vhodných nádob (baňky nebo sáčky) a následně se zamrazily, aby do doby jejich lyofilizace nedocházelo k další degradaci. Dalších 20 g ze zbylých vzorků bylo odebráno do sáčků a umístěno do lednice. Čerstvé, nemražené vzorky sloužily ke stanovení pH e EC.

4.2. Laboratorní analýzy

První část analytických stanovení, zaměřená na zjišťování hodnot pH a měrné elektrické vodivosti, probíhala po každém odběru. Druhá analytická část, která zahrnovala stanovení celkových obsahů prvků, hodnoty přístupných prvků a obsahy C a N, byla uskutečněna až po ukončení celého pokusu.

4.2.1. Stanovení pH a EC

Čerstvé vzorky byly za účelem rozmělnění a homogenizace nejprve rozdrobeny pomocí ručního tyčového mixéru. Pro účely měření pH a konduktivity bylo z 20 g čerstvých vzorků vermikompostovaného materiálu (surovin) naváženo 8 g do PVC baněk, kam bylo přidáno 40 ml demineralizované H_2O . Toto množství bylo určeno s ohledem na velikost centrifugačních zkumavek. Takto připravená směs byla třepána po dobu 10 minut, aby došlo k dokonalé homogenizaci materiálu, a bylo možné další měření. Po třepání byla ve vzniklé suspenzi měřena hodnota pH pomocí kalibrovaného pH metru WTW pH 340i s přesností 0,02. Následně byla suspenze převedena do 50ml centrifugačních zkumavek. Centrifugace probíhala v automaticky chlazené centrifuze (Obr. 8) s vysokorychlostním rotorem s kapacitou šesti zkumavek při rychlosti 9 000 rpm po dobu 5 minut. Vzorky po

centrifugaci znázorňuje obrázek č. 9. V odstředěné suspenzi byla konduktometricky stanovena hodnota elektrické vodivosti EC pomocí WTW cond 730.



Obrázek 8 Stolní centrifuga Rotina 420 R



Obrázek 9 Vzorčky po centrifugaci

4.2.2. Stanovení obsahu sušiny

Ve vzorcích zbavených veškerého obsahu vody byla stanovována sušina. Jednotlivé vzorky byly nejprve zváženy na laboratorních vahách a po zjištění hmotnosti lyofilizovaného vzorku byly rozdrceny ručním tyčovým mixérem (nasávaná kartonáž) (Obr. 11), případně pomocí tloučku a třecí misky (kal a salát) (Obr. 10). Zejména první odběry bylo nutné vzhledem k nízkému stupni rozkladu nasávané kartonáže drtit mixérem, na vzorky z pozdějších odběrů již stačila třecí miska s tloučkem. Rozmělnění proběhlo za účelem zmenšení velikosti částic pro další analýzy.



Obrázek 10 Drcení lyofilizovaných vstupních surovin — salát

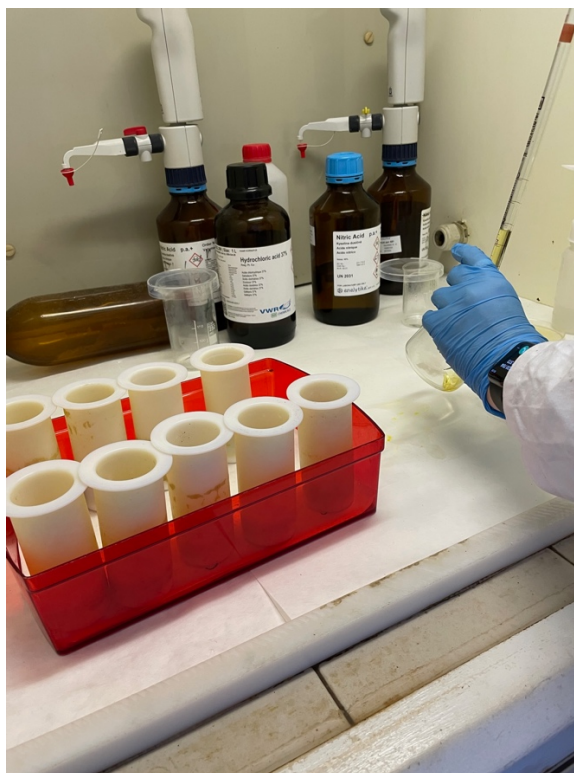


Obrázek 11 Drcení lyofilizovaných vstupních surovin — nasávaná kartonáž (proložky)

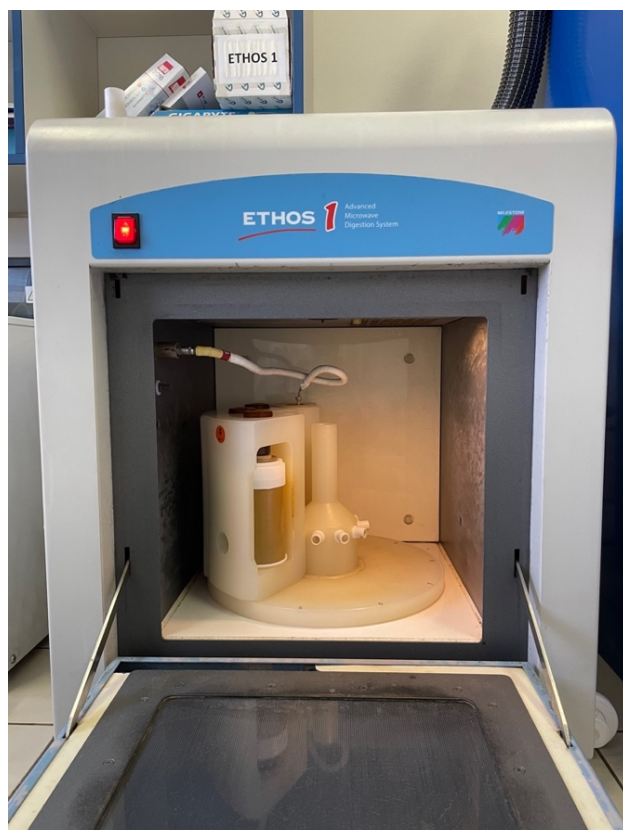
4.2.3. Stanovení celkových obsahů prvků

Rozdrcené vzorky byly po stanovení sušiny použity k analýze celkových obsahů prvků metodou extrakce rozpouštědlem. Pro každý vzorek bylo naváženo 0,4–0,5 g materiálu do teflonových nádobek. Tyto navážky byly zality 10 ml roztoku (Obr. 12) kyseliny dusičné (HNO_3) a kyseliny chlorovodíkové (HCl). Roztok lučavky královské byl připraven v poměru 3:1 ($\text{HCl}:\text{HNO}_3$). Mikrovlnný rozklad pomocí kyselin probíhal vždy s deseti vzorky, z nichž poslední byl kontrolní blanc, který neobsahoval stanovovaný materiál. Přibližně po 40 vzorcích byl součástí rozkladu i referenční materiál. Teflonové nádobky s ochranným krytem z HTC byly umístěny do speciálních polypropylenových segmentů

(cel) společně s víčkem a bezpečnostní pružinou z HTC, které byly utaženy pomocí momentového klíče. První teflonová nádobka byla opatřena teplotním čidlem pro kontrolu teplot během rozkladu. Mikrovlnný rozklad probíhal na zařízení Milestone ETHOS 1 (Obr. 13) s vysokotlakým segmentovaným rotorem HPR-1000/10S po dobu 53 minut s pracovním tlakem 100 bar (1450 psi) a přednastaveným programem v software easyCONTROL. Po uplynutí této lhůty následovalo přibližně 30minutové chlazení cel. Následně byly cely pomocí momentového klíče povoleny a teflonové nádobky byly vyjmuty z cel. Získaný roztok byl převeden do teflonových kádinek, a kádinky byly umístěny na odparku. Odpařování probíhalo přibližně 90 minut. Po odpaření většiny tekutiny byl zbylý podíl převeden do roztoku s demineralizovanou H₂O v celkovém objemu 25 ml. Zkumavky byly opatřeny parafilmovým víčkem. Takto připravené vzorky byly připraveny k následné analýze prostřednictvím optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou 700 Series ICP-OES (Obr. 14).



Obrázek 12 Příprava vzorků



Obrázek 13 Milestone ETHOS 1 s rotorem HPR-1000/10S



Obrázek 14 Agilent Technologies 700 Series ICP-OES

4.2.4. Stanovení celkového obsahu uhlíku a dusíku

Další část nejmenno nadrcených vzorků byla navážena na stanovení celkového obsahu C a N. Navažováno bylo přibližně 20 mg vzorku do kalíšků (Al) určených ke spalování. Jedná se o velice citlivou metodu, proto bylo nezbytné zajištění čistoty a bezprašnosti pracoviště. Navážený materiál byl pinzetou zabalen do folie, aby nedocházelo ke ztrátám a případné kontaminaci vnějšími vlivy. Takto připravený vzorek byl analyzován prostřednictvím kvantitativního rozkladu za vysokých teplot technologií Advanced Purge and Trap (APT). Analýza probíhala v elementárním analyzátoru CHNS vario MACRO cube s vysokoteplotní spalovací jednotkou (Obr. 15). Postupně dávkovaný materiál je tryskovým vstřikováním kyslíku spalován při teplotách až 1200 °C. Uhlík, dusík, síra a vodík jsou oxidovány za vzniku plyných reakčních produktů (CO_2 , N_2 , NO_x , SO_2 , SO_3 , H_2O). Vzniklé plyny procházejí skrz spalovací trubici, která zabraňuje tvorbě netěkavých SO_3 a váže prvky II. A skupiny (Be, Mg, Ca, Sr, Ba, Ra). V redukční trubici jsou následně redukovány SO_3 a NO_x a zachyceny těkavé halogenové sloučeniny. Dílčí složky plynu jsou absorbovány kolonami a separovány (s výjimkou N_2). Jednotlivé plyny jsou následně transportovány nosným plynem k detektoru tepelné vodivosti (TCD). TCD je tvořen dvěma komorami, kterými proudí směs nosného a analyzovaného plynu. Pokud se v analyzované směsi nachází CO_2 , N_2 , SO_2 nebo H_2O , dojde k tvorbě elektrického signálu, který je následně digitalizován. Na základě tvaru píku je vypočítán druh a koncentrace měřené látky.



Obrázek 15 elementar vario MACRO cube

4.2.5. Stanovení přístupných prvků metodou CAT

Stanovení přístupného obsahu prvků (živin) bylo provedeno prostřednictvím výluhů v CAT. Byl připraven vyluhovací roztok o následujících vlastnostech: na 8,5 litru roztoku CAT bylo naváženo 7,62 g $\text{CaCl}_2 \times 5 \text{H}_2\text{O}$ a 3,95 g DTPA (diethylentriaminpentaacetát). Pět litrů takto připraveného roztoku vystačilo na 120 vzorků. Zpracovávalo bylo celkem 102 vzorků. Pro dosažení lepší rozpustnosti byly odměrné baňky s naváženými chemikáliemi a demineralizovanou vodou umístěny do ultrazvukové lázně.

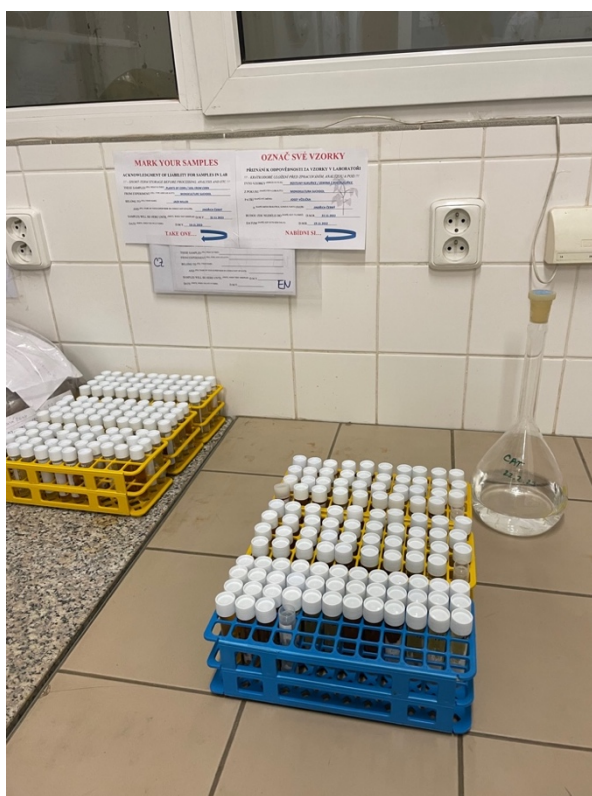
Byly naváženy 4 g zpracovávaného materiálu do PVC baněk a přelity 40ml připraveného roztoku CAT. Vzorky byly třepány po dobu 60 minut (Obr. 16). Po uplynutí této doby byly vzorky převedeny do centrifugačních zkumavek a centrifugovány při 4 000 rpm po dobu 5 minut (Obr. 17). Vzhledem ke zpracování nasávané kartonáže, která je velmi problematická pro filtrování, byla namísto filtrace zvolena metoda odstředění na centrifuze. Některé vzorky (s obsahem salátu) bylo nutné stáčet opakovaně, vzhledem k velkému množství jemných a lehkých částic. Slepé vzorky centrifugovány nebyly. Po stočení na centrifuze byly tekuté podíly převedeny do 10ml zkumavek opatřených šroubovacím víčkem (Obr. 18) a zanalyzovány pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP OES), která umožňuje stanovení širokého spektra prvků. Spektrometr funguje na principu emise fotonů a následné detekce světelného záření ionizovaných prvků ve vzorku. Ionizaci zajišťuje argonová plazma.



Obrázek 16 Vzorky po třepání určené k centrifugaci



Obrázek 17 Centrifuga VWR Mega Star 600



Obrázek 18 Vzorky připravené k analýze na ICP OES

4.3. Statistické zpracování dat

Data byla vyhodnocována v tabulkovém softwaru Microsoft Excel a v programu TIBCO Statistica 14. V prvním zmíněném softwaru byla vyhodnocována základní data (průměry, směrodatné odchylky a základní srovnání). Průměr byl počítán u všech odběrů pro každou variantu na základě jejích opakování. Takto se postupovalo pro všechny měřené údaje (pH, EC, obsah sušiny, obsahy prvků atd.). U takto zjištěných průměrů byly dále počítány směrodatné odchylky, které jsou společně s danými průměry součástí výsledků této práce. Statistické ověření stanovených hypotéz následně proběhlo v programu TIBCO Statistica 14. Vzhledem k nízkému počtu opakování byly použity neparametrické statistické testy (Mann-Whitney U Test, Kruskal-Wallis Test).

5. Výsledky

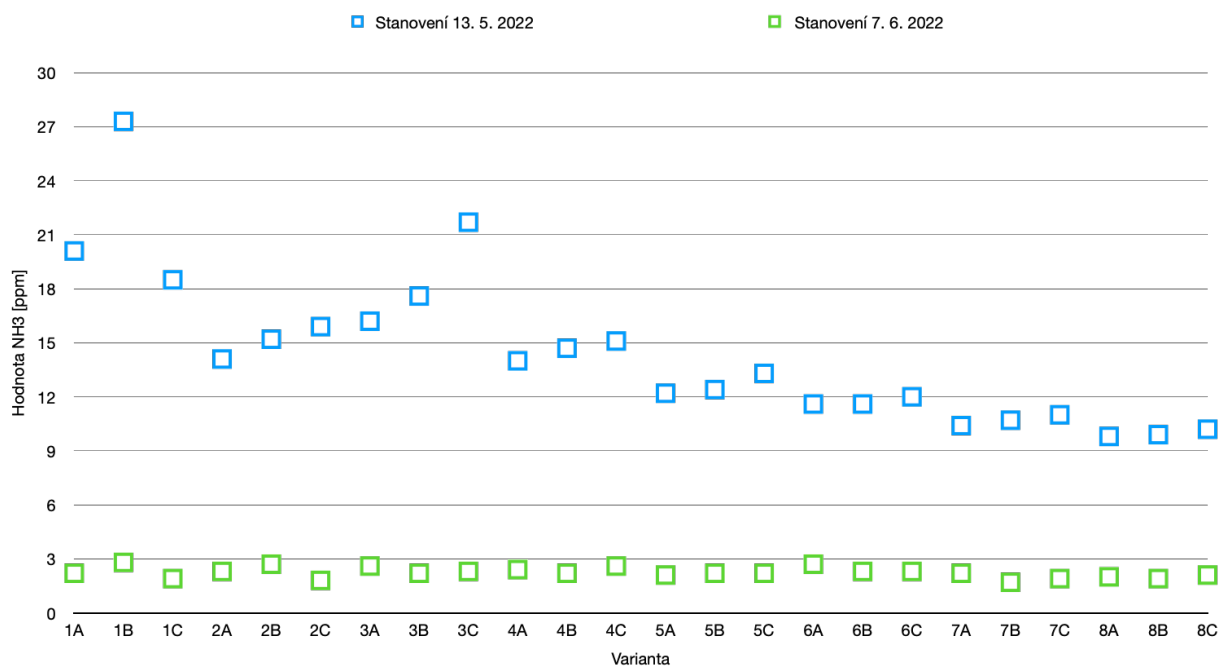
Experiment zahrnoval varianty se žížalím substrátem a bez něj. Varianty bez žížalího substrátu představovaly kontrolu, proto budou tyto varianty v následujících kapitolách často zaměňovány termínem *kontrola*. Celkové naměřené hodnoty jsou vzhledem k rozsahu součástí příloh této diplomové práce.

5.1. Obsah NH₃ v průběhu vermikompostování

Přítomnost dusíku ve formě amoniaku byla prokázána u všech variant vermikompostovaných materiálů (Tab. 7). Nejvyšší hodnoty během první kontroly byly naměřeny v případě samotného akvakulturního kalu bez žížalího substrátu (18,5–27,3 ppm) a směsi kalu se salátem, rovněž bez žížal (16,2–21,7 ppm). Jak znázorňuje graf č. 2, materiály zpracovávané od začátku s žížalím substrátem měly hodnoty NH₃ v průběhu prvního měření ve srovnání s kontrolou prokazatelně nižší. U všech variant došlo v průběhu času k výraznému poklesu hodnot NH₃. Množství uvolňovaného NH₃ pozitivně koreluje s rostoucí hodnotou pH, což je patrné při pohledu na grafy č. 2 a 4.

Tabulka 7 Naměřené hodnoty NH₃

Varianta	Opakování	Hodnota NH ₃ [ppm] 13.5.2023	Průměrná hodnota NH ₃ [ppm] 13.5.2023	Hodnota NH ₃ [ppm] 7.6.2023	Průměrná hodnota NH ₃ [ppm] 7.6.2023
1	1A	20,1	22,0	2,2	2,3
	1B	27,3		2,8	
	1C	18,5		1,9	
2	2A	14,1	15,1	2,3	2,3
	2B	15,2		2,7	
	2C	15,9		1,8	
3	3A	16,2	18,5	2,6	2,4
	3B	17,6		2,2	
	3C	21,7		2,3	
4	4A	14	14,6	2,4	2,4
	4B	14,7		2,2	
	4C	15,1		2,6	
5	5A	12,2	12,6	2,1	2,2
	5B	12,4		2,2	
	5C	13,3		2,2	
6	6A	11,6	11,7	2,7	2,4
	6B	11,6		2,3	
	6C	12		2,3	
7	7A	10,4	10,7	2,2	1,9
	7B	10,7		1,7	
	7C	11		1,9	
8	8A	9,8	10,0	2,0	2,0
	8B	9,9		1,9	
	8C	10,2		2,1	



Graf 2 Změny hodnot NH_3 u jednotlivých variant během dvou stanovení. Varianty 5–8 obsahují žížalí substrát.

5.2. Množství sušiny ve vstupních surovinách a směsích

V rámci experimentu byl stanovován obsah sušiny ve vstupních surovinách a zpracovávaných směsích. Obsah sušiny u akvakulturního kalu se pohyboval okolo 13,6 %. Listový salát byl na sušinu nejchudší, sušina představovala 5,5 % z celkové hmotnosti. Obsah sušiny nasávané kartonáže (proložek) byl 33,4 %. U směsí byl obsah sušiny závislý na homogenitě materiálu při odběrech, tudíž se zde projevila větší směrodatná odchylka (Tab. 8).

Tabulka 8 Obsah sušiny ve vermikompostovaných surovinách na začátku experimentu

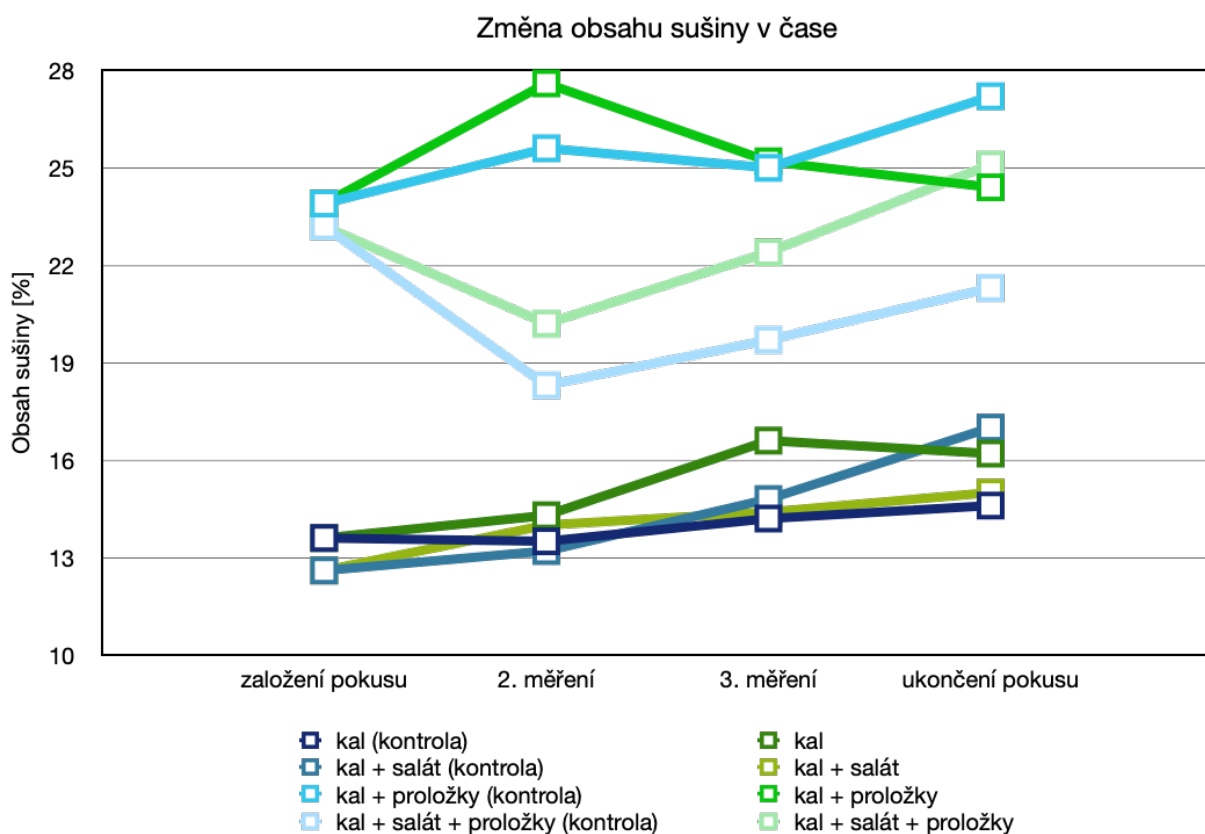
Materiál	Obsah sušiny [%]
kal	13,6±0,1
salát	5,5±0,3
proložky	33,4±0,7
kal + salát	12,6±0,2
kal + proložky	23,9±1,1
kal + salát + proložky	23,2±1,4

Procentuální obsah sušiny na začátku a na konci experimentu byl poněkud odlišný. Marginální rozdíl byl na konci v případě vermikompostované směsi kal + proložky (+ 0,5 %). Hodnoty zjištěné ve směsích se žížalím substrátem ve srovnání s variantami kontrolními byly rozdílné (Tab. 9). Největší rozdíl byl u varianty kal + salát + proložky, kde sušina představovala u vermikompostu 25,1 % (+ 3,8 p.b. oproti kontrole).

Tabulka 9 Obsah sušiny na konci experimentu v kontrolních variantách a vermikompostovaných materiálech se žížalím substrátem

Kontrola	Obsah sušiny [%]	VK	Obsah sušiny [%]
kal	14,6±0,9	kal	16,2±1,5
kal + salát	17±3,2	kal + salát	15,0±2,3
kal + proložky	27,2±2,9	kal + proložky	24,4±1,8
kal + salát + proložky	21,3±2,0	kal + salát + proložky	25,1±1,7

Podíváme-li se na změny obsahu sušiny v čase (Graf 3), můžeme si povšimnout, že došlo ke snížení procentuálního obsahu sušiny pouze v případě kontroly s kalem, salátem a proložkami, ostatní varianty vykazovaly alespoň mírný nárůst podílu sušiny. Nejkonstantnější poměry sušiny k celkové hmotnosti vzorku můžeme pozorovat u kontroly tvořené 100 % kalem a u VK tvořeného kalem a salátem.



Graf 3 Změny obsahu sušiny v průběhu experimentu (v době založení, měsíc od založení, tři měsíce od založení a šest měsíců od založení)

5.3. Hodnoty pH

Hodnoty pH byly stanovovány u všech vermikompostovaných materiálů po každém odběru. Celkem byly změřeny hodnoty ve čtyřech fázích vermikompostování — při založení, po měsíci, po třech měsících a při ukončení pokusu.

5.3.1. Založení pokusu

Při vstupním odběru bylo měřeno pH u vstupních surovin a u vstupních mixů. Nejnižší hodnoty byly naměřeny u salátu (pH $6,7 \pm 0,2$), u kalu byla změřena hodnota pH $7,59 \pm 0,04$ a u nasávané kartonáže pH $7,9 \pm 0,01$. Hodnoty pH u směsí určených k vermikompostování jsou uvedeny v tabulce č. 10.

Tabulka 10 Hodnoty pH ve vermikompostovaných materiálech na začátku experimentu

Materiál	Hodnoty pH
kal	$7,59 \pm 0,04$
kal + salát	$7,53 \pm 0,08$
kal + proložky	$7,07 \pm 0,31$
kal + salát + proložky	$7,42 \pm 0,08$

5.3.2. Druhý odběr

Vzorky odebrané po měsíci od založení vykazovaly ve všech případech znatelný nárůst pH. Nejvyšší nárůst mezi vstupním odběrem a druhým odběrem byl zaznamenán u kontrolní varianty tvořené kalem, salátem a nasávanou kartonáží (pH 8,60) a u kontrolní varianty tvořené směsí kalu a salátu (pH 8,36). Naopak nejnižší nárůst mezi vstupní hodnotou pH a hodnotou po druhém odběru byl pozorován u VK tvořeného kalem, salátem a nasávanou kartonáží (pH 7,68).

5.3.3. Třetí odběr

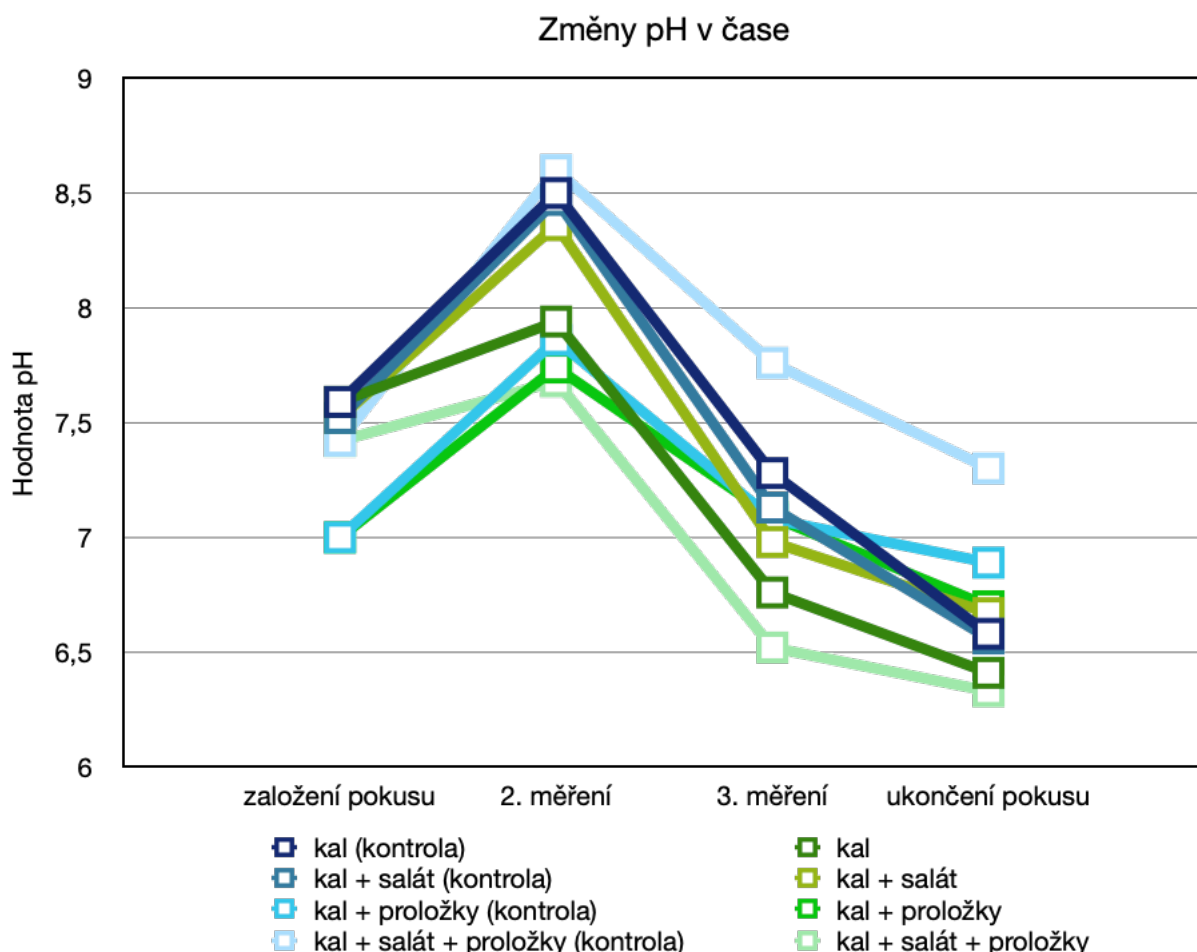
Třetí odběr, který proběhl po třech měsících od založení, se již projevoval celkovým a stabilním poklesem u všech kontrolních variant i vermikompostů. Nejnižší hodnota (pH 6,52) byla pozorována u VK z kalu, salátu a proložek, naopak nejvyšší hodnota (pH 7,76) byla změřena u kontroly rovněž tvořené kalem, salátem a proložkami.

5.3.4. Ukončení pokusu

Změny pH v průběhu experimentu vykazovaly ve všech variantách stejný trend (Graf 4). Po měsíci od založení pokusu (2. měření) docházelo u všech variant včetně kontrol k postupnému snižování pH. S postupem času se pokles snižoval a lze předpokládat že po delším časovém úseku by se hodnota pH ustálila. Nejvyšší pokles mezi 2. měřeními a ukončením pokusu byl zaznamenán v případě variant tvořených 100 % kalem. U kontroly byl zjištěn rozdíl 1,92 a u VK 1,53. Výsledné hodnoty pH představuje tabulka č. 11.

Tabulka 11 Výsledné hodnoty pH u kontrolních variant a vermikompostů

Kontrola	Hodnota pH	VK	Hodnota pH
kal	6,58±0,11	kal	6,41±0,08
kal + salát	6,89±0,16	kal + salát	6,67±0,04
kal + proložky	6,56±0,11	kal + proložky	6,70±0,10
kal + salát + proložky	7,30±0,04	kal + salát + proložky	6,33±0,04



Graf 4 Změny pH v průběhu experimentu (v době založení, měsíc od založení, tři měsíce od založení a šest měsíců od založení)

5.4. Měrná elektrická vodivost

Stejně jako v případě pH byla měrná elektrická vodivost (EC) měřena po každém odběru. Byly tedy stanoveny hodnoty ve čtyřech časových fázích biologického rozkladu odpadních materiálů.

5.4.1. Založení pokusu

Při prvním odběru (Tab. 12) byla nejvyšší hodnota EC (1472 $\mu\text{S}/\text{cm}$) v případě varianty 100 % kal. Naopak nejnižší hodnota byla naměřena pro směs kalu a salátu s proložkami (980 $\mu\text{S}/\text{cm}$). U směsi mohla být vodivost ovlivněna homogenitou materiálu.

Tabulka 12 Měrná elektrická vodivost jednotlivých materiálů při prvním odběru

Materiál	Vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
kal	1472 \pm 55
kal + salát	1200 \pm 24
kal + proložky	1603 \pm 77
kal + salát + proložky	980 \pm 41

5.4.2. Druhý odběr

Měsíc od založení pokusu vykazovala nejnižší hodnoty EC varianta tvořená kalem a nasávanou kartonáží (proložky), a to jak v případě kontroly (553 $\mu\text{S}/\text{cm}$), tak i VK (558 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Hodnota u těchto variant klesla přibližně o polovinu oproti prvnímu odběru. Téměř beze změny zůstaly varianty (kontrola i VK) s kalem, salátem a proložkami. Kontrola tvořená 100 % kalem měla hodnotu EC nejvyšší (2340 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

5.4.3. Třetí odběr

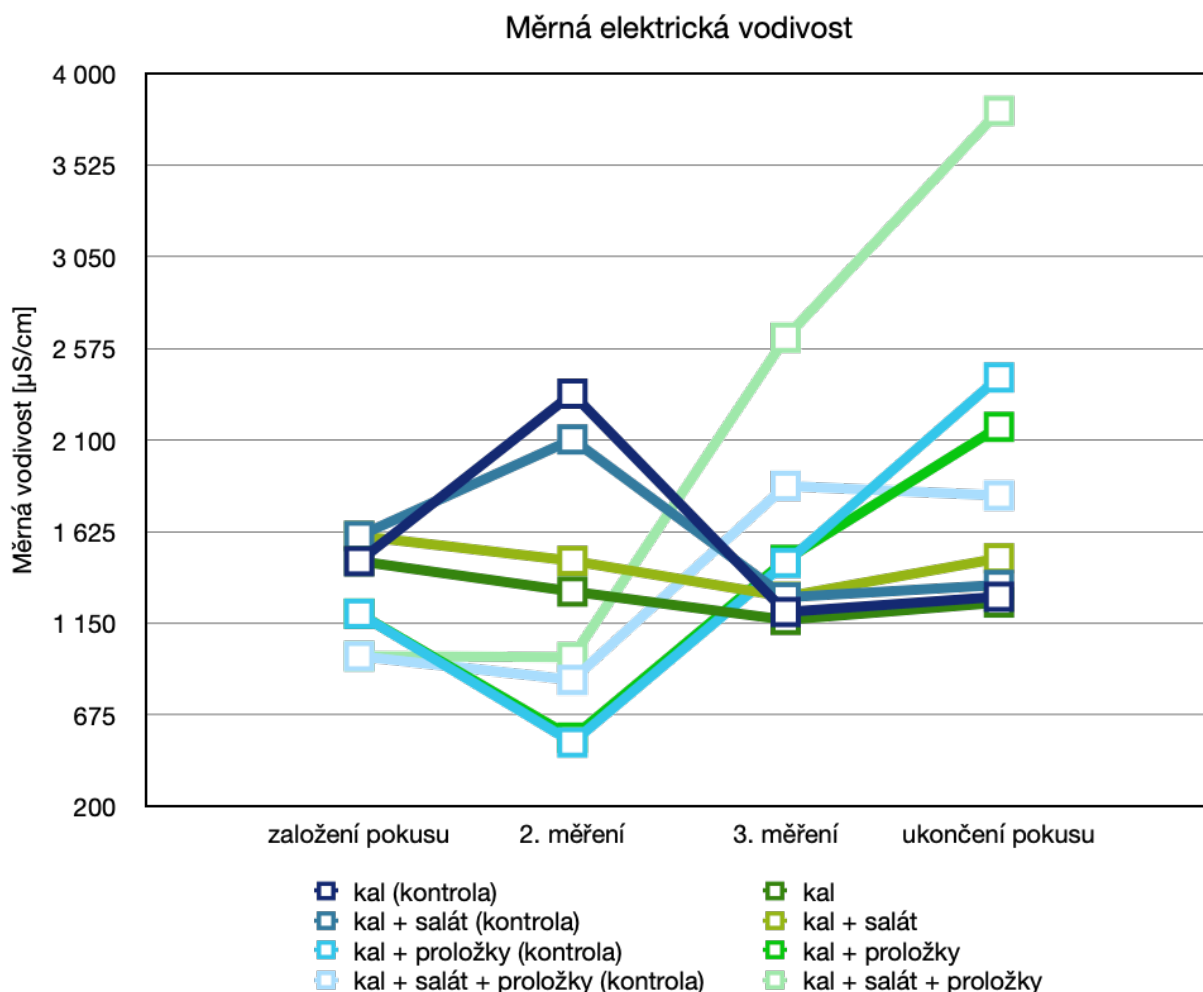
Tři měsíce od počátku experimentu byla nejvyšší hodnota EC naměřena u VK kal se salátem a proložkami (2630 $\mu\text{S}/\text{cm}$). Nejméně zasolené byly varianty kontrola (1209 $\mu\text{S}/\text{cm}$) i VK (1168 $\mu\text{S}/\text{cm}$) ze 100 % kalu. Rostoucí tendenci mezi druhým a třetím odběrem vykazovaly varianty (kontrola i VK) kal + salát + proložky a kal s proložkami.

5.4.4. Ukončení pokusu

Při závěrečném odběru bylo zjištěno, že v případě varianty VK kal, salát a proložky byla hodnota EC velmi vysoká oproti kontrole a ostatním variantám (3805 $\mu\text{S}/\text{cm}$). U této varianty navíc EC vzrůstala po celou dobu experimentu. Nejvyšší nárůst zaznamenala právě v poslední fázi. Naopak nejnižší hodnoty EC byly zjištěny u kontroly a VK tvořených 100 % kalem. Kontrola vykazovala nižší hodnoty než VK, nicméně tento rozdíl byl marginální. Jak lze vyčíst z grafu č. 5, varianty (kontrola i VK) tvořené kalem a proložkami měly téměř shodný průběh v celém šestiměsíčním intervalu. Výsledné hodnoty znázorňuje tabulka č. 13.

Tabulka 13 Výsledné hodnoty EC u kontrolních variant a vermikompostů

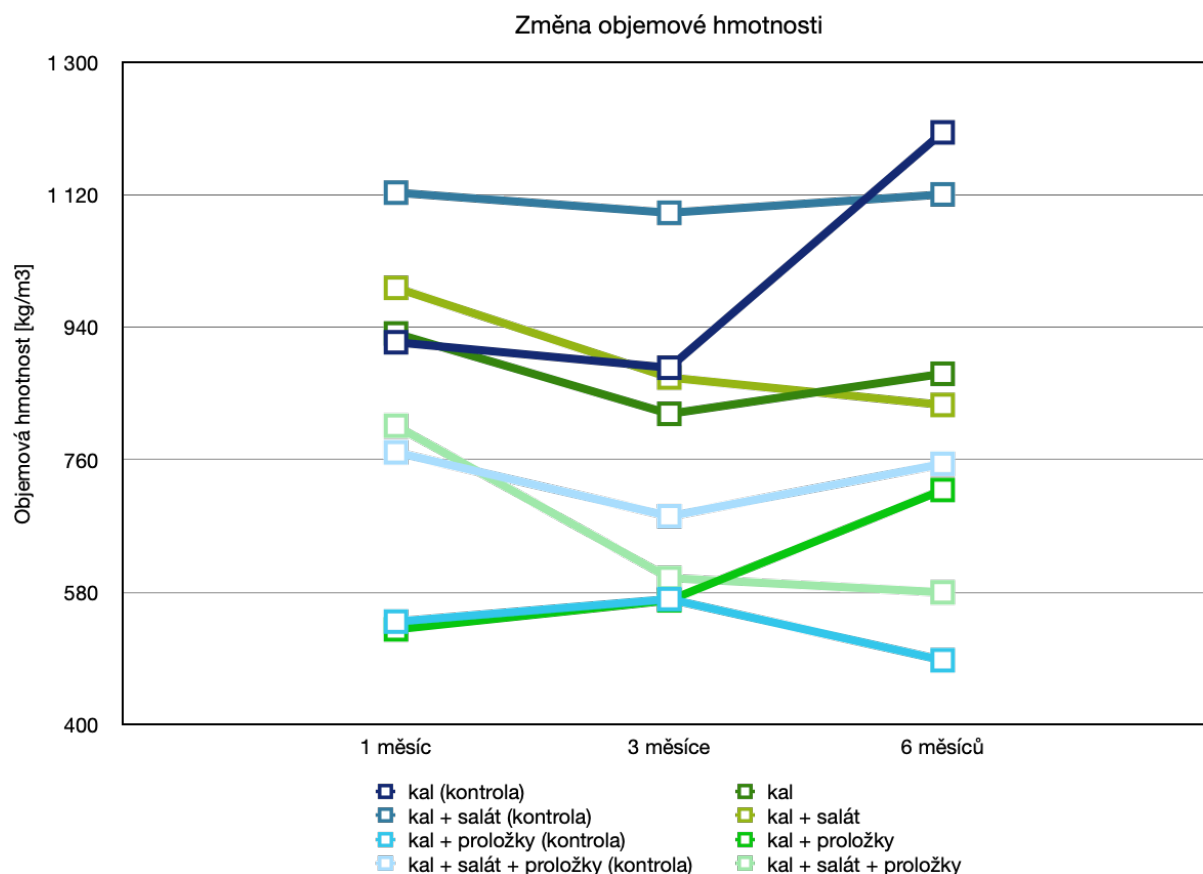
Kontrola	Vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	VK	Vodivost [$\mu\text{S}/\text{cm}$]
kal	1288 \pm 98	kal	1258 \pm 145
kal + salát	1349 \pm 8	kal + salát	1487 \pm 143
kal + proložky	2424 \pm 109	kal + proložky	2168 \pm 186
kal + salát + proložky	1812 \pm 158	kal + salát + proložky	3805 \pm 127



Graf 5 Změny měrné elektrické vodivosti v průběhu experimentu (v době založení, měsíc od založení, tři měsíce od založení a šest měsíců od založení)

5.5. Objemová hmotnost

Objemová hmotnost byla stanovována od prvního měsíce dále, jelikož proložky byly velmi objemné a varianty s nimi v základce převyšovaly rozměr misky určené k vermikompostování. Celkem se jednalo o tři měření, během nichž bylo zjištěno následující: nárůst objemové hmotnosti byl zaznamenán v případě kontroly 100 % kal a VK kal s nasávanou kartonáží (Graf 6). U ostatních variant došlo ke snížení objemové hmotnosti. Tento úbytek byl nejvýznamnější v případě VK kal, salát a nasávaná kartonáž.



Graf 6 Změna objemové hmotnosti v průběhu experimentu (měsíc od založení, tři měsíce od založení a šest měsíců od založení)

5.6. Celkové obsahy prvků

Celkové obsahy prvků byly stanovovány ve všech variantách. Celkem se jednalo o čtyři analýzy, při nichž byly zjišťovány hodnoty Al, B, Ca, Fe, Mg, Mn, P, S, K a z rizikových prvků As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb, Zn. Tabulka s kompletními naměřenými hodnotami prvků je součástí přílohy. Pro účely vyhodnocení byly celkové obsahy dle skutečné navážky přepočteny na mg/kg. U prvků As, Cd, Cr, Cu, Mo, Ni, Pb a Zn jsou vzhledem k rizikovosti uvedeny pouze nejvyšší naměřené hodnoty, zbylé hodnoty jsou součástí příloh.

5.6.1. Založení pokusu

V úvodním měření surovin a základkových směsí byly stanoveny nejvyšší hodnoty hliníku (Al) pro směs kal, salát a proložky ($8448,6 \pm 958,0$ mg/kg), nejnižší hodnoty byly zjištěny u samotného kalu ($876,7 \pm 39,0$ mg/kg). Odlišná situace byla v případě boru (B), u kterého nejvyšších koncentrací dosahoval samotný kal ($29,8 \pm 2,7$ mg/kg), a nejnižších hodnot směs kal + salát ($19,0 \pm 2,3$ mg/kg). Vápník (Ca) byl nejvíce zastoupen ve směsi kal + salát + proložky ($59746,3 \pm 5088$ mg/kg). Nejvyšší koncentrace železa (Fe) byla zjištěna u samotného kalu ($5766,2 \pm 136$ mg/kg) a u směsi kal + salát ($5603,1 \pm 276,6$ mg/kg). Hořčíku (Mg) bylo nejvíce ve variantě kal + salát ($3076,6 \pm 228,9$ mg/kg) a nejméně ve směsi kal + salát + proložky ($1505,7 \pm 231,3$ mg/kg). Stejná situace byla i v případě

manganu (Mn), kde nejvyšší koncentrace byla ve směsi kal + salát (499,1±30,6 mg/kg) a nejnižší u směsi kal + salát + proložky (129,7±57,3 mg/kg). Obsah fosforu (P) se lišil u variant s proložkami a bez nich v několika řádech. Nejvyšší koncentrace P byla v kalu (23082,0±517,0 mg/kg), a naopak nejnižší ve směsi kal + salát + proložky (5228,5±3018,2 mg/kg). Síry (S) bylo nejvíce ve směsi kalu se salátem (7122,8±588,4 mg/kg) a stejně tak draslíku (7214,4±1202,6 mg/kg).

Nejvíce arsenu (10,3±0,5 mg/kg), kadmia (1,0±0,1 mg/kg), mědi (108,6±10,3 mg/kg), molybdenu (3,9±0,4 mg/kg), niklu (50,0±3,8 mg/kg) a zinku (1230,0±75,5 mg/kg) bylo naměřeno u varianty kal + salát. Nejvyšší obsah chromu (28,6±6,7 mg/kg) byl zaznamenán u varianty 100 % kal a nejvíce olova (7,0±1,2 mg/kg) u varianty kal + salát + proložky.

5.6.2. Druhý odběr

Měsíc od založení experimentu došlo ve všech variantách, kontrolních i VK, k zvýšení obsahu Al, Mg. V případě B došlo k nejvyššímu nárůstu u kontroly kal + proložky a VK (kal + salát). Ca rostl u všech variant s výjimkou kontroly se 100 % kalem. Fe kleslo u kontroly se 100 % kalem a VK kal + proložky. Mn, P a S zaznamenaly pokles pouze u VK kal + proložky, jinak hodnoty pro všechny varianty rostly. Nejvyšší růst v případě K byl zaznamenán u kontroly kal + proložky.

Měsíční interval se na obsahu rizikových prvků projevil následovně. Nejvíce As (18,9±2,2 mg/kg), Cr (52,0±16 mg/kg), Ni (64,9±3,0 mg/kg) a Zn (1193,6±21,5 mg/kg) bylo stanoveno ve variantě VK kal 100 %. Nejvyšší obsah Cd (0,67±0,1 mg/kg) byl stanoven u kontroly se 100 % kalem. Cu (197,4±3,2 mg/kg) bylo nejvíce ve variantě VK kal + salát. Nejvíce Mo (4,14±0,6 mg/kg) obsahovala varianta kontrolní kal + salát. Pb (12,8±1,6 mg/kg) bylo nejvíce v kontrole kal + salát + proložky.

5.6.3. Třetí odběr

Vzorky odebrané po třech měsících vykazovaly nárůst ve všech variantách u Al, Ca a Fe. B měl téměř u všech variant rostoucí tendenci, kromě VK (kal + salát), u něhož došlo ke stagnaci a u kontroly kal + proložky, kde došlo naopak ke snížení obsahu. U Mg byl mírný pokles ve variantách kal + salát (kontrola i VK) a VK kal 100 %. Obsah Mn se oproti druhému odběru snížil pouze u kontroly (kal + proložky), ale i přesto byla hodnota vyšší než při založení pokusu. K výraznému poklesu došlo u P v kontrolní variantě kal + proložky, a mírný pokles byl zaznamenán i ve variantě VK kal + salát + proložky. S rostla ve všech variantách s výjimkou kontroly kal + proložky. Obsah K se zvýšil u všech variant kromě kontroly kal + proložky, kde došlo k poklesu o více než polovinu oproti druhému odběru.

V případě rizikových prvků byla situace následující. Obsah As se zvýšil u všech variant (VK i kontroly) kromě směsi kal + proložky (VK). U Cd došlo ke snížení ve variantě kal + proložky (VK i kontrola) a marginálně i u směsi kal + salát + proložky (VK). Ke zvýšení

obsahu ve všech variantách (VK i kontroly) došlo u Cr, Cu a Ni. Celkový obsah Pb se zvýšil u všech variant (VK i kontroly) s výjimkou 100 % kal (kontrola). U Zn a Mo došlo ke snížení obsahu u varianty kal + proložky (VK i kontrola).

5.6.4. Ukončení pokusu

Celkové obsahy prvků z posledního odběru jsou vztaženy k hodnotám ze založení experimentu. U všech stanovovaných nerizikových prvků (Al, B, Ca, Fe, Mg, S, K) s výjimkou P došlo k alespoň malému nárůstu obsahu oproti vstupním hodnotám. V případě fosforu došlo ke snížení u variant VK kal 100 % a kal + proložky (VK i kontrola). Průběhy změn v obsahu jednotlivých prvků jsou znázorněny graficky, vzhledem k rozsahu jsou tyto grafy součástí příloh.

Poslední odběr prokázal, že oproti hodnotám z prvního odběru došlo ke zvýšení obsahu rizikových prvků téměř u všech variant (kontrolních i VK). Finální hodnoty rizikových i nerizikových prvků znázorňují tabulky č. 14 a 15.

Tabulka 14 Celkové obsahy prvků na konci experimentu

Varianta	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]	K [mg/kg]
1	1310,2±41,7	34,9±1,4	43739,3±1238,8	7571,1±107,8	5547,1±193,9	788,7±12,3	33975,8±897,5	10648,1±440,6	3793,9±164,0
2	1618,8±123,0	39,3±0,9	51547,4±4226,0	8192,1±169,0	6403,0±203,2	809,5±48,3	38665,4±1970,5	11858,3±205,5	8628,2±977,0
3	18202,5±1392,7	19,0±2,3	116574,8±5483,4	3269,4±265,1	3168,9±56,4	197,6±29,1	6195,2±1469,9	3218,2±292,2	1779,6±73,6
4	18375,7±445,8	22,0±0,6	118556,2±3636,0	3113,4±217,8	3230,3±89,1	176,1±24,4	5396,2±1110,7	3013,4±249,3	2741,4±122,7
5	1569,1±122,9	40,5±2,6	45338,3±3057,6	7764,8±299,2	6615,6±822,4	764,5±35,5	36026,9±2437,8	12015,8±721,1	9131,2±1177,7
6	1688,6±143,0	40,2±0,3	51064,7±2051,4	7960,0±405,2	6408,1±355,7	803,8±24,0	37438,2±1010,1	12085,4±410,4	13024,1±593,5
7	15413,0±1225,1	22,1±0,6	107429,7±6253,9	4529,4±524,2	4200,6±239,9	352,4±40,1	13533,6±2113,8	5419,3±480,2	6024,8±711,9
8	16164,6±922,1	27,2±1,8	111490,6±5140,4	3859,5±138,0	4163,7±108,0	269,8±14,9	11590,9±173,8	4793,5±56,5	7959,3±342,1

Tabulka 15 Celkové obsahy rizikových prvků na konci experimentu (hodnoty pod limitem detekce jsou označeny NA). Nadlimitní hodnoty (dle ČSN 46 5736) jsou označeny červeně.

Varianta	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Mo [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
1	12,1±0,7	1,1±0,1	38,6±4,7	203,4±5,7	4,6±0,2	81,4±4,3	NA	1613,5±20,3
2	6,0±0,5	NA	18,1±5,7	101,8±3,9	1,5±0,2	19,4±3,8	15,5±4,3	338,2±64,5
3	12,5±1,2	1,1±0,1	40,1±2,3	212,5±17,8	4,5±0,04	72,1±5,0	1,9±0,3	1769,9±173,7
4	6,7±2,9	0,4±0,1	22,6±4,2	140,1±15,4	2,6±0,5	34,2±7,2	12,8±1,0	672,2±109,3
5	12,8±2,0	1,0±0,04	56,7±11,8	207,3±10,9	4,8±0,2	78,8±4,6	2,1±1,1	1837,8±49,2
6	3,9±0,4	NA	16,0±1,6	100,5±3,2	1,5±0,2	16,5±5,7	13,0±0,6	307,8±47,2
7	12,7±2,1	1,0±0,05	50,0±16,5	205,6±7,1	4,9±0,1	81,3±5,8	2,3±1,3	1782,3±70,8
8	6,1±0,3	0,2±0,1	23,0±4,4	114,9±1,7	2,0±0,03	22,6±1,4	14,4±4,4	562,0±24,6

Tabulka č. 16 znázorňuje procentuální poměr obsahů prvku ve vermikompostech vztažený ke kontrolám. Kontrola je tedy uvažována jako 100 % obsahu daného prvku.

Tabulka 16 Procentuální poměr v celkovém obsahu prvků ve vermikompostech na konci experimentu oproti kontrole. (kontrola je uvažována jako 100 %)

	kal	kal + salát	kal + proložky	kal + salát + proložky
Al	123,6 %	107,6 %	101,0 %	104,9 %
B	111,4 %	97,6 %	100 %	96,4 %
Ca	117,9 %	112,6 %	101,7 %	103,8 %
Fe	108,2 %	102,5 %	95,2 %	85,2 %
Mg	115,4 %	96,9 %	101,9 %	99,1 %
Mn	102,5 %	105,1 %	88,9 %	76,7 %
P	113,8 %	103,9 %	87,1 %	85,6 %
S	111,4 %	100,6 %	93,6 %	88,5 %
K	227,4 %	142,6 %	154,0 %	132,1 %

5.7. Přístupné obsahy prvků

Přístupné obsahy prvků jsou důležitým ukazatelem pro použitelnost výsledných vermikompostů. Udávají, jaké množství prvku je rostlina schopna z půdy extrahovat. Pokud by byly hodnoty některých prvků příliš vysoké, mohlo by to mít negativní dopady nejen na rostliny, ale na celé životní prostředí. Stanovovány byly hodnoty Al, B, Fe, K, Mg, Mn, P, S a z rizikových prvků As, Cd, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn. Tabulka s kompletními naměřenými hodnotami přístupných prvků je součástí přílohy. Pro účely vyhodnocení byly celkové obsahy dle skutečné navážky (4,0 g) přepočteny na mg/kg.

5.7.1. Založení pokusu

Úvodní stanovení obsahu přístupných prvků prokázalo nejvyšší hodnoty Fe, K, Mg, Mn, P a S ve variantách bez proložek. Fe ($538,0 \pm 23,6$ mg/kg), Mg ($1990 \pm 52,0$ mg/kg), P ($3606,7 \pm 156,3$ mg/kg) a S ($657,0 \pm 13,0$ mg/kg) bylo nejvíce ve variantě 100 % kal. Naopak K ($5766,7 \pm 728,6$ mg/kg) a Mn ($250,3 \pm 0,6$ mg/kg) bylo nejvíce ve směsi kal + salát. Al ($16,8 \pm 0,8$ mg/kg) a B ($4,3 \pm 0,08$ mg/kg) bylo na začátku experimentu nejvíce ve variantě kal + salát + proložky.

Během prvního odběru zakládkových směsí a surovin byly nejvyšší obsahy As ($3,9 \pm 0,2$ mg/kg), Cd ($0,2 \pm 0,01$ mg/kg) a Zn ($272,7 \pm 6,7$ mg/kg) zjištěny u varianty 100 % kal. Nejvíce Cr ($0,3 \pm 0,01$ mg/kg), Cu ($23,7 \pm 1,0$ mg/kg) a Ni ($17,5 \pm 0,8$) bylo naměřeno ve variantě kal + salát. V případě Pb, bylo nejvyšší množství ($0,64 \pm 0,3$ mg/kg a $0,64 \pm 0,02$ mg/kg) stanoveno ve variantách kal + proložky a kal + proložky + salát.

5.7.2. Druhý odběr

Měsíc od založení pokusu došlo ke zvýšení Al u všech variant kromě směsi kal + salát + proložky (VK i kontrola). Obsah B se u všech variant (kontroly i VK) snížil. V případě Fe

došlo ke zvýšení u variant 100 % kal (kontrola), kal + salát (kontrola) a kal + salát + proložky (kontrola i VK). K se zvýšil u všech variant kromě směsi kal + salát (kontrola) a kal + proložky (VK i kontrola). Ke zvýšení obsahu Mg došlo pouze v případě kal + salát + proložky (VK i kontrola). Mn se pro změnu snížil u variant kal + salát (VK i kontrola) a kal + proložky (VK i kontrola). Ke snížení ve směsi kal + proložky (VK i kontrola) došlo i v případě fosforu. Drobné snížení obsahu P a S bylo zaznamenáno i u směsi kal + salát + proložky (VK).

As se projevil alespoň mírným poklesem ve všech variantách (kontroly i VK). Naopak Cr se, u všech variant, kde byl detekován, lehce zvýšil. V případě dalších rizikových prvků už situace nebyla tak jednoznačná. Cd se zvýšil ve variantě kal + salát + proložky (kontrola i VK). K nárůstu obsahu Cu došlo ve variantách 100 % kal (VK), kal + salát + proložky (VK i kontrola). U Ni se obsah zvýšil ve variantách 100 % kal (VK i kontrola), kal + salát (kontrola) a kal + salát + proložky (VK i kontrola). Kromě varianty kal + salát (kontrola i VK) bylo prokázáno zvýšení Pb u všech variant.

5.7.3. Třetí odběr

Tři měsíce od založení experimentu byl pozorován nárůst přístupného obsahu Al pouze u variant kal 100 % (kontrola) a kal + salát (kontrola). B rostl u všech variant kromě směsi kal + proložky (VK). U Fe, K, Mg a P došlo ke zvýšení obsahu u všech variant (VK i kontroly). V případě Mn došlo ke snížení u variant 100 % kal (VK i kontrola) a kal + salát (kontrola). Obsah S se snížil u všech variant s výjimkou směsi kal + proložky (kontrola) a kal + salát + proložky (kontrola).

Obsah As se mezi druhým a třetím odběrem zvýšil ve variantách 100 % kal (VK), kal + salát (VK i kontrola) a kal + salát + proložky (VK). V případě Cd došlo u všech variant pouze k marginálním změnám. Cr se zvýšil u kontrolních variant 100 % kal a kal + salát. Přístupný obsah Cu se zvýšil u všech variant s proložkami (VK i kontroly). Ni se zvýšil u všech variant s proložkami (VK i kontroly) a ve směsi kal + salát (VK). Obsah Pb vzrostl ve variantách s proložkami (VK i kontroly) a ve variantách 100 % kal (VK) a kal + salát (VK). Rizikový Zn se zvýšil v případě všech variant (VK i kontroly).

5.7.4. Ukončení pokusu

Odběr po šesti měsících od založení prokázal zvýšení obsahu Al u všech variant (VK + kontroly) s výjimkou kal + salát + proložky (VK i kontrola). Téměř stejná situace byla i v případě B, kde došlo ke snížení pouze ve směsi kal + salát + proložky (kontrola). Oproti založení byl pozorován nárůst i v případě Fe ve variantách 100 % kal (VK i kontrola), kal + salát (VK) a kal + salát + proložky (VK i kontrola). Přístupný obsah K se zvýšil ve všech variantách (VK i kontroly). Mg vzrostl u všech variant s výjimkou 100 % (VK) a směsi kal + salát (VK). U Mn došlo k mírnému zvýšení pouze v případě 100 % kal (VK i kontrola) a kal + salát + proložky (kontrola). Nárůst P a S byl prokázán u všech variant kromě směsi kal + proložky (VK i kontrola).

Rizikový As se projevil růstem pouze ve variantě kal + salát (kontrola) a marginálně ve směsi kal + salát + proložky (VK). U Cd došlo k marginálnímu zvýšení ve variantách 100 % kal (kontrola) a kal + proložky (VK i kontrola). Cr se zvýšil u všech variant, u kterých byl detekován na začátku experimentu. Nárůst Cu byl zaznamenán v případě kal + salát (VK), kal + proložky (VK i kontrola) a kal + salát + proložky (VK i kontrola). Obsah Ni se zvýšil ve všech variantách s výjimkou kal + proložky (VK). K nárůstu Pb došlo ve všech variantách s proložkami (kontroly i VK). Přístupný obsah rizikového Zn se zvýšil u všech variant (VK i kontroly). Finální hodnoty rizikových i nerizikových prvků znázorňují tabulky č. 17 a 18.

Tabulka 17 Přístupné obsahy prvků na konci experimentu

Varianta	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
1	3,27±0,5	7,4±0,9	705,7±222,6	3480,0±155,2	2243,3±100,7	221,7±30,1	6893,3±716,0	3146,7±646,3
2	17,9±2,4	4,0±0,1	90,2±4,0	1230,0±115,3	751,3±105,0	29,5±4,0	137,0±42,8	204,0±118,3
3	2,4±0,7	7,9±1,2	391,3±139,5	8360,0±417,6	2463,3±234,6	228,7±26,0	6626,7±829,5	4163,3±559,7
4	5,4±2,8	4,0±0,7	94,8±24,6	4936,7±599,2	1176,7±231,2	41,4±17,9	385,0±195,0	950,0±216,8
5	2,8±0,6	8,8±0,2	744,0±29,6	8343,3±115,9	1950,0±199,7	232,0±33,0	4790,0±320,5	3110,0±389,7
6	17,8±2,4	4,4±0,2	93,2±5,6	2183,3±109,7	741,3±87,2	29,2±7,6	142,7±61,0	162,6±55,7
7	3,4±1,2	8,5±0,4	758,7±146,2	11773,3±275,9	1646,7±51,3	210,3±49,7	4786,7±467,6	3200,0±465,2
8	8,3±0,6	4,9±0,1	101,4±8,3	6920,0±78,1	1366,7±41,6	32,6±4,8	449,0±22,9	501,7±148,5

Tabulka 18 Přístupné obsahy rizikových prvků na konci experimentu (hodnoty pod limitem detekce jsou označeny NA)

Varianta	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
1	3,8±0,4	0,2±0,1	0,4±0,05	12,2±4,5	21,4±1,5	NA	532,0±172,0
2	NA	0,1±0,02	NA	10,2±1,0	3,0±0,6	1,1±0,1	100,0±7,1
3	6,1±0,3	0,5±0,2	0,4±0,2	32,8±14,4	25,2±0,5	0,3±0,1	783,0±158,9
4	0,9±0,2	0,3±0,05	NA	19,5±6,4	6,5±1,9	1,0±0,1	278,7±74,9
5	3,1±0,7	0,1±0,04	0,3±0,02	10,7±3,4	20,1±1,0	NA	333,0±62,6
6	0,5±0,1	0,1±0,01	NA	9,6±0,9	2,7±0,6	1,2±0,1	85,0±15,0
7	3,2±0,2	0,1±0,05	0,4±0,1	9,9±4,1	21,5±0,6	0,2±0,2	287,0±87,8
8	1,0±0,2	0,2±0,01	NA	14,6±0,7	5,4±0,2	1,0±0,1	158,0±4,4

Tabulka č. 19 znázorňuje procentuální poměr v obsahu prvků mezi kontrolami a vermikomposty. Kontrola je stejně jako v případě celkových prvků uvažována jako 100 %.

Tabulka 19 Procentuální poměr v přístupném obsahu prvků ve vermikompostech na konci experimentu oproti kontrole. (kontrola je uvažována jako 100 %)

	kal	kal + salát	kal + proložky	kal + salát + proložky
Al	85,6 %	141,7 %	99,4 %	153,7 %
B	118,9 %	107,59 %	110,0 %	122,5 %
Fe	105,4 %	194,1 %	103,3 %	106,3 %
Mg	86,9 %	66,9 %	98,7 %	116,1 %
Mn	104,5 %	91,7 %	96,7 %	80,5 %
P	69,5 %	72,2 %	104,4 %	116,6 %
S	98,8 %	76,9 %	79,9 %	54,6 %
K	239,7 %	140,8 %	177,5 %	140,2 %

5.8. Celkové obsahy uhlíku a dusíku

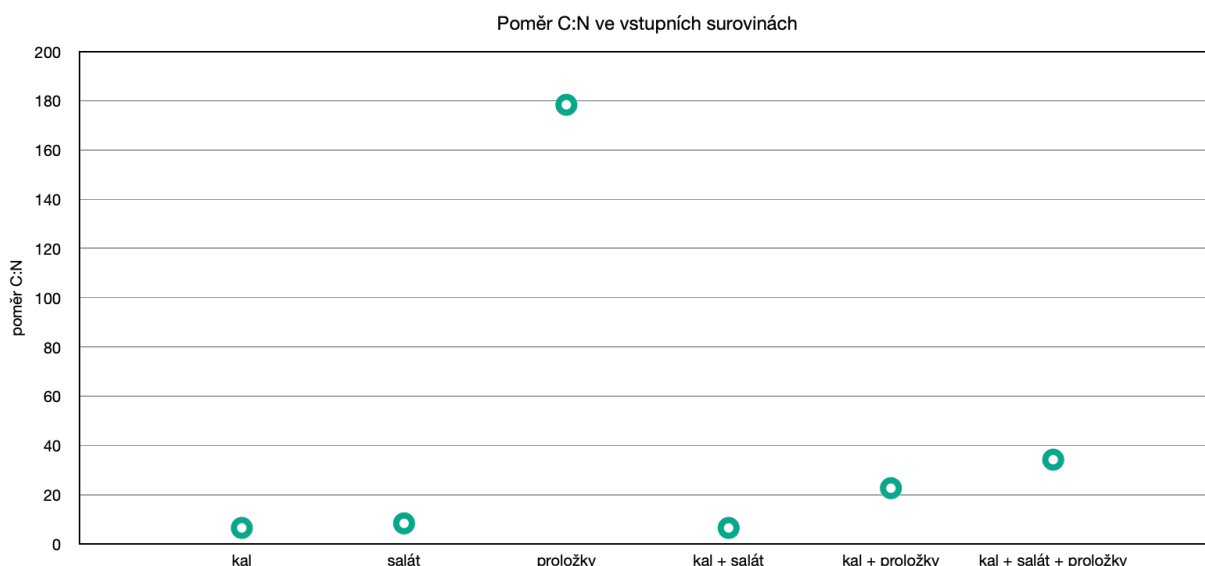
Poměr C:N je významným ukazatelem intenzity rozkladu odpadního materiálu. Ideální vstupní poměr uhlíku a dusíku v zakládkové směsi určené k vermikompostování by se měl pohybovat okolo 30:1.

5.8.1. Založení pokusu

Při zakládání experimentu byly stanoveny celkové obsahy C a N a jejich poměr ve všech vstupních surovinách a směsích. Nejvyšší poměry C:N byly zaznamenány v případě proložek (nasávané kartonáže) a ve směsích obsahujících proložky (Tab. 19). Naopak velmi nízké poměry C:N byly stanoveny v samotném kalu, salátu a ve směsi kal + salát. Z úvodního měření je patrné, že vstupní poměr C:N samotného kalu je velmi nízký, a dá se předpokládat, že by se poměr postupem času dále snižoval, což není žádoucí.

Tabulka 19 Poměry C:N ve vstupních surovinách a směsích

Surovina/směs	C:N
kal	6,48±0,08
salát	8,33±0,2
proložky	178,34±34,2
kal + salát	6,47±0,02
kal + proložky	22,62±9,4
kal + salát + proložky	34,20±9,1



Graf 7 Změřené hodnoty C:N ve vstupních surovinách a základkových směsích.

5.8.2. Ukončení pokusu

Hodnoty C a N na konci pokusu bohužel stanoveny nebyly z důvodu nedostatku technických plynů potřebných k elementární analýze. Všechny vzorky jsou však připraveny pro další analýzy.

5.9. Množství a biomasa žížal

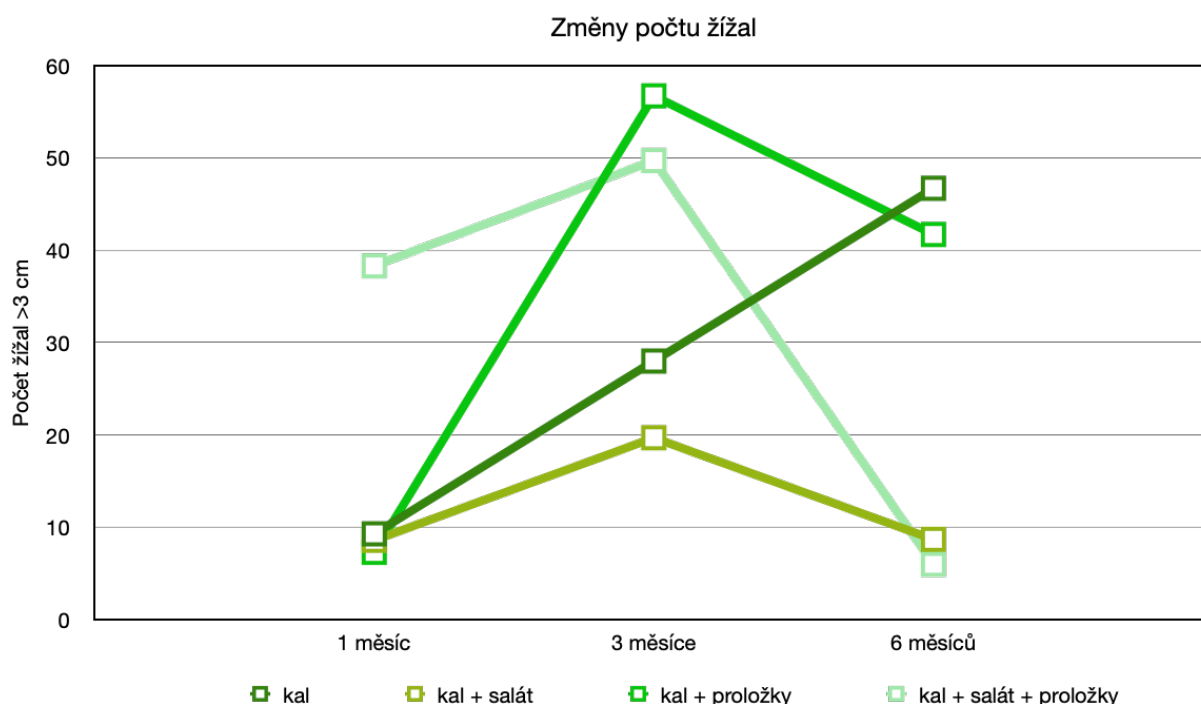
Během každého odběru vzorků byly rovněž zjišťovány počet a hmotnost žížal v různých variantách VK. Úmrtnost žížal byla dle zjištěných hodnot na konci experimentu marginální, a to i v případě samotného akvakulturního kalu, u kterého se očekávala zvýšená morbidita. Naopak ve variantě 100 % kal bylo výsledné množství žížal nejvyšší. Tabulka č. 20 ukazuje rozdíly v počtu žížal během prvního a posledního odběru.

Tabulka 20 Počty žížal při prvním a posledním odběru

Materiál	počet žížal > 3 cm (po 1 měsíci)	počet žížal > 3 cm (po 6 měsících)
kal	9,3±9,29	46,7±56,72
kal + salát	8,7±1,53	8,7±6,66
kal + proložky	7,3±2,31	41,7±12,67
kal + salát + proložky	38,3±14,47	6,0±7,2

Dle grafu č. 8 můžeme říci, že k nepřetržitému nárůstu počtu žížal docházelo pouze v případě varianty VK 100 % kal. Naopak nejvyšší pokles počtu žížal byl zaznamenán u varianty kal, salát a proložky. V tomto případě měl počet stoupající tendenci až do třetího měsíce od založení, ale následně již docházelo k významnému poklesu. Varianta tvořená kalem a proložkami měla sice v závěru experimentu klesající tendenci, nicméně počet žížal se stále udržel v rozumném množství. U varianty kal + salát nedocházelo

k významným změnám, ačkoliv jsme mohli pozorovat nárůst v počtu žížal během třetího měsíce, poslední měsíc již bylo množství žížal na původní hodnotě.



Graf 8 Změny v počtu žížal v průběhu experimentu u všech variant

5.10. Statistické šetření

5.10.1. Rozdělení dat

Velikost vzorku $n = 3$ je příliš nízká k vyvození závěru o normalitě rozdělení dat. I případné úspěšné provedení testu normality by na takto nízkém počtu vzorků nebylo dostatečně spolehlivé, a mohlo by zvýšit riziko chyby prvního druhu. Z toho důvodu jsme se rozhodli pro neparametrické statistické testy.

5.10.2. Hypotéza č. 1

Samotný kal z akvakultury není vhodný pro vermikompostování.

Na tuto hypotézu můžeme nahlížet ze dvou směrů. Za prvé, zdali samotný akvakulturní kal splňuje podmínky pro to, aby do něj mohly být žížaly nasazeny, aniž by došlo k rozsáhlé mortalitě. Za druhé, zdali budou varianty obsahující salát a proložky vykazovat lepší vlastnosti nežli samotný kal. První variantu není třeba ověřovat statisticky, postačí srovnání naměřených hodnot ve vstupním odběru s doporučenými hodnotami některých vlastností (pH, EC, rizikové prvky). Z naměřených hodnot viz tabulky č. 10, 12 a vzhledem k velmi nízké zjištěné mortalitě můžeme usoudit, že je možné žížaly do samotného kalu nasadit. Statistické šetření (Tab. 22 a 23) proběhlo za účelem zjištění, zdali má přítomnost proložek nebo salátu statisticky významný vliv na výsledné parametry. Jak je patrné

z tabulky č. 21, přítomnost salátu má statisticky významný vliv na celkový obsah K a přístupné obsahy Cr, Cu, K a Zn.

Tabulka 21 Vliv přítomnosti salátu na vybrané parametry (výstup z TIBCO Statistica 14)

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (stat_data)
By variable salát
Marked tests are significant at p <.05000

	Rank Sum (N)	Rank Sum (A)	U	Z	p-value	Z (adjusted)	p-value	Valid N (N)	Valid N (A)	2*1sided (exact p)
pH	151,0000	149,0000	71,00000	0,02887	0,976970	0,02887	0,976970	12	12	0,977402
konduktivita	140,0000	160,0000	62,00000	-0,54848	0,583361	-0,54848	0,583361	12	12	0,589876
Al (c)	159,0000	141,0000	63,00000	0,49075	0,623605	0,49075	0,623605	12	12	0,629726
As (c)	140,0000	160,0000	62,00000	-0,54848	0,583361	-0,54848	0,583361	12	12	0,589876
B (c)	118,0000	182,0000	40,00000	-1,81865	0,068965	-1,81865	0,068965	12	12	0,068361
Ca (c)	162,0000	138,0000	60,00000	0,66395	0,506721	0,66395	0,506721	12	12	0,513723
Cd (c)	139,0000	161,0000	61,00000	-0,60622	0,544371	-0,60887	0,542610	12	12	0,551167
Cr (c)	137,0000	163,0000	59,00000	-0,72169	0,470487	-0,72169	0,470487	12	12	0,477575
Cu (c)	128,0000	172,0000	50,00000	-1,24130	0,214495	-1,24130	0,214495	12	12	0,218921
Fe (c)	134,0000	166,0000	56,00000	-0,89489	0,370845	-0,89489	0,370845	12	12	0,377685
Mg (c)	125,0000	175,0000	47,00000	-1,41451	0,157214	-1,41451	0,157214	12	12	0,159973
Mn (c)	136,0000	164,0000	58,00000	-0,77942	0,435731	-0,77942	0,435731	12	12	0,442833
Mo (c)	130,0000	170,0000	52,00000	-1,12583	0,260237	-1,12583	0,260237	12	12	0,265670
Ni (c)	140,0000	160,0000	62,00000	-0,54848	0,583361	-0,54848	0,583361	12	12	0,589876
P (c)	131,0000	169,0000	53,00000	-1,06810	0,285477	-1,06810	0,285477	12	12	0,291343
Pb (c)	148,5000	151,5000	70,50000	-0,05774	0,953960	-0,05786	0,953859	12	12	0,932301
S (c)	123,0000	177,0000	45,00000	-1,52998	0,126023	-1,52998	0,126023	12	12	0,127688
Zn (c)	127,0000	173,0000	49,00000	-1,29904	0,193932	-1,29904	0,193932	12	12	0,197808
K (c)	95,0000	205,0000	17,00000	-3,14656	0,001652	-3,14656	0,001652	12	12	0,000858
Al (p)	176,0000	124,0000	46,00000	1,47224	0,140956	1,47224	0,140956	12	12	0,143168
As (p)	125,0000	175,0000	47,00000	-1,41451	0,157214	-1,41574	0,156853	12	12	0,159973
B (p)	142,5000	157,5000	64,50000	-0,40415	0,686106	-0,40423	0,686042	12	12	0,670660
Cd (p)	108,0000	192,0000	30,00000	-2,39600	0,016575	-2,39600	0,016575	12	12	0,014493
Cr (p)	149,0000	151,0000	71,00000	-0,02887	0,976970	-0,03085	0,975390	12	12	0,977402
Cu (p)	106,0000	194,0000	28,00000	-2,51147	0,012023	-2,51421	0,011930	12	12	0,010045
Fe (p)	149,5000	150,5000	71,50000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	12	12	0,977402
Mg (p)	133,0000	167,0000	55,00000	-0,95263	0,340779	-0,95263	0,340779	12	12	0,347358
Mn (p)	143,0000	157,0000	65,00000	-0,37528	0,707454	-0,37528	0,707454	12	12	0,712535
Ni (p)	118,0000	182,0000	40,00000	-1,81865	0,068965	-1,81905	0,068905	12	12	0,068361
P (p)	136,0000	164,0000	58,00000	-0,77942	0,435731	-0,77942	0,435731	12	12	0,442833
Pb (p)	149,5000	150,5000	71,50000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	12	12	0,977402
S (p)	123,0000	177,0000	45,00000	-1,52998	0,126023	-1,53031	0,125941	12	12	0,127688
Zn (p)	125,0000	175,0000	47,00000	-1,41451	0,157214	-1,41451	0,157214	12	12	0,159973
K (p)	99,0000	201,0000	21,00000	-2,91562	0,003550	-2,91562	0,003550	12	12	0,002316
žížaly poslední odběr	54,0000	24,0000	3,00000	2,32186	0,020241	2,32186	0,020241	6	6	0,015152
hmotnost žížal	49,0000	29,0000	8,00000	1,52122	0,128206	1,52122	0,128206	6	6	0,132035

Z tabulky č. 22 vyplývá, že přítomnost proložek má statisticky významný vliv na téměř všechny stanovované parametry s výjimkou měrné elektrické vodivosti, a na rozdíl od salátu nemá jejich přítomnost statisticky významný vliv na přístupné obsahy Cd a Cu. Z tabulek č. 13–18 jsou patrné rozdíly v zastoupení prvků v jednotlivých směsích oproti samotnému kalu. Zaměříme-li se například na obsahy rizikových prvků, pak varianty s proložkami vykazovaly zřetelně nižší hodnoty u všech rizikových prvků s výjimkou Pb ve srovnání s variantami bez proložek.

Tabulka 22 Vliv přítomnosti proložek na vybrané parametry (výstup z TIBCO Statistica 14)

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (stat_data)
By variable proložky
Marked tests are significant at p <.05000

	Rank Sum (N)	Rank Sum (A)	U	Z	p-value	Z (adjusted)	p-value	Valid N (N)	Valid N (A)	2*1sided (exact p)
pH	121,0000	179,0000	43,00000	-1,64545	0,099878	-1,64545	0,099878	12	12	0,100530
konduktivita	78,0000	222,0000	0,00000	-4,12805	0,000037	-4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Al (c)	78,0000	222,0000	0,00000	-4,12805	0,000037	-4,12805	0,000037	12	12	0,000001
As (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
B (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Ca (c)	78,0000	222,0000	0,00000	-4,12805	0,000037	-4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Cd (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,14612	0,000034	12	12	0,000001
Cr (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Cu (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Fe (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Mg (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Mn (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Mo (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Ni (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
P (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Pb (c)	78,0000	222,0000	0,00000	-4,12805	0,000037	-4,13706	0,000035	12	12	0,000001
S (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Zn (c)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
K (c)	199,0000	101,0000	23,00000	2,80015	0,005108	2,80015	0,005108	12	12	0,003637
Al (p)	85,0000	215,0000	7,00000	-3,72391	0,000196	-3,72391	0,000196	12	12	0,000033
As (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,13165	0,000036	12	12	0,000001
B (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12895	0,000036	12	12	0,000001
Cd (p)	157,0000	143,0000	65,00000	0,37528	0,707454	0,37528	0,707454	12	12	0,712535
Cr (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,41143	0,000010	12	12	0,000001
Cu (p)	154,0000	146,0000	68,00000	0,20207	0,839860	0,20229	0,839688	12	12	0,842836
Fe (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12895	0,000036	12	12	0,000001
Mg (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Mn (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Ni (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12895	0,000036	12	12	0,000001
P (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12805	0,000037	12	12	0,000001
Pb (p)	78,0000	222,0000	0,00000	-4,12805	0,000037	-4,18111	0,000029	12	12	0,000001
S (p)	222,0000	78,0000	0,00000	4,12805	0,000037	4,12895	0,000036	12	12	0,000001
Zn (p)	214,0000	86,0000	8,00000	3,66617	0,000246	3,66617	0,000246	12	12	0,000050
K (p)	204,0000	96,0000	18,00000	3,08882	0,002010	3,08882	0,002010	12	12	0,001115
žížaly poslední odběr	37,00000	41,00000	16,00000	-0,24019	0,810181	-0,24019	0,810181	6	6	0,818182
hmotnost žížal	36,00000	42,00000	15,00000	-0,40032	0,688921	-0,40032	0,688921	6	6	0,699134

5.10.3. Hypotéza č. 2

V tomto případě jsme stanovili jako nulovou hypotézu H_0 : Biomasa a počet žížal jsou stejné ve variantách obsahujících nasávanou kartonáž a bez ní.

Vzhledem k tomu, že nelze zaručit normalitu dat, byl zvolen neparametrický test Mann-Whitney U Test (Tab. 23). Statistické šetření probíhalo u dvou skupin, z toho důvodu nebyl použit Kruskal-Wallis Test.

Tabulka 23 Vliv přítomnosti nasávané kartonáže na počet a biomasu žížal (výstup z TIBCO Statistica 14)

variable	Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (stat_data)									
	Rank Sum N	Rank Sum A	U	Z	p-value	Z adjusted	p-value	Valid N N	Valid N A	2*1sided exact p
žížaly poslední odběr	37,00000	41,00000	16,00000	-0,240192	0,810181	-0,240192	0,810181	6	6	0,818182
hmotnost žížal	36,00000	42,00000	15,00000	-0,400320	0,688921	-0,400320	0,688921	6	6	0,699134

Pokud bychom předpokládali, že by data mohla pocházet z normálního rozdělení, jelikož se u tohoto typu dat většinou jedná o data s normálním rozdělením, zvolili bychom zároveň jednofaktorovou ANOVU. Výsledkem ANOVY však bylo, že hodnota p je příliš vysoká na to, abychom byli schopni něco usuzovat (Tab. 24).

Tabulka 24 Pokus o ANOVU (výstup z TIBCO Statistica 14)

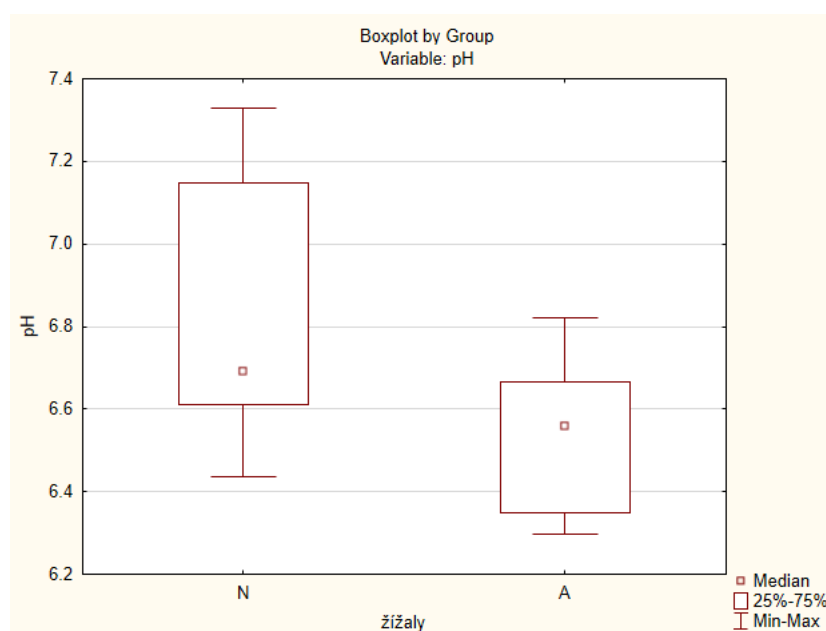
Effect	Univariate Tests of Significance for hmotnost žížal (stat_data) Sigma-restricted parameterization Effective hypothesis decomposition				
	SS	Degr. of Freedom	MS	F	p
Intercept	6.012336	1	6.012336	12.61534	0.005252
proložky	0.716385	1	0.716385	1.50315	0.248275
Error	4.765894	10	0.476589		

Není možné prokázat, že přídavek nasávané kartonáže do směsi určené k vermikompostování má statisticky významný vliv na počet a biomasu žížal.

5.10.4. Hypotéza č. 3

V základních agrochemických parametrech budou průkazné rozdíly mezi materiálem zpracovaným žížalami a bez nich.

Bylo statisticky prokázáno, že přítomnost žížal má signifikantní, statisticky významný vliv na hodnotu pH (Graf 9) a přístupný obsah Cd na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ ($p = 0,026230$, respektive $0,006099$). Vliv přítomnosti žížal na ostatní agrochemické vlastnosti nelze statisticky prokázat (Tab. 25).



Graf 9 Krabicový graf znázorňující hodnoty pH ve variantách se žížalami a kontrolách bez žížal (výstup z TIBCO Statistica 14)

Tabulka 25 Vliv přítomnosti žízála na základní agrochemické vlastnosti a prvky (výstup z TIBCO Statistica 14)

Mann-Whitney U Test (w/ continuity correction) (stat_data)
 By variable žízály
 Marked tests are significant at p <.05000

	Rank Sum (N)	Rank Sum (A)	U	Z	p-value	Z (adjusted)	p-value	Valid N (N)	Valid N (A)	2*1sided (exact p)
pH	189,0000	111,0000	33,00000	2,22280	0,026230	2,22280	0,026230	12	12	0,024184
konduktivit:	138,0000	162,0000	60,00000	-0,66395	0,506721	-0,66395	0,506721	12	12	0,513723
Al (C)	134,0000	166,0000	56,00000	-0,89489	0,370845	-0,89489	0,370845	12	12	0,377685
As (C)	153,0000	147,0000	69,00000	0,14434	0,885234	0,14434	0,885234	12	12	0,887386
B (C)	143,0000	157,0000	65,00000	-0,37528	0,707454	-0,37528	0,707454	12	12	0,712535
Ca (C)	128,0000	172,0000	50,00000	-1,24130	0,214495	-1,24130	0,214495	12	12	0,218921
Cd (C)	161,0000	139,0000	61,00000	0,60622	0,544371	0,60887	0,542610	12	12	0,551167
Cr (C)	139,0000	161,0000	61,00000	-0,60622	0,544371	-0,60622	0,544371	12	12	0,551167
Cu (C)	156,0000	144,0000	66,00000	0,31754	0,750832	0,31754	0,750832	12	12	0,755285
Fe (C)	145,0000	155,0000	67,00000	-0,25981	0,795012	-0,25981	0,795012	12	12	0,798745
Mg (C)	136,0000	164,0000	58,00000	-0,77942	0,435731	-0,77942	0,435731	12	12	0,442833
Mn (C)	147,0000	153,0000	69,00000	-0,14434	0,885234	-0,14434	0,885234	12	12	0,887386
Mo (C)	139,0000	161,0000	61,00000	-0,60622	0,544371	-0,60622	0,544371	12	12	0,551167
Ni (C)	155,0000	145,0000	67,00000	0,25981	0,795012	0,25981	0,795012	12	12	0,798745
P (C)	140,0000	160,0000	62,00000	-0,54848	0,583361	-0,54848	0,583361	12	12	0,589876
Pb (C)	154,0000	146,0000	68,00000	0,20207	0,839860	0,20251	0,839516	12	12	0,842836
S (C)	145,0000	155,0000	67,00000	-0,25981	0,795012	-0,25981	0,795012	12	12	0,798745
Zn (C)	141,0000	159,0000	63,00000	-0,49075	0,623605	-0,49075	0,623605	12	12	0,629726
K (C)	119,0000	181,0000	41,00000	-1,76092	0,078253	-1,76092	0,078253	12	12	0,078024
Al (P)	142,0000	158,0000	64,00000	-0,43301	0,665006	-0,43301	0,665006	12	12	0,670660
As (P)	159,0000	141,0000	63,00000	0,49075	0,623605	0,49118	0,623303	12	12	0,629726
B (P)	124,0000	176,0000	46,00000	-1,47224	0,140956	-1,47256	0,140870	12	12	0,143168
Cd (P)	198,0000	102,0000	24,00000	2,74241	0,006099	2,74241	0,006099	12	12	0,004513
Cr (P)	158,0000	142,0000	64,00000	0,43301	0,665006	0,46274	0,643553	12	12	0,670660
Cu (P)	182,5000	117,5000	39,50000	1,84752	0,064673	1,84953	0,064382	12	12	0,059657
Fe (P)	132,0000	168,0000	54,00000	-1,01036	0,312322	-1,01058	0,312217	12	12	0,318585
Mg (P)	167,0000	133,0000	55,00000	0,95263	0,340779	0,95263	0,340779	12	12	0,347358
Mn (P)	154,0000	146,0000	68,00000	0,20207	0,839860	0,20207	0,839860	12	12	0,842836
Ni (P)	162,5000	137,5000	59,50000	0,69282	0,488423	0,69297	0,488328	12	12	0,477575
P (P)	168,0000	132,0000	54,00000	1,01036	0,312322	1,01036	0,312322	12	12	0,318585
Pb (P)	149,5000	150,5000	71,50000	0,00000	1,000000	0,00000	1,000000	12	12	0,977402
S (P)	163,5000	136,5000	58,50000	0,75056	0,452921	0,75072	0,452823	12	12	0,442833
Zn (P)	180,0000	120,0000	42,00000	1,70318	0,088535	1,70318	0,088535	12	12	0,088734
K (P)	120,0000	180,0000	42,00000	-1,70318	0,088535	-1,70318	0,088535	12	12	0,088734

6. Diskuse

6.1. Obsah NH₃

Hodnoty NH₃ se s postupem času ve všech variantách dle předpokladu snížily. Zároveň se potvrdilo, že v případě variant se žížalím substrátem byly hodnoty NH₃ již od začátku nižší ve srovnání s kontrolami bez žížal. Jak již bylo řečeno dříve, mezi obsahem NH₃ a hodnotou pH existuje korelace. Při poklesu pH dochází zároveň k poklesu uvolňování NH₃ do okolního prostředí. Amonné ionty jsou činností mikroorganismů rozkládány na dusičnany, čímž dochází ke snižování pH a tím i k menšímu úniku plynného NH₃. Hodnotu NH₃ jsme původně plánovali stanovovat při každém kontrolním odběru, nicméně vzhledem k technickým problémům se zařízením pro měření uvolňovaného obsahu plynného NH₃ jsme zvolili pouze dvě měření s necelým měsíčním odstupem.

6.2. Sušina

Obsah sušiny se v průběhu experimentu ve většině variant zvyšoval, nicméně jednoznačný trend ve spojitosti s variantami s žížalami a bez nich nemůžeme potvrdit. K nejvýraznější změně došlo v případě kontroly kal + salát, kde došlo k nárůstu o 4,4 %. V ostatních případech byly změny marginální. Zvýšení obsahu sušiny ve vzorcích můžeme přisuzovat skutečnosti, že ačkoliv byla v místnosti, kde vermikompostování probíhalo udržována konstantní vlhkost, vzniklé výluhy nebyly vráceny zpět do vermikompostů. Ve studii Uçaroğlu & Ufuk (2015), která se zabývala kompostováním čistírenských kalů s pšeničnou slámou, kukuřičnými klasy, listy platanu a slunečnicovým odpadem došlo naopak ke ztrátám suché hmoty až 29,6 %. Předpokládáme, že pokud bychom vzniklý výluh vrátili zpět do vermikompostů, došlo by ve vzorcích ke snížení obsahu sušiny.

6.3. pH

Výsledné hodnoty pH se ve všech vermikompostovaných směsích pohybovaly od 6,3 do 6,7, čímž splňují limity stanovené ČSN 46 5736 pro vermikomposty. Dle našeho měření žížaly snižují hodnotu pH ve vermikompostovaných směsích. Nejlépe byla situace patrná v případě směsi kal + proložky + salát při třetím odběru, kdy se jednalo o nejvyšší naměřený rozdíl. Nižší pH v případě vermikompostovaných směsích přisuzujeme účinnějšímu mikrobiálnímu rozkladu přítomností mikroorganismů v trávicím traktu žížal. Pokles rovněž souvisí s tvorbou huminových kyselin a amonných iontů. Ke snížení pH došlo i v rámci studie Hanč & Plíva (2012), nebo v případě Garg et al. (2012), kteří se dostali až na hodnotu 5,9±0,11. Ve studii Yilmaz et al. (2020) došlo v průběhu experimentu naopak k výraznému zvýšení pH, což může souviset jednak s jiným druhem organického odpadního kalu a zároveň se skutečností, že do vermikompostovaného materiálu bylo v jejich případě přidáváno kompostovací aditivum Bio-One™. Oproti tomu v našem případě došlo ke zvýšení pH pouze po měsíčním odběru, následující odběry již

vykazovaly výrazně nižší hodnoty pH. Posun pH různým směrem může rovněž souviset s druhem použitého organického odpadu, z důvodu různých obsahových látek a prvků, čímž může docházet k tvorbě různých meziproductů.

6.4. Měrná elektrická vodivost

Na začátku experimentu se hodnoty EC u zakládkových směsí pohybovaly v rozmezí 0,98–1,6 mS/cm. Takový materiál bychom mohli považovat za středně zasolený. Při ukončení experimentu hodnoty dosahovaly až 3,8 mS. Ve všech variantách došlo ke zvýšení měrné elektrické vodivosti, nicméně pro žížaly jsou tyto hodnoty stále v mezi tolerance (15 mS/cm). Můžeme tak předpokládat, že i kdyby došlo k dalšímu nárůstu solí ve vermikompostu, na přítomnost žížal by to po určitou dobu nemělo vliv.

Zvýšení hodnot měrné elektrické vodivosti bylo dosaženo i v případě Yilmaz et al. (2020), Hanč & Plíva (2012) nebo Garg et al. (2012). Zvyšující se trend u vermikompostovaných materiálů (s výjimkou 100 % kalu, kde došlo k poklesu) můžeme přisuzovat uvolňování solí z trávicího traktu žížal při rozkladu organické hmoty, a rovněž klesající hmotnosti a objemu daného materiálu. S tímto by bylo důležité operovat před aplikací na zemědělskou půdu nebo k různým rostlinám. Před takovou aplikací by bylo vhodné analyzovat, zdali půda, na kterou chceme takový vermikompost aplikovat, není nebo je (a případně jak intenzivně) zasolená, abychom naopak nezpůsobili větší škody. Pokud by byl vermikompost příliš zasolený, mohl by na rostliny působit fyto toxicky.

6.5. Objemová hmotnost

V našem případě se objemová hmotnost ve většině variant teoreticky snižovala. Nicméně při stanovování metodiky nebylo uvažováno, že po jednotlivých odběrech budou ve vermikompostovaných materiálech zůstat prohlubně. Vzhledem k tomu, že materiály úmyslně nebyly v průběhu experimentu promíchávány, tyto prohlubně zde zůstaly. Výpočet tedy nereflektuje skutečné hodnoty a předpokládáme, že došlo ke zvyšování objemové hmotnosti ve všech variantách se žížalím substrátem i bez něj. Pro budoucí experimenty by bylo vhodné metodiku upravit tak, aby bylo možné objemovou hmotnost stanovovat bez větších nesrovnalostí. Předpokládáme, že po vzoru různých studií (Jain et al. 2018; Mohee & Mudhoo 2005) se objemová hmotnost v průběhu času zvyšovala. Změny objemové hmotnosti rovněž souvisí s velikostí částic ve vermikompostu. Se zvyšující se velikostí částic klesá objemová hmotnost v důsledku zvyšování poréznosti materiálu (Seyed et al. 2017). Nejvyšší objemová hmotnost byla v našem případě ve variantách obsahujících 100 % kal a kal + salát. Tuto skutečnost můžeme přisoudit faktu, že přidáním proložek do zbylých variant došlo k významnému zvýšení poréznosti materiálu. Stejně jako například přidáním pilin v případě Jain et al. (2018).

6.6. Celkové obsahy prvků

Celkové obsahy i přístupné obsahy prvků byly analyzovány v sušině vzorků, aby byla zajištěna homogenita materiálu.

Celkové obsahy K se oproti původním hodnotám u vermikompostů zvýšily stejně jako v případě Sharma & Garg (2019), což můžeme přisuzovat snížení hmotnosti a organické hmoty. Stejných výsledků bylo dosaženo i v případě Hanč & Chladimová (2014), u nichž došlo ke zvýšení na více než dvojnásobek původních hodnot. V obou zmíněných studiích došlo rovněž k významnému nárůstu celkového obsahu P. V našem případě došlo naopak ke snížení obsahu na 80 % původní hodnoty v případě varianty kal + proložky (VK) a na 92 % u kontrolní varianty. Vyšší obsahy celkových prvků u finálních vermikompostů ve srovnání s kontrolami byly dále zjištěny u Al a Ca. V obou případech se však jednalo o jednotky procent. V případě Hanč & Chladimová (2014) byl, stejně jako v našem případě, zaznamenán pokles Mg v některých variantách.

Na základě výsledných hodnot rizikových prvků můžeme prohlásit, že v některých případech by nebylo možné hotový vermikompost aplikovat na zemědělskou půdu z důvodu překročení stanových limitů pro rizikové prvky. Konkrétně se jedná o varianty kal 100 % a kal + salát, ve kterých byly zjištěny nadlimitní hodnoty Cu, Ni a Zn. Nadlimitní hodnoty zinku mohou souviset s nadměrným používáním tohoto prvku v komerční rybí stravě. Zinek se následně hromadí v akvakulturním kalu. Zvýšené obsahy Zn byly zjištěny i v případě Kouba et al. (2018). Nárůst řady rizikových prvků v průběhu vermikompostování potvrdili i Rorat et al. (2016). Naopak varianty obsahující nasávanou kartonáž měly hodnoty všech stanovovaných rizikových prvků podlimitní. Pokud bychom tedy zvažovali použití vermikompostu na zemědělskou půdu pouze na základě splnění těchto limitů, mohli bychom hotový vermikompost aplikovat.

6.7. Přístupné obsahy prvků

Biologická dostupnost prvků je velmi důležitá pro správné fungování biochemických reakcí v rostlinných organismech, proto jsme se těmto obsahům věnovali. Přístupný obsah K stanovený výluhem v CAT byl prokazatelně významně vyšší u variant obsahujících žížaly oproti kontrolám bez žížal. Nejvyšší rozdíl byl v případě samotného kalu, kdy ve vermikompostech představoval přístupný K hodnoty o 139 % vyšší než u kontroly. Stejného výsledku bylo dosaženo i v případě Garg et al. (2012). Na rozdíl od jejich výsledků jsme v rámci našeho experimentu zaznamenali, že hodnoty fosforu byly ve vermikompostech vyšší pouze v případě variant s proložkami, což je rozdíl oproti celkovým obsahům tohoto prvku, kdy byly ve variantách s proložkami zaznamenány nejmenší hodnoty.

Co se týče rozdílu mezi hodnotami naměřenými na začátku a na konci experimentu, nejvyšší nárůst o 122 % vůči vstupním hodnotám přístupného obsahu P ve vermikompostu byl prokázán v případě varianty kal + salát + proložky. Naopak k poklesu

o 20 % došlo v případě směsi kal + proložky. S výjimkou 100 % kalu byly rozdíly v obsahu přístupného Mg mezi kontrolami a vermikomposty marginální. U zmíněného samotného kalu byla hodnota Mg u VK o 15 % vyšší ve srovnání s kontrolou.

Stejně jako v případě celkových obsahů rizikových prvků byly zjištěny zvýšené hodnoty u některých variant. Za zmínku stojí například přístupný obsah Zn a Cu v kontrolní variantě kal + salát, která dosahovala významného zvýšení v porovnání se vstupními hodnotami (+205 %, respektive + 38 %) i s finálním vermikompostem (+173 %, respektive + 231 %). Zvýšené obsahy rizikových prvků zjistili i Rorat et al. (2016) nebo Kouba et al. (2018). Nárůst obsahu Cu v některých vermikompostovaných odpadech zaznamenali i Garg et al. (2012).

6.8. Celkové obsahy C a N

Nejvyšší poměry C:N byly dle předpokladu zjištěny u variant obsahujících nasávanou kartonáž, která obsahuje jen velmi malé množství dusíku. Naopak nízké poměry u samotného kalu jsou dány vysokým obsahem dusíku a nízkým obsahem uhlíku, což je v případě kalů běžné.

Celkové obsahy C a N měly být původně zjišťovány u všech odběrů, jako v případě celkových a přípustných obsahů dalších prvků. Z důvodu nedostatku technických plynů, konkrétně nákladného helia, byly hodnoty C, N a jejich poměry stanoveny pouze v případě vstupních surovin a zakládkových směsí. Nicméně vzorky z ostatních odběrů jsou připraveny a naváženy pro měření. Tudíž by bylo vhodné, aby v měření bylo pokračováno ve chvíli, kdy budou technologické plyny opět dostupné.

Již z úvodního odběru je však patrné, že varianty bez proložek nejsou vhodné k vermikompostování, jelikož jsou jejich vstupní poměry C:N velmi nízké a vzhledem k tomu, že se poměr v průběhu vermikompostování snižuje, jak potvrzují například Garg et al. (2012) a Hanč & Chladimová (2014), nesplnily by výsledné vermikomposty stanovené limity ČSN 46 5736. Samotný akvakulturní kal, který byl použit pro tento experiment, stejně jako salát, nejsou samostatně vhodné pro vermikompostování. Aby bylo možné vermikompostovat, je důležité vyvážit vysoký obsah dusíku surovinami bohatými na uhlík. Nevhodnost samotného akvakulturního kalu k vermikompostování potvrzuje nízký vstupní poměr C:N (11:1) i v případě studie Marsh et al. (2005), kde pro optimalizaci využili do zakládkové směsi skartovaný karton, nebo ve studii Kouba et al. (2018), kde byl vstupní poměr kalu C:N 13,7–16,9. Naopak optimálních hodnot vstupního poměru C:N bylo dosaženo ve studii Yilmaz et al. (2020), kde byl vstupní poměr C:N 30:1 (výsledný poměr C:N 14–20:1).

6.9. Počet a biomasa žížal

Nízký počet žížal zjištěný po měsíčním odběru může být dán skutečností, že lze jen obtížně určit dobu, kdy jsou žížaly přítomny ve zpracovávaném materiálu a kdy jsou naopak v tzv.

domovském substrátu. Optimální dobu odběru tak nelze odhadnout. Nejvyšší nárůst počtu žížal jsme zaznamenali ve většině variant během třetího měsíce (12 týdnů od založení experimentu). Garg et al. (2012), kteří se věnovali vermikompostování kalů z potravinářského průmyslu a dalších organických odpadů, pozorovali nejvyšší nárůst v počtu a biomase žížal mezi 8. a 10. týdnem.

Vysoké směrodatné odchylky viz. tabulka č. 19 jsou dány značnou heterogenitou materiálu. Ačkoliv odběry probíhaly vždy z pěti různých míst ve vermikompostovací misce, nedocházelo k promíchávání, tudíž nemohla být zajištěna dostatečná homogenita materiálu.

Mortalita žížal byla na konci experimentu v našem případě téměř zanedbatelná. Pouze ve variantě kal + salát byla zjištěna úmrtnost 7,7 %. V ostatních variantách byla mortalita nulová, což je pozitivní zjištění, protože v případě Marsh et al. (2005) při 20 % obsahu akvakulturního kalu ve směsi byla v prvním experimentu mortalita 18,3 %. Nízkou mortalitu můžeme přisoudit skutečnosti, že žížaly nebyly vystavovány přílišným stresovým podmínkám. Toho jsme zřejmě docílili tím, že do vermikompostovacích nádob byla umístěna jak směs určená k vermikompostování, tak i velké množství substrátu se žížalami. Žížaly tak v případě nepříznivých podmínek ve směsi mohly využít optimálnější podmínky v domácím substrátu. V případě akvakulturního kalu je navíc výhodou, že se kal před samotným vermikompostováním nemusel upravovat, jako je tomu například u kalu z čistíren odpadních vod.

Nepodařilo se statisticky prokázat, že by přidání nasávané kartonáže do vermikompostované směsi mělo za následek zvýšení počtu a biomasy žížal. Vzhledem k velmi nízkému počtu jedinců ve variantě kal + salát rovněž můžeme předpokládat, že žížaly neměly příliš velký vliv na degradaci materiálu. Zároveň se domníváme, že nízký počet souvisel se špatnými podmínkami pro rozmnožování.

7. Závěr

Cílem diplomové práce bylo identifikovat faktory ovlivňující aktivitu žížal, zjistit míru účinnosti rozkladu akvakulturního kalu prostřednictvím vermikompostování a ověřit, zdali je tento způsob zpracování odpadu vhodným řešením pro zpracování odpadu z akvakultury. V rámci jednotlivých měření v průběhu šesti měsíců byly zaznamenány různé výkyvy a trendy v měřených parametrech.

Statistické šetření první hypotézy ve většině případů neprokázalo významné rozdíly mezi variantami s žížalím substrátem a bez něj. Na základě naměřených hodnot nutrientů, barvy a struktury v případě vermikompostů s proložkami se však výsledný produkt se žížalami jevil jako kvalitní.

Druhou hypotézu nebylo možné přijmout ani zamítnout, jelikož se nepodařilo prokázat, že by přídavek nasávané kartonáže měl vliv na počet a biomasu žížal.

V souvislosti se statistickým šetřením třetí stanovené hypotézy se podařilo prokázat, že přítomnost žížal má statisticky významný vliv na hodnotu pH a přístupný obsah Cd na hladině významnosti $\alpha < 0,05$. Vliv přítomnosti žížal na další agrochemické vlastnosti se prokázat nepodařilo.

Aby bylo možné stanovené hypotézy přijmout nebo zamítnout s vysokou přesností, bylo by nutné zajistit více opakování u jednotlivých variant, optimálně minimálně 10. Zajímavým navazujícím experimentem by mohla být analýza vermiakumulace rizikových prvků, protože akumulace rizikových prvků uvnitř žížalích těl je potenciálním problémem při jejich rozkladu a opětovném uvolnění do prostředí. Závěrem bych doporučila zvýšit počet opakování pro příští analýzy k dosažení průkaznějších a silnějších výsledků.

8. Literatura

Abbasi SA, Hussain N, Tauseef SM, Abbasi T. 2018. A novel FLippable Units Vermireactor Train System – FLUVTS – for rapidly vermicomposting paper waste to an organic fertilizer. *Journal of Cleaner Production* 198:917-930. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2018.07.040

Adhikary S. 2012. Vermicompost, the story of organic gold: A review. *Agricultural Sciences* 03:905-917. Dostupné z: doi:10.4236/as.2012.37110

Agriculture and Environment: Vermicompost Technology: Impact on the Environment and Food Security. 87-93in. Dostupné z: <https://agrinenv.com/wp-content/uploads/2020/10/complete-issue-1-vol1-87-93.pdf>.

Aksakal EL, Sari S, Angin I. 2016. Effects of Vermicompost Application on Soil Aggregation and Certain Physical Properties. *Land Degradation & Development* 27:983-995. Dostupné z: doi:10.1002/ldr.2350

Alloway BJ, Jackson AP. 1991. The behaviour of heavy metals in sewage sludge-amended soils. *Science of The Total Environment* 100:151-176. Dostupné z: doi:10.1016/0048-9697(91)90377-Q

Alshehrei F, Ameen F. 2021. Vermicomposting: A management tool to mitigate solid waste. *Saudi Journal of Biological Sciences* 28:3284-3293. Dostupné z: doi:10.1016/j.sjbs.2021.02.072

Álvarez-Casas M, García-Jares C, Llompart M, Lores M. 2014. Effect of experimental parameters in the pressurized solvent extraction of polyphenolic compounds from white grape marc. *Food Chemistry* 157:524-532. Dostupné z: doi:10.1016/j.foodchem.2014.02.078

Arancon NQ, Pant A, Radovich T, Hue NV, Potter JK, Converse CE. 2012. Seed Germination and Seedling Growth of Tomato and Lettuce as Affected by Vermicompost Water Extracts (Teas). *HortScience* 47:1722-1728. Dostupné z: doi:10.21273/HORTSCI.47.12.1722

Arumugam K, Ahmad MF, Yaacob NS, Ikram WM, Maniyam MN, Abdullah H, Katayama T, Komatsu K, Kuwahara VS. 2020. Enhancement of targeted microalgae species growth using aquaculture sludge extracts. *Heliyon* 6. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04556

Atiyeh RM, Edwards CA, Subler S, Metzger JD. 2001. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Bioresource Technology* 78:11-20. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(00)00172-3

Attramadal KJK, Salvesen I, Xue R, Øie G, Størseth TR, Vadstein O, Olsen Y. 2012. Recirculation as a possible microbial control strategy in the production of marine larvae. *Aquacultural Engineering* 46:27-39. Dostupné z: doi:10.1016/j.aquaeng.2011.10.003

Belmeskine H, Ouameur WA, Dilmi N, Aouabed A. 2020. The vermicomposting for agricultural valorization of sludge from Algerian wastewater treatment plant: impact on growth of snap bean *Phaseolus vulgaris* L. *Heliyon* 6. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2020.e04679

Bernstad Saraiva Schott A, Wenzel H, la Cour Jansen J. 2016. Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management – an analytical review. *Journal of Cleaner Production* 119:13-24. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2016.01.079

Bharagava RN. 2020. *Emerging Eco-friendly Green Technologies for Wastewater Treatment*. 2019 edition. Springer Singapore, Singapore. Dostupné z: doi:10.1007/978-981-15-1390-9

Brust GE. 2019. Management Strategies for Organic Vegetable Fertility. 193-212 in *Safety and Practice for Organic Food*. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-812060-6.00009-X

Campbell NA, Reece JB. c2006. *Biologie*. Computer Press, Brno. ISBN: ISBN: 80-251-1178-4

Cerda A, Artola A, Font X, Barrena R, Gea T, Sánchez A. 2018. Composting of food wastes: Status and challenges. *Bioresource Technology* 248:57-67. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2017.06.133

Černý J, Balík J, Sedlář O, Kulháněk M. 2019. *Využití čistírenských kalů jako zdroje organických látek: Racionální použití hnojiv*. Česká zemědělská univerzita, Praha. Česká zemědělská univerzita. ISBN 978-80-213-2511-1

ČSN 46 5736. *Vermikomposty*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018, 10 s. Třídící znak 50 6021.

Davidson SK, Stahl DA. 2006. Transmission of Nephridial Bacteria of the Earthworm *Eisenia fetida*. *Applied and Environmental Microbiology* 72:769-775. Dostupné z: doi:10.1128/AEM.72.1.769-775.2006

Degli-Innocenti F. 2021. Is composting of packaging real recycling?. *Waste Management* 130:61-64. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2021.05.017

Dohaish EJAB. 2020. Vermicomposting of Organic Waste with *Eisenia fetida* Increases the Content of Exchangeable Nutrients in Soil. *Pakistan Journal of Biological Sciences* 23:501-509. Dostupné z: doi:10.3923/pjbs.2020.501.509

Domínguez J, Aira M, Kolbe AR, Gómez-Brandón M, Pérez-Losada M. 2019. Changes in the composition and function of bacterial communities during vermicomposting may explain beneficial properties of vermicompost. *Scientific Reports* 9. Dostupné z: doi:10.1038/s41598-019-46018-w

Dominguez J, Edwards C. 2004. Vermicomposting organic wastes: A review. 369–395 in *Soil Zoology for sustainable Development in the 21st century*. S. H. Shakir Hanna, Egypt.

- Dominguez J, Edwards C. 2010. Relationships between Composting and Vermicomposting. 11-25in *Vermiculture Technology*. CRC Press. Dostupné z: doi:10.1201/b10453-3
- Domínguez J, Martínez-Cordeiro H, Álvarez-Casas M, Lores M. 2014. Vermicomposting grape marc yields high quality organic biofertiliser and bioactive polyphenols. *Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy* 32:1235-1240. Dostupné z: doi:10.1177/0734242X14555805
- Domínguez J, Martínez-Cordeiro H, Lores M. 2016. Earthworms and Grape Marc: Simultaneous Production of a High-Quality Biofertilizer and Bioactive-Rich Seeds. in *Grape and Wine Biotechnology*. InTech. Dostupné z: doi:10.5772/64751
- Domínguez J, Sanchez-Hernandez JC, Lores M. 2017. Vermicomposting of Winemaking By-Products. 55-78in *Handbook of Grape Processing By-Products*. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-809870-7.00003-X
- Edwards CA, Arancon NQ, Sherman RL. 2010. *Vermiculture Technology*. CRC Press. ISBN 9781439809884. Dostupné z: doi:10.1201/b10453
- Erhart E, Hartl W. 2008. Využití kompostu v ekologickém zemědělství. ZERA, Náměšť nad Oslavou. ISBN 80-903548-8-2.
- Fernández-Gómez MJ, Díaz-Raviña M, Romero E, Nogales R. 2013. Recycling of environmentally problematic plant wastes generated from greenhouse tomato crops through vermicomposting. *International Journal of Environmental Science and Technology* 10:697-708. Dostupné z: doi:10.1007/s13762-013-0239-7
- Fernández-Gómez MJ, Nogales R, Insam H, Romero E, Goberna M. 2011. Role of vermicompost chemical composition, microbial functional diversity, and fungal community structure in their microbial respiratory response to three pesticides. *Bioresource Technology* 102:9638-9645. Dostupné z: 10.1016/j.biortech.2011.07.113
- Fischer D, Glaser B. 2012. Synergisms between Compost and Biochar for Sustainable Soil Amelioration. in *Management of Organic Waste*. InTech. Dostupné z: doi:10.5772/31200
- Fracchia L, Dohrmann AB, Martinotti MG, Tebbe CC. 2006. Bacterial diversity in a finished compost and vermicompost: differences revealed by cultivation-independent analyses of PCR-amplified 16S rRNA genes. *Applied Microbiology and Biotechnology* 71:942-952. Dostupné z: doi:10.1007/s00253-005-0228-y
- Fudzagbo J, Iderawumi AM. 2020. *Agriculture and Environment: Vermicompost Technology: Impact on the Environment and Food Security*. Dostupné z: <https://agrinenvironment.com/wp-content/uploads/2020/10/complete-issue-1-vol1-87-93.pdf>.
- Ganguly RK, Chakraborty SK. 2021. Valorisation of toxic paper mill waste through vermicomposting: An insight towards cleaner engineering through alleviation of wastes. *Cleaner Engineering and Technology* 2. Dostupné z: doi:10.1016/j.clet.2021.100070
- García-Sánchez M, Taušnerová H, Hanč A, Tlustoš P. 2017. Stabilization of different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in

chemical and biological parameters. *Waste Management* 62:33-42. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2017.02.008

Garg P, Gupta A, Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology* 97:391-395. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2005.03.009

Garg VK, Suthar S, Yadav A. 2012. Management of food industry waste employing vermicomposting technology. *Bioresource Technology* 126:437-443. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2011.11.116

Gómez-Brandón M, Aira M, Lores M, Domínguez J. 2011. Changes in microbial community structure and function during vermicomposting of pig slurry. *Bioresource Technology* 102:4171-4178. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2010.12.057

Gómez-Brandón M, Domínguez J. 2014. Recycling of Solid Organic Wastes Through Vermicomposting: Microbial Community Changes Throughout the Process and Use of Vermicompost as a Soil Amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 44:1289-1312. Dostupné z: doi:10.1080/10643389.2013.763588

Gómez-Brandón M, Lores M, Martínez-Cordeiro H, Domínguez J. 2020. Effectiveness of vermicomposting for bioconversion of grape marc derived from red winemaking into a value-added product. *Environmental Science and Pollution Research* 27:33438-33445. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-04820-z

Gong X, Wei L, Yu X, Li S, Sun X, Wang X, Cullen D. 2017. Effects of Rhamnolipid and Microbial Inoculants on the Vermicomposting of Green Waste with *Eisenia fetida*. *PLOS ONE* 12. Dostupné z: doi:10.1371/journal.pone.0170820

Goswami L, Nath A, Sutradhar S, Bhattacharya SS, Kalamdhad A, Vellingiri K, Kim K-H. 2017. Application of drum compost and vermicompost to improve soil health, growth, and yield parameters for tomato and cabbage plants. *Journal of Environmental Management* 200:243-252. Dostupné z: doi:10.1016/j.jenvman.2017.05.073

Grasserová A, Hanč A, Innemanová P, Cajthaml T. 2020. Composting and vermicomposting used to break down and remove pollutants from organic waste: a mini review. *EUROPEAN JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES* 10:9-14. Dostupné z: doi:10.14712/23361964.2020.2

Greenhouse gas emission by IPCC source sector, EU, 2019. 2021. European Environment Agency, Copenhagen. Dostupné z: https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Greenhouse_gas_emissions_by_IPCC_source_sector,_EU-27,_2019.png.

Guo Z, Liu Y, Guo H, Yan S, Mu J. 2013. Microalgae cultivation using an aquaculture wastewater as growth medium for biomass and biofuel production. *Journal of Environmental Sciences* 25:S85-S88. Dostupné z: doi:10.1016/S1001-0742(14)60632-X

Gupta R, Garg VK. 2009. Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Materials* 162:430-439. Dostupné z: doi:10.1016/j.jhazmat.2008.05.055

Hanč A, Bazalová M, Částková T. 2018. Změny enzymatické aktivity a metody jejího stanovení během procesu vermikompostování v systému průběžného krmení. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN 978-80-213-2865-5.

Hanč A, Dreslová M. 2016. Effect of composting and vermicomposting on properties of particle size fractions. *Bioresource Technology* 217:186-189. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2016.02.058

Hanč A, Hřebečková T. 2023. Compostability and vermicompostability of greaseproof wrapping paper. *Sustainable Chemistry and Pharmacy* 32. Dostupné z: doi:10.1016/j.scp.2023.101014

Hanč A, Chadimová Z. 2014. Nutrient recovery from apple pomace waste by vermicomposting technology. *Bioresource Technology* 168:240-244. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2014.02.031

Hanč A, Petr P. 2012. Waste Forum – Vermicomposting of Garden Biowaste and Sewadge Sludge. Dostupné z: http://www.wasteforum.cz/cisla/WF_3_2012.pdf#page=4.

Hanč A, Plíva P. 2013. Vermicomposting technology as a tool for nutrient recovery from kitchen bio-waste. *Journal of Material Cycles and Waste Management* 15:431-439. Dostupné z: doi:10.1007/s10163-013-0127-8

Hanč A, Plíva P. 2013. Vermikompostování bioodpadů: (certifikovaná metodika). Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha. ISBN 978-80-213-2422-0.

Hanč A. 2018. Změny enzymatické aktivity a metody jejího stanovení během procesu vermikompostování v systému průběžného krmení: certifikovaná metodika. Česká zemědělská univerzita, v Praze. ISBN 978-80-213-2865-5

Hejátková K. 2007. Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka. ZERA Zemědělská a ekologická regionální agentura, Náměšť nad Oslavou. ISBN 978-80-903548-6-9.

Hernández A, Castillo H, Ojeda D, Arras A, López J, Sánchez E. 2010. CHILEAN JOURNAL OF AGRICULTURAL RESEARCH: Effect of vermicompost and compost on lettuce production.

Hogg D, Barth J, Favoino E, Centemero M, Caimi V, Amlinger F, Devliegher W, Brinton W, Antler S. 2002. Comparison of compost standards within the EU, North America and Australasia. The Waste and Resources Action Programme, Banbury. Dostupné z: https://static1.squarespace.com/static/5d333ff40424070001b85a08/t/5d41c996c557b50001ce0ab6/1564592545133/WRAP_Comparison_of_Compost_Standards_2002.pdf.

Holan AB, Good C, Powell MD. 2020. Health management in recirculating aquaculture systems (RAS). 281-318in *Aquaculture Health Management*. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-12-813359-0.00009-9

Hossain K, Ismail N. 2015. Bioremediation and Detoxification of Pulp and Paper Mill Effluent: A Review. *Research Journal of Environmental Toxicology* 9:113-134. Dostupné z: doi:10.3923/rjet.2015.113.134

- Hu X, Zhang T, Tian G, Zhang L, Bian B. 2021. Performance and mechanism of high-speed vermicomposting of dewatered sludge using a new type of laboratory earthworm reactor. *Environmental Science and Pollution Research* 28:26132-26144. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-12438-3
- Huang K, Xia H, Cui G, Li F. 2017. Effects of earthworms on nitrification and ammonia oxidizers in vermicomposting systems for recycling of fruit and vegetable wastes. *Science of The Total Environment* 578:337-345. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2016.10.172
- Hussain N, Abbasi S. 2018. Efficacy of the Vermicomposts of Different Organic Wastes as “Clean” Fertilizers: State-of-the-Art. *Sustainability* 10. Dostupné z: doi:10.3390/su10041205
- Jain MS, Daga M, Kalamdhad AS. 2018. Composting physics: A science behind biodegradation of lignocellulose aquatic waste amended with inoculum and bulking agent. *Process Safety and Environmental Protection* 116:424-432. Dostupné z: doi:10.1016/j.psep.2018.03.017
- Javed F, Hashmi I. 2021. Vermiremediation – Remediation of Soil Contaminated with Oil Using Earthworm (*Eisenia fetida*). *Soil and Sediment Contamination: An International Journal* 30:639-662. Dostupné z: doi:10.1080/15320383.2021.1885343
- Kalina M. 2004. *Kompostování a péče o půdu*. 2. upr. vyd. Grada, Praha. Česká zahrada. ISBN 80-247-0907-4.
- Karimi H, Mokhtari M, Salehi F, Sojoudi S, Ebrahimi A. 2017. Changes in microbial pathogen dynamics during vermicomposting mixture of cow manure–organic solid waste and cow manure–sewage sludge. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 6:57-61. Dostupné z: doi:10.1007/s40093-016-0152-4
- Karthäuser J, Biziks V, Mai C, Miltz H. 2021. Lignin and Lignin-Derived Compounds for Wood Applications—A Review. *Molecules* 26. Dostupné z: doi:10.3390/molecules26092533
- Kaur R, Tyagi RD, Zhang X. 2020. Review on pulp and paper activated sludge pretreatment, inhibitory effects and detoxification strategies for biovalorization. *Environmental Research* 182. Dostupné z: doi:10.1016/j.envres.2019.109094
- Kaur T. 2020. Vermicomposting: An Effective Option for Recycling Organic Wastes. in *Organic Agriculture*. IntechOpen. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.91892
- Kögel-Knabner I, Amelung W. 2014. Dynamics, Chemistry, and Preservation of Organic Matter in Soils. 157-215 in *Treatise on Geochemistry*. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-095975-7.01012-3
- Korhonen J, Honkasalo A, Seppälä J. 2018. Circular Economy: The Concept and its Limitations. *Ecological Economics* 143:37-46. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecolecon.2017.06.041

- Kosseva MR. 2011. Management and Processing of Food Wastes. 557-593 in Comprehensive Biotechnology. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-08-088504-9.00393-7
- Kouba A, Lunda R, Hlaváč D, Kuklina I, Hamáčková J, Randák T, Kozák P, Koubová A, Buřič M. 2018. Vermicomposting of sludge from recirculating aquaculture system using *Eisenia andrei*: Technological feasibility and quality assessment of end-products. *Journal of Cleaner Production* 177:665-673. Dostupné z: doi:10.1016/j.jclepro.2017.12.216
- Kouřil J, Hamáčková J, Stejskal V. 2013. Recirkulační akvakulturní systémy pro chov ryb. 2. vyd. Jihočeská univerzita, Fakulta rybářství a ochrany vod, V Českých Budějovicích. ISBN 978-80-87437-59-9.
- Kováčik P, Šalamun P, Smoleň S, Renčo M. 2018. Impact of Vermicompost as Component of Growing Medium on Phytomass Formation of Radish (*Raphanus Sativus* L.). *Agriculture (Pol'nohospodárstvo)* 64:106-115. Dostupné z: doi:10.2478/agri-2018-0011
- Kováčik P, Šimanský V, Smoleň S, Neupauer J, Olšovská K. 2022. The Effect of Vermicompost and Earthworms (*Eisenia fetida*) Application on Phytomass and Macroelement Concentration and Tetanic Ratio in Carrot. *Agronomy* 12. Dostupné z: doi:10.3390/agronomy12112770
- Kumar R, Shweta. 2011. Enhancement of wood waste decomposition by microbial inoculation prior to vermicomposting. *Bioresource Technology* 102:1475-1480. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2010.09.090
- Kumar S, Tripathi G, V. Mishra G. 2021. A Comparative Study on Earthworm Biodiversity & Species Habitat-Relationship of Hilly and Plain Areas of Sirohi District of Rajasthan, India. *Applied Ecology and Environmental Sciences* 9:419-439. Dostupné z: doi:10.12691/aees-9-4-2
- Lazcano C, Gómez-Brandón M, Domínguez J. 2008. Comparison of the effectiveness of composting and vermicomposting for the biological stabilization of cattle manure. *Chemosphere* 72:1013-1019. Dostupné z: doi:10.1016/j.chemosphere.2008.04.016
- Li W, Bhat SA, Li J, Cui G, Wei Y, Yamada T, Li F. 2020. Effect of excess activated sludge on vermicomposting of fruit and vegetable waste by using novel vermireactor. *Bioresource Technology* 302. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2020.122816
- Lores M, Gomez-Brandon M, Perezdiaz D, Dominguez J. 2006. Using FAME profiles for the characterization of animal wastes and vermicomposts. *Soil Biology and Biochemistry* 38:2993-2996. Dostupné z: doi:10.1016/j.soilbio.2006.05.001
- Lv B, Xing M, Yang J. 2016. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresource Technology* 209:397-401. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2016.03.015
- Maji D, Singh M, Wasnik K, Chanotiya CS, Kalra A. 2015. The role of a novel fungal strain *Trichoderma atroviride* RVF3 in improving humic acid content in mature compost and vermicompost via ligninolytic and celluloxylanolytic activities. *Journal of Applied Microbiology* 119:1584-1596. Dostupné z: doi:10.1111/jam.12954

Makova J, Kováčik P, Elbl J, Makova J, Javoreková S, Medo J, Hricáková N. 2019(1970). Impact of vermicompost on biological indicators of the quality of soil under maize in a greenhouse experiment. *Journal of Elementology*. Dostupné z: doi:10.5601/jelem.2017.22.4.1548

Malińska K, Zabochnicka-Świątek M, Cáceres R, Marfà O. 2016. The effect of precomposted sewage sludge mixture amended with biochar on the growth and reproduction of *Eisenia fetida* during laboratory vermicomposting. *Ecological Engineering* 90:35-41. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2016.01.042

Marsh L, Subler S, Mishra S, Marini M. 2005. Suitability of aquaculture effluent solids mixed with cardboard as a feedstock for vermicomposting. *Bioresource Technology* 96:413-418. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2004.06.002

Methods of Compost Making. 2011. 69-90in *Organic Farming*. Foundation Books. Dostupné z: https://www.cambridge.org/core/product/identifier/CBO9788175968813A013/type/book_part.

Michels MHA, Vaskoska M, Vermuë MH, Wijffels RH. 2014. Growth of *Tetraselmis suecica* in a tubular photobioreactor on wastewater from a fish farm. *Water Research* 65:290-296. Dostupné z: doi:10.1016/j.watres.2014.07.017

Mohee R, Mudhoo A. 2005. Analysis of the physical properties of an in-vessel composting matrix. *Powder Technology* 155:92-99. Dostupné z: doi:10.1016/j.powtec.2005.05.051

Monroy F, Aira M, Domínguez J. 2009. Reduction of total coliform numbers during vermicomposting is caused by short-term direct effects of earthworms on microorganisms and depends on the dose of application of pig slurry. *Science of The Total Environment* 407:5411-5416. Dostupné z: doi:10.1016/j.scitotenv.2009.06.048

Mota VC, Striberny A, Verstege GC, Difford GF, Lazado CC. 2022. Evaluation of a Recirculating Aquaculture System Research Facility Designed to Address Current Knowledge Needs in Atlantic Salmon Production. *Frontiers in Animal Science* 3. Dostupné z: doi:10.3389/fanim.2022.876504

Mupambwa HA, Mnkeni PNS. 2018. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science and Pollution Research* 25:10577-10595. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-018-1328-4

Mupambwa HA. 2017. Potential of Chicken Manure Vermicompost as a Substitute for Pine Bark Based Growing Media for Vegetables. *International Journal of Agriculture and Biology* 19:1007-1011. Dostupné z: doi:10.17957/IJAB/15.0375

Mupondi LT, Mnkeni PNS, Muchaonyerwa P, Mupambwa HA. 2018. Vermicomposting manure-paper mixture with igneous rock phosphate enhances biodegradation, phosphorus bioavailability and reduces heavy metal concentrations. *Heliyon* 4. Dostupné z: doi:10.1016/j.heliyon.2018.e00749

Ndegwa PM, Thoampson SA. 2001. Integrating composting and vermicomposting in the treatment and bioconversion of biosolids. *Bioresource Technology* 76:107-112. Dostupné z: doi:10.1016/S0960-8524(00)00104-8

Nogales R, Elvira C, Benitez E, Thompson R, Gomez M. 1999. Feasibility of vermicomposting dairy biosolids using a modified system to avoid earthworm mortality. *Journal of Environmental Science and Health, Part B* 34:151-169. Dostupné z: doi:10.1080/03601239909373189

Oshins C, Michel F, Louis P, Richard TL, Rynk R. 2022. The composting process. 51-101 in *The Composting Handbook*. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-85602-7.00008-X

Pan I, Dam B, Sen SK. 2012. Composting of common organic wastes using microbial inoculants. *3 Biotech* 2:127-134. Dostupné z: doi:10.1007/s13205-011-0033-5

Paradelo R, Vecino X, Moldes AB, Barral MT. 2019. Potential use of composts and vermicomposts as low-cost adsorbents for dye removal: an overlooked application. *Environmental Science and Pollution Research* 26:21085-21097. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-05462-x

Pathma J, Sakthivel N. 2012. Microbial diversity of vermicompost bacteria that exhibit useful agricultural traits and waste management potential. *SpringerPlus* 1. Dostupné z: doi:10.1186/2193-1801-1-26

Pereira M de G et al. 2014. An Overview of the Environmental Applicability of Vermicompost: From Wastewater Treatment to the Development of Sensitive Analytical Methods. *The Scientific World Journal* 2014:1-14. Dostupné z: doi:10.1155/2014/917348

Plíva P. 2010. *Kompostování v pásových hromadách*. Profí Press, ČTK. Dostupné z: <https://zemedelec.cz/kompostovani-v-pasovych-hromadach/>.

Qin J, Fu X, Chen X, Cui G. 2021. Changes in physicochemical properties and microfauna community during vermicomposting of municipal sludge under different moisture conditions. *Environmental Science and Pollution Research* 28:31539-31548. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-021-12846-5

Ramnarain YI, Ansari AA, Ori L. 2019. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* 8:23-36. Dostupné z: doi:10.1007/s40093-018-0225-7

Reid GK, Liutkus M, Robinson SMC, Chopin TR, Blair T, Lander T, Mullen J, Page F, Moccia RD. 2009. A review of the biophysical properties of salmonid faeces: implications for aquaculture waste dispersal models and integrated multi-trophic aquaculture. *Aquaculture Research* 40:257-273. Dostupné z: doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02065.x

Rietz DN, Haynes RJ. 2003. Effects of irrigation-induced salinity and sodicity on soil microbial activity. *Soil Biology and Biochemistry* 35:845-854. Dostupné z: doi:10.1016/S0038-0717(03)00125-1

Robertson CE. 2003. McCance and Widdowson's The Composition of Foods - Sixth Summary Edition. Nutrition Bulletin 28:81-83. Dostupné z: doi:10.1046/j.1467-3010.2003.00292.x

Rorat A, Suleiman H, Grobelak A, Grosser A, Kacprzak M, Płytycz B, Vandembulcke F. 2016. Interactions between sewage sludge-amended soil and earthworms—comparison between *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* composting species. Environmental Science and Pollution Research 23:3026-3035. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-015-5635-8

Roubalová R, Procházková P, Hanč A, Dvořák J, Bilej M. 2020. Mutual interactions of *E. andrei* earthworm and pathogens during the process of vermicomposting. Environmental Science and Pollution Research 27:33429-33437. Dostupné z: doi:10.1007/s11356-019-04329-5

Saha P, Barman A, Bera A. 2022. Vermicomposting: A Step towards Sustainability. in Sustainable Crop Production - Recent Advances. IntechOpen. Dostupné z: doi:10.5772/intechopen.102641

Santana NA, Jacques RJS, Antonioli ZI, Martínez-Cordeiro H, Domínguez J. 2020. Changes in the chemical and biological characteristics of grape marc vermicompost during a two-year production period. Applied Soil Ecology 154. Dostupné z: doi:10.1016/j.apsoil.2020.103587

Sedlák E. 2002. Zoologie bezobratlých. 2. přeprac. vyd. Masarykova univerzita, Brno. ISBN: 80-210-2892-0

Seyed Amir Zaki S, Askari Asli-Ardeh E, Hossein Kianmehr M. 2014. Investigating The Physical Properties of Vermicompost Fertilizer. 17-25in World Journal of Environmental Biosciences. 6 edition. World Journal of Environmental Biosciences, University of Tehran, Tehran, Iran. Dostupné z: <https://environmentaljournal.org/storage/models/article/dhmkGVVq89ostKPU6zhenie7XFjyNeKzIUwAUQb53w7XyvEyWsydSpMJ8EA/investigating-the-physical-properties-of-vermicompost-fertilizer.pdf>.

Sharma K, Garg VK. 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). Bioresource Technology 250:708-715. Dostupné z: doi:10.1016/j.biortech.2017.11.101

Sharma K, Garg VK. 2019. Vermicomposting of Waste. 133-164in Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-444-64200-4.00010-4

Sharma K, Garg VK. 2023. Vermicomposting technology for organic waste management. 29-56in Current Developments in Biotechnology and Bioengineering. Elsevier. Dostupné z: doi:10.1016/B978-0-323-91874-9.00009-7

Schlaghamerský J, Pižl V, Tajovský K, Tuf IH, Tůma J, Šimek M. 2020. Živá půda 5.: Půdní makrofauna a megafauna. ŽIVA 2020:302-307. Academia, SSČ AV ČR. Dostupné z: <https://ziva.avcr.cz/files/ziva/pdf/ziva-puda-5-pudni-makrofauna-a-megafauna.pdf>.

Schreier HJ, Mirzoyan N, Saito K. 2010. Microbial diversity of biological filters in recirculating aquaculture systems. *Current Opinion in Biotechnology* 21:318-325. Dostupné z: doi:10.1016/j.copbio.2010.03.011

Sim EYS, Wu TY. 2010. The potential reuse of biodegradable municipal solid wastes (MSW) as feedstocks in vermicomposting. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 90:2153-2162. Dostupné z: doi:10.1002/jsfa.4127

Simsek-Ersahin Y. 2011. The Use of Vermicompost Products to Control Plant Diseases and Pests. 191-213 in *Biology of Earthworms*. Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg. Dostupné z: doi:10.1007/978-3-642-14636-7_12

Sinha RK, Bharambe G, Chaudhari U. 2008. Sewage treatment by vermifiltration with synchronous treatment of sludge by earthworms: a low-cost sustainable technology over conventional systems with potential for decentralization. *The Environmentalist* 28:409-420. Dostupné z: doi:10.1007/s10669-008-9162-8

Solid Waste Management. 2022. © The World Bank Group, Washington, D.C. Dostupné z: <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/brief/solid-waste-management>.

Stevenson FJ. c1994. *Humus chemistry: genesis, composition, reactions*. 2nd Ed. John Wiley, New York. ISBN 978-0-471-59474-1.

Sultana S, Hossain MB, Choudhury TR, Yu J, Rana MS, Noman MA, Hosen MM, Paray BA, Arai T. 2022. Ecological and Human Health Risk Assessment of Heavy Metals in Cultured Shrimp and Aquaculture Sludge. *Toxics* 10. Dostupné z: doi:10.3390/toxics10040175

Sušenky ze zbytků: Biopekárna Zemanka a UGO představují novinku, která využívá suroviny bez plýtvání. 2021. Kofola Československo. Dostupné z: <https://www.spolecenskaodpovednost.cz/susenky-ze-zbytku-biopekarna-zemanka-a-ugo-predstavuji-novinku-ktera-vyuziva-suroviny-bez-plytvani/>.

Tharmaraj K, Ganesh P, Kolanjinathan K, Suresh Kumar R, Anandan A. 2011. Influence of vermicompost and vermiwash on physico chemical properties of rice cultivated soil. Dostupné z: <https://updatepublishing.com/journal/index.php/cb/article/view/1330/1316>.

Tognetti C, Laos F, Mazzarino MJ, Hernández MT. 2005. Composting vs. Vermicomposting: A Comparison of End Product Quality. *Compost Science & Utilization* 13:6-13. Dostupné z: doi:10.1080/1065657X.2005.10702212

Uçaroğlu S, Alkan U. 2015. Composting of wastewater treatment sludge with different bulking agents. *Journal of the Air & Waste Management Association* 66:288-295. Dostupné z: doi:10.1080/10962247.2015.1131205

Vanloon GW, Duffy SJ. 2000. *Environmental Chemistry: A Global Perspective*. Oxford University Press, New York. ISBN 0-19-856440-6.

Villar I, Alves D, Pérez-Díaz D, Mato S. 2016. Changes in microbial dynamics during vermicomposting of fresh and composted sewage sludge. *Waste Management* 48:409-417. Dostupné z: doi:10.1016/j.wasman.2015.10.011

Vyas P, Sharma S, Gupta J. 2022. Vermicomposting with microbial amendment: Implications for bioremediation of industrial and agricultural waste. *BioTechnologia* 103:203-215. Dostupné z: doi:10.5114/bta.2022.116213.

Vyhláška č. 273/2021 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady. 2021. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]

Vyhláška č. 8/2021 Sb., o Katalogu odpadů a posuzování vlastností odpadů (Katalog odpadů). 2021. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]

Waszkielis KM, Wronowski R, Chlebus W, Białoobrzewski I, Dach J, Pilarski K, Janczak D. 2013. The effect of temperature, composition and phase of the composting process on the thermal conductivity of the substrate. *Ecological Engineering* 61:354-357. Dostupné z: doi:10.1016/j.ecoleng.2013.09.024

Wichern J, Wichern F, Joergensen RG. 2006. Impact of salinity on soil microbial communities and the decomposition of maize in acidic soils. *Geoderma* 137:100-108. Dostupné z: doi:10.1016/j.geoderma.2006.08.001

Wirza R, Nazir S. 2021. Urban aquaponics farming and cities-a systematic literature review. *Reviews on Environmental Health* 36:47-61. Dostupné z: doi:10.1515/reveh-2020-0064

Wu Z, Yin B, Song X, Qiu J, Cao L, Zhao Q. 2019. Effects of Salinity on Earthworms and the Product During Vermicomposting of Kitchen Wastes. *International Journal of Environmental Research and Public Health* 16. Dostupné z: doi:10.3390/ijerph16234737

Yilmaz Cincin RG, Agdag ON. 2020. Co-vermicomposting of Wastewater Treatment Plant Sludge and Yard Waste: Investigation of Operation Parameters. *Waste and Biomass Valorization* 11:6211-6222. Dostupné z: doi:10.1007/s12649-019-00900-w

Yu H, Zeng G, Huang H, Xi X, Wang R, Huang D, Huang G, Li J. 2007. Microbial community succession and lignocellulose degradation during agricultural waste composting. *Biodegradation* 18:793-802. Dostupné z: doi:10.1007/s10532-007-9108-8

Zahradnický slovník naučný. 2001. Ústav zemědělských a potravinářských informací, Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací. ISBN 80-85120-62-3.

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, rostlinných biostimulantech a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech) In: *Zákony pro lidi.cz* [online]

Zákon č. 541/2020 Sb., o odpadech. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]

Zhu W, Du W, Shen X, Zhang H, Ding Y. 2017. Comparative adsorption of Pb²⁺ and Cd²⁺ by cow manure and its vermicompost. *Environmental Pollution* 227:89-97. Dostupné z: doi:10.1016/j.envpol.2017.04.048

9. Seznam použitých zkratk a symbolů

BRKO — biologicky rozložitelný komunální odpad

BRO — biologicky rozložitelný odpad

BSK — biologická spotřeba kyslíku

EC — měrná elektrická vodivost

HA — huminové kyseliny

CHSK — chemická spotřeba kyslíku

IHNV — virus infekční hematopoetické nekrózy

ISAV — virus infekční lososové anémie

NL — nerozpuštěné látky

NO — nebezpečný odpad

OO — ostatní odpad

PLFA — fosfolipidová analýza mastných kyselin

RAS — recirkulační akvakulturní systém

RL — rozpuštěné látky

VHSV — virus hemoragické septikémie

VK — vermikompost

10. Samostatné přílohy

Příloha 1 Celkové obsahy sušiny ve všech variantách v průběhu měření (4+1)

Varianta	Datum	Navážka [g]	Hmotnost po lyofilizaci [g]	Obsah sušiny [%]	surovina/směs
1A	24.3.22	150	20,4	13,6	kal
1B	24.3.22	150	20,3	13,5	kal
1C	24.3.22	150	20,6	13,7	kal
2A	24.3.22	150	37,5	25,0	kal + proložky
2B	24.3.22	150	35,8	23,9	kal + proložky
2C	24.3.22	150	34,2	22,8	kal + proložky
3A	24.3.22	150	18,7	12,5	kal + salát
3B	24.3.22	150	19,1	12,7	kal + salát
3C	24.3.22	150	19,1	12,7	kal + salát
4A	24.3.22	150	37,2	24,8	kal + proložky + salát
4B	24.3.22	150	33,7	22,5	kal + proložky + salát
4C	24.3.22	150	33,4	22,3	kal + proložky + salát
1A	28.4.22	150	20,6	13,7	kal
1B	28.4.22	150	20	13,3	kal
1C	28.4.22	150	20,2	13,5	kal
2A	28.4.22	150	37,7	25,1	kal + proložky
2B	28.4.22	150	39,1	26,1	kal + proložky
2C	28.4.22	150	38,2	25,5	kal + proložky
3A	28.4.22	150	20,4	13,6	kal + salát
3B	28.4.22	150	19,6	13,1	kal + salát
3C	28.4.22	150	19,5	13,0	kal + salát
4A	28.4.22	150	27,3	18,2	kal + proložky + salát
4B	28.4.22	150	27,1	18,1	kal + proložky + salát
4C	28.4.22	150	28,1	18,7	kal + proložky + salát
5A	28.4.22	150	22	14,7	kal
5B	28.4.22	150	21	14,0	kal
5C	28.4.22	150	21,2	14,1	kal
6A	28.4.22	150	42,1	28,1	kal + proložky
6B	28.4.22	150	41,6	27,7	kal + proložky
6C	28.4.22	150	40,5	27,0	kal + proložky
7A	28.4.22	150	21,0	14,0	kal + salát
7B	28.4.22	150	21,6	14,4	kal + salát
7C	28.4.22	150	20,5	13,7	kal + salát
8A	28.4.22	150	30,1	20,1	kal + proložky + salát
8B	28.4.22	150	30,3	20,2	kal + proložky + salát
8C	28.4.22	150	30,5	20,3	kal + proložky + salát
1A	30.6.22	150	21,4	14,3	kal
1B	30.6.22	150	20,8	13,9	kal
1C	30.6.22	150	21,6	14,4	kal

Varianta	Datum	Navážka [g]	Hmotnost po lyofilizaci [g]	Obsah sušiny [%]	surovina/směs
2A	30.6.22	150	37,3	24,9	kal + proložky
2B	30.6.22	150	38,1	25,4	kal + proložky
2C	30.6.22	150	37,3	24,9	kal + proložky
3A	30.6.22	150	22,7	15,1	kal + salát
3B	30.6.22	150	25,2	16,8	kal + salát
3C	30.6.22	150	18,5	12,3	kal + salát
4A	30.6.22	150	29,6	19,7	kal + proložky + salát
4B	30.6.22	150	30,4	20,3	kal + proložky + salát
4C	30.6.22	150	28,5	19,0	kal + proložky + salát
5A	30.6.22	150	25,8	17,2	kal
5B	30.6.22	150	27,9	18,6	kal
5C	30.6.22	150	20,9	13,9	kal
6A	30.6.22	150	41,3	27,5	kal + proložky
6B	30.6.22	150	37,4	24,9	kal + proložky
6C	30.6.22	150	34,7	23,1	kal + proložky
7A	28.4.22	150	21,6	14,4	kal + salát
7B	28.4.22	150	20,9	13,9	kal + salát
7C	28.4.22	150	20,7	13,8	kal + salát
8A	30.6.22	150	33,3	22,2	kal + proložky + salát
8B	30.6.22	150	34,2	22,8	kal + proložky + salát
8C	30.6.22	150	33,3	22,2	kal + proložky + salát
1A	6.9.22	150	22,6	15,1	kal
1B	6.9.22	150	22,7	15,1	kal
1C	6.9.22	150	20,2	13,5	kal
2A	6.9.22	150	45,8	30,5	kal + proložky
2B	6.9.22	150	39	26,0	kal + proložky
2C	6.9.22	150	37,8	25,2	kal + proložky
3A	6.9.22	150	40,9	27,3	kal + salát
3B	6.9.22	150	28,1	18,7	kal + salát
3C	6.9.22	150	20,048	13,4	kal + salát
4A	6.9.22	150	34,6	23,1	kal + proložky + salát
4B	6.9.22	150	32,7	21,8	kal + proložky + salát
4C	6.9.22	150	28,6	19,1	kal + proložky + salát
5A	6.9.22	150	26,8	17,9	kal
5B	6.9.22	150	24,08	16,1	kal
5C	6.9.22	150	22,1	14,7	kal
6A	6.9.22	150	39,2	26,1	kal + proložky
6B	6.9.22	150	36,9	24,6	kal + proložky
6C	6.9.22	150	33,7	22,5	kal + proložky
7A	6.9.22	150	24,912	16,6	kal + salát
7B	6.9.22	150	23,94	16,0	kal + salát
7C	6.9.22	150	18,604	12,4	kal + salát

Varianta	Datum	Navážka [g]	Hmotnost po lyofilizaci [g]	Obsah sušiny [%]	surovina/směs
8A	6.9.22	150	34,7	23,1	kal + proložky + salát
8B	6.9.22	150	39	26,0	kal + proložky + salát
8C	6.9.22	150	39,1	26,1	kal + proložky + salát
X1	24.3.22	150	7,9	5,3	salát
X2	24.3.22	150	8,9	5,9	salát
X3	24.3.22	150	7,9	5,3	salát
Y1	24.3.22	150	46	30,7	proložky
Y2	24.3.22	150	50,2	33,5	proložky
Y3	24.3.22	150	51	34,0	proložky

Příloha 2 Celkové hodnoty pH a EC u všech variant v průběhu měření (4+1)

Varianta	Datum	pH	EC [µS/cm]	Žížaly	materiál
1A	24.3.22	7,633	1409	ne	kal
1B	24.3.22	7,582	1498	ne	kal
1C	24.3.22	7,565	1509	ne	kal
2A	24.3.22	7,034	1182	ne	kal + proložky
2B	24.3.22	6,776	1227	ne	kal + proložky
2C	24.3.22	7,201	1190	ne	kal + proložky
3A	24.3.22	7,437	1517	ne	kal + salát
3B	24.3.22	7,556	1668	ne	kal + salát
3C	24.3.22	7,586	1624	ne	kal + salát
4A	24.3.22	7,502	1016	ne	kal + proložky + salát
4B	24.3.22	7,338	988	ne	kal + proložky + salát
4C	24.3.22	7,432	936	ne	kal + proložky + salát
1A	28.4.22	8,585	2440	ne	kal
1B	28.4.22	8,495	2360	ne	kal
1C	28.4.22	8,459	2220	ne	kal
2A	28.4.22	7,918	579	ne	kal + proložky
2B	28.4.22	7,884	513	ne	kal + proložky
2C	28.4.22	7,790	506	ne	kal + proložky
3A	28.4.22	8,501	2170	ne	kal + salát
3B	28.4.22	8,461	1939	ne	kal + salát
3C	28.4.22	8,450	2200	ne	kal + salát
4A	28.4.22	8,664	996	ne	kal + proložky + salát
4B	28.4.22	8,620	762	ne	kal + proložky + salát
4C	28.4.22	8,515	814	ne	kal + proložky + salát
5A	28.4.22	7,843	1286	ano	kal
5B	28.4.22	7,930	1322	ano	kal
5C	28.4.22	8,053	1338	ano	kal
6A	28.4.22	7,750	628	ano	kal + proložky
6B	28.4.22	7,761	549	ano	kal + proložky

Varianta	Datum	pH	EC [$\mu\text{S/cm}$]	Žížaly	materiál
6C	28.4.22	7,704	498	ano	kal + proložky
7A	28.4.22	8,294	1582	ano	kal + salát
7B	28.4.22	8,278	1414	ano	kal + salát
7C	28.4.22	8,494	1426	ano	kal + salát
8A	28.4.22	7,636	962	ano	kal + proložky + salát
8B	28.4.22	7,702	976	ano	kal + proložky + salát
8C	28.4.22	7,695	986	ano	kal + proložky + salát
1A	30.6.22	7,253	1257	ne	kal
1B	30.6.22	7,335	1232	ne	kal
1C	30.6.22	7,246	1138	ne	kal
2A	30.6.22	6,984	1452	ne	kal + proložky
2B	30.6.22	7,157	1362	ne	kal + proložky
2C	30.6.22	7,096	1574	ne	kal + proložky
3A	30.6.22	6,979	1246	ne	kal + salát
3B	30.6.22	7,195	1298	ne	kal + salát
3C	30.6.22	7,232	1310	ne	kal + salát
4A	30.6.22	7,616	1932	ne	kal + proložky + salát
4B	30.6.22	7,822	1765	ne	kal + proložky + salát
4C	30.6.22	7,842	1889	ne	kal + proložky + salát
5A	30.6.22	6,708	1217	ano	kal
5B	30.6.22	6,737	1157	ano	kal
5C	30.6.22	6,834	1131	ano	kal
6A	30.6.22	7,127	1482	ano	kal + proložky
6B	30.6.22	6,985	1542	ano	kal + proložky
6C	30.6.22	7,154	1412	ano	kal + proložky
7A	30.6.22	7,096	1387	ano	kal + salát
7B	30.6.22	6,904	1226	ano	kal + salát
7C	30.6.22	6,929	1252	ano	kal + salát
8A	30.6.22	6,502	2610	ano	kal + proložky + salát
8B	30.6.22	6,545	2740	ano	kal + proložky + salát
8C	30.6.22	6,522	2540	ano	kal + proložky + salát
1A	6.9.22	6,665	1382	ne	kal
1B	6.9.22	6,619	1294	ne	kal
1C	6.9.22	6,450	1187	ne	kal
2A	6.9.22	6,719	2511	ne	kal + proložky
2B	6.9.22	7,043	2460	ne	kal + proložky
2C	6.9.22	6,893	2302	ne	kal + proložky
3A	6.9.22	6,603	1358	ne	kal + salát
3B	6.9.22	6,437	1346	ne	kal + salát
3C	6.9.22	6,653	1342	ne	kal + salát
4A	6.9.22	7,323	1889	ne	kal + proložky + salát
4B	6.9.22	7,328	1917	ne	kal + proložky + salát

Varianta	Datum	pH	EC [$\mu\text{S}/\text{cm}$]	Žížaly	materiál
4C	6.9.22	7,253	1630	ne	kal + proložky + salát
5A	6.9.22	6,492	1226	ano	kal
5B	6.9.22	6,325	1417	ano	kal
5C	6.9.22	6,406	1132	ano	kal
6A	6.9.22	6,647	2290	ano	kal + proložky
6B	6.9.22	6,639	2260	ano	kal + proložky
6C	6.9.22	6,820	1954	ano	kal + proložky
7A	6.9.22	6,625	1592	ano	kal + salát
7B	6.9.22	6,692	1544	ano	kal + salát
7C	6.9.22	6,682	1324	ano	kal + salát
8A	6.9.22	6,374	3823	ano	kal + proložky + salát
8B	6.9.22	6,314	3670	ano	kal + proložky + salát
8C	6.9.22	6,297	3922	ano	kal + proložky + salát

Příloha 3 Celkové obsahy rizikových prvků u všech variantách v průběhu měření

Varianta	Datum	Navážka	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Mo [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
1A	24.03.2022	0,4490	9,86	0,95	36,3	103,56	3,9	54,12	NA	1263,92
1B	24.03.2022	0,4623	9,19	0,75	23,85	94,09	3,36	43,42	NA	1173,48
1C	24.03.2022	0,4368	9,16	0,8	25,64	92,72	3,31	43,5	NA	1184,75
2A	24.03.2022	0,4062	4,86	0,32	11,08	49,36	1,69	13,66	6,95	323,12
2B	24.03.2022	0,4304	5,05	0,23	9,12	48,91	1,41	12,95	7,14	311,92
2C	24.03.2022	0,4734	4,54	0,34	14,36	57,56	1,91	19,12	6,65	492,71
3A	24.03.2022	0,4198	10,78	1,12	24,12	120,3	4,34	54,37	1,37	1316,1
3B	24.03.2022	0,4923	9,8	0,94	31,69	104,61	3,82	47,89	1,64	1198,46
3C	24.03.2022	0,4807	10,3	0,87	23,98	100,89	3,57	47,79	2,3	1175,37
4A	24.03.2022	0,4186	3,34	0,23	13,38	39,24	1,53	10,21	7,41	195,89
4B	24.03.2022	0,4751	3,05	0,23	7,00	42,83	2,22	7,84	8	193,64
4C	24.03.2022	0,4853	6,23	0,41	11,49	57,18	2,13	18,8	5,72	488,36
1A	28.04.2022	0,4802	22,39	0,77	32,49	150,98	3,47	69,24	2,39	1223,45
1B	28.04.2022	0,4472	14,93	0,52	29,96	135,29	3,74	62,05	NA	1146,02
1C	28.04.2022	0,4173	16,3	0,73	33,37	139,59	3,94	56,73	2,04	1150,25
2A	28.04.2022	0,4137	6,59	0,55	19,1	82,79	2,41	27,56	15,05	600,68
2B	28.04.2022	0,4377	7,43	0,51	45,24	82,25	2,75	26,22	14,22	599,73
2C	28.04.2022	0,4087	7,83	0,59	21,72	92,98	2,92	30,71	8,93	813,56
3A	28.04.2022	0,4737	17,52	1,00	48,71	153,05	4,46	63,33	2,06	1192,74
3B	28.04.2022	0,4228	18,51	0,83	32,05	146,05	4,46	61,49	NA	1212,16
3C	28.04.2022	0,4573	14,98	0,67	29,08	136,67	3,5	63,42	1,59	1158,98
4A	28.04.2022	0,4039	5,94	0,43	18,38	75,51	2,28	20,36	11,02	433,28
4B	28.04.2022	0,4132	4,6	0,28	21,36	68,37	2,14	15,61	13,73	344,87
4C	28.04.2022	0,4012	2,74	0,17	11,96	66,05	1,86	10,41	13,77	226,2
5A	28.04.2022	0,4684	19,48	0,72	70,45	140,91	4,05	66,18	1,65	1184,88
5B	28.04.2022	0,4392	16,56	0,51	45,82	137,18	3,75	61,48	2,05	1218,12

Varianta	Datum	Navážka	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Mo [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
5C	28.04.2022	0,4139	20,78	0,68	39,86	144,96	3,85	67,05	1,99	1177,82
6A	28.04.2022	0,4368	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	0,01
6B	28.04.2022	0,4181	3,41	0,7	17,7	77,73	2,27	17,76	10,22	302,56
6C	28.04.2022	0,4088	3,67	0,34	13,03	71,55	1,57	12,29	10,03	247,68
7A	28.04.2022	0,4593	7,95	1,35	75,5	194,32	2,64	60,42	1,14	1072,28
7B	28.04.2022	0,4688	7,79	1,31	34,45	197,31	2,7	58,66	1,39	1109,22
7C	28.04.2022	0,4698	7,61	1,36	43,26	200,62	2,7	61,73	1,49	1181,35
8A	28.04.2022	0,4270	5,09	0,42	14,58	88,99	2,42	24,18	10,48	430,91
8B	28.04.2022	0,4193	6,08	0,51	19,68	107,92	2,87	32,02	7,21	649,89
8C	28.04.2022	0,4077	5,52	0,43	19,01	97,5	2,97	25,57	7,24	544,52
1A	30.06.2022	0,4574	9,29	1,13	42,47	177,09	4,59	76,52	3,12	1453,87
1B	30.06.2022	0,4423	10,17	0,96	31,37	159,96	3,92	63,31	2,71	1339,59
1C	30.06.2022	0,4340	8,29	1,11	92,74	187,21	4,55	84,1	NA	1532,26
2A	30.06.2022	0,4022	5,47	0,28	18,09	98,21	2,56	22,81	13,05	404,65
2B	30.06.2022	0,4960	4,49	0,31	20,06	88,71	2,31	18,55	15,83	339,21
2C	30.06.2022	0,4419	6,05	0,31	50,69	89,95	2,35	28,29	12,9	320,21
3A	30.06.2022	0,4421	10,46	1,23	49,93	175,87	4,53	81,43	NA	1441,98
3B	30.06.2022	0,4159	10,1	0,86	29,15	156,89	3,72	62,52	1,32	1298,39
3C	30.06.2022	0,4581	11,19	1,09	35,15	184,46	4,16	76,95	1,86	1506,22
4A	30.06.2022	0,4316	5,97	0,5	25,54	117,01	2,75	31,45	9,67	596,62
4B	30.06.2022	0,4850	6,49	0,49	25,57	112,37	2,64	29,07	11,49	649,48
4C	30.06.2022	0,4263	6,22	0,55	29,03	125,5	3,2	33,54	9,85	727,19
5A	30.06.2022	0,4163	7,75	0,84	32,31	168,75	4,1	69,66	1,26	1441,27
5B	30.06.2022	0,4284	9,28	0,86	34,26	146,48	3,62	63,61	1,69	1254,67
5C	30.06.2022	0,4190	11,81	1,29	34,31	190,93	4,64	82,94	1,43	1485,68
6A	30.06.2022	0,4006	2,75	0,32	15,66	119,82	1,54	13,6	15,23	247,75
6B	30.06.2022	0,4016	3,98	0,39	17,93	127,61	1,63	17,37	16	297,56
6C	30.06.2022	0,4088	3,79	0,39	25,2	136,37	1,82	16,45	14,92	300,88
7A	30.06.2022	0,4593	9,91	1,06	28,41	180,17	4,51	74,57	NA	1398,87
7B	30.06.2022	0,4688	9,07	0,88	28,21	154,12	4,08	67,19	NA	1279,86
7C	30.06.2022	0,4698	8,89	0,93	28,58	159,11	4,29	62,79	1,22	1346,32
8A	30.06.2022	0,4540	4,3	0,59	21,09	146,48	2,03	24,83	13,27	509,36
8B	30.06.2022	0,4438	4,22	0,66	26,64	152,66	2,1	25,97	13,52	520,5
8C	30.06.2022	0,4066	4,92	0,65	20,97	147,57	2,03	26,19	11,68	525,09
1A	06.09.2022	0,4427	11,41	1,23	35,92	203,3	4,47	84,71	NA	1615,09
1B	06.09.2022	0,4019	12,19	1,03	43,98	197,81	4,5	76,51	NA	1592,44
1C	06.09.2022	0,4195	12,81	1,19	35,76	209,18	4,87	82,84	1,61	1632,9
2A	06.09.2022	0,4944	6,02	NA	24,58	106,19	1,83	23,72	13,2	406,05
2B	06.09.2022	0,4530	5,46	NA	15,73	98,79	1,42	18,1	20,42	277,59
2C	06.09.2022	0,4231	6,38	0,09	14,06	100,45	1,39	16,43	12,76	330,89
3A	06.09.2022	0,4218	11,97	0,97	37,87	200,33	4,53	67,57	2,25	1689,19
3B	06.09.2022	0,4209	11,64	1,03	40,15	204,32	4,51	71,28	1,78	1651,22

Varianta	Datum	Navážka	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Mo [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
3C	06.09.2022	0,4164	13,93	1,19	42,39	232,95	4,59	77,45	1,74	1969,26
4A	06.09.2022	0,4295	9,43	0,47	26,78	150,76	3,09	41,73	13,15	779,98
4B	06.09.2022	0,4105	7,00	0,25	18,45	122,41	2,01	27,34	11,63	561,51
4C	06.09.2022	0,4333	3,63	0,35	22,67	147,13	2,63	33,46	13,56	675,05
5A	06.09.2022	0,4205	14,15	1,05	43,34	202,14	5,04	76,69	2,91	1783,59
5B	06.09.2022	0,4364	13,63	0,97	65,88	199,93	4,67	75,62	1,37	1850,37
5C	06.09.2022	0,4642	10,5	1,03	60,86	219,73	4,72	84,02	NA	1879,58
6A	06.09.2022	0,4171	3,66	NA	14,27	98,9	1,35	22,18	13,25	281,11
6B	06.09.2022	0,4754	3,73	NA	16,46	104,12	1,62	16,41	12,36	362,33
6C	06.09.2022	0,4215	4,39	NA	17,32	98,46	1,64	10,85	13,52	279,95
7A	06.09.2022	0,4694	14,81	1,06	41,6	206,65	5,06	80,42	NA	1773,54
7B	06.09.2022	0,4370	10,58	1,02	39,47	197,94	4,81	76,09	1,37	1716,25
7C	06.09.2022	0,4456	12,79	0,97	69,01	212,07	4,82	87,52	3,20	1857,05
8A	06.09.2022	0,4824	5,80	0,10	18,03	114,01	2,06	20,99	11,04	533,79
8B	06.09.2022	0,4923	6,25	0,28	24,63	113,75	2,00	22,95	10,61	573,84
8C	06.09.2022	0,4495	6,40	0,29	26,42	116,8	2,03	23,75	18,41	578,42
salátA	24.03.2022	0,3463	NA	NA	NA	8,14	1,92	NA	NA	22,52
salátA	24.03.2022	0,3552	NA	0,24	NA	8,07	1,6	NA	NA	20,41
salátB	24.03.2022	0,3544	NA	0,24	NA	9,75	1,74	NA	NA	21,59
salátB	24.03.2022	0,3573	NA	NA	NA	10,37	1,53	NA	NA	22,81
salátC	24.03.2022	0,3505	NA	NA	NA	8,2	1,21	NA	NA	20,4
salátC	24.03.2022	0,3782	NA	NA	NA	7,96	1,31	NA	NA	19,83
proložkyA	24.03.2022	0,3668	NA	0,2	4,58	38,44	1,01	2,29	8,08	57,39
proložkyA	24.03.2022	0,3516	NA	NA	5,18	39,11	1,15	2,45	7,99	43,94
proložkyB	24.03.2022	0,3580	NA	NA	4,9	38,41	1,26	2,84	7,61	46,65
proložkyB	24.03.2022	0,3745	NA	NA	4,5	35,51	1,03	2,31	9,51	40,99
proložkyC	24.03.2022	0,3539	NA	NA	4,34	38,29	1,46	2,29	7,26	40,97
proložkyC	24.03.2022	0,3505	NA	NA	4,85	38,52	1,21	2,47	7,49	43,51

Příloha 4 Celkové obsahy prvků ve všech variantách v průběhu měření.

Varianta	Datum	Navážka	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]	K [mg/kg]
1A	24.03.2022	0,4490	913,14	30,96	32293,99	5623,61	2845,21	478,29	22605,79	7293,99	2557,35
1B	24.03.2022	0,4623	881,46	31,8	37367,51	5894,44	2968,85	512,65	23631,84	6759,68	2608,7
1C	24.03.2022	0,4368	835,62	26,79	34970,24	5780,68	2781,59	486,49	23008,24	6639,19	2457,65
2A	24.03.2022	0,4062	7939,44	16,49	61546,04	1766,37	1483,26	148,33	5816,1	2289,51	1046,9
2B	24.03.2022	0,4304	8364,31	19,63	60060,41	1417,29	1469,56	131,27	5372,91	2218,87	1128,6
2C	24.03.2022	0,4734	6759,61	20,91	56189,27	1964,51	1668,78	202,26	8977,61	3089,35	1338,19
3A	24.03.2022	0,4198	1012,39	30,43	36148,17	5913,53	3340,88	534,18	24416,39	7801,33	8560,62
3B	24.03.2022	0,4923	883,61	24,02	33719,28	5382,9	2945,36	477,86	21836,28	6754,01	6246,19
3C	24.03.2022	0,4807	904,93	25,38	32608,7	5512,79	2943,62	485,23	21583,11	6812,98	6836,38
4A	24.03.2022	0,4186	8301,48	20,25	59961,78	1188,49	1355,71	98,54	3690,87	1803,63	2466,56

Varianta	Datum	Navážka	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]	K [mg/kg]
4B	24.03.2022	0,4751	9471,69	18,36	64723,22	1152,39	1389,18	94,72	3288,78	1678,59	2623,13
4C	24.03.2022	0,4853	7572,64	23,34	54553,88	1849,37	1772,1	195,76	8705,96	3353,6	3909,95
1A	28.04.2022	0,4802	1077,68	25,25	35193,67	5987,09	4503,33	697,63	28373,59	7444,81	3132,55
1B	28.04.2022	0,4472	933,59	24,09	32815,3	5456,17	4136,85	631,71	26610,02	7267,44	2555,34
1C	28.04.2022	0,4173	982,51	23,72	35286,36	5547,57	4325,43	659	27618,02	7248,98	2642,58
2A	28.04.2022	0,4137	10212,71	28,28	77048,59	3414,31	2320,52	247,16	10937,88	4393,28	4650,71
2B	28.04.2022	0,4377	10680,83	30,84	76422,21	3546,95	2347,5	238,75	10737,95	4397,99	4317,45
2C	28.04.2022	0,4087	7829,7	33,34	65512,6	3792,51	2226,57	286,27	13518,47	5548,08	4951,06
3A	28.04.2022	0,4737	1081,91	25,23	29554,57	5963,69	4427,91	696,64	27443,53	4332,91	6704,67
3B	28.04.2022	0,4228	1087,98	25,9	37429,04	5972,09	4966,89	715,47	29210,03	8041,63	6262,42
3C	28.04.2022	0,4573	1016,84	24,16	37776,08	6122,9	5466,87	759,9	29958,45	7653,62	6127,27
4A	28.04.2022	0,4039	12193,61	26,43	82879,43	3131,96	1943,55	165,88	6622,93	2927,7	1485,52
4B	28.04.2022	0,4132	13855,28	27,11	88153,44	3061,47	1942,16	146,42	5675,22	3055,42	1359,51
4C	28.04.2022	0,4012	14145,06	23,74	92223,33	2212,11	1875,62	117,15	3832,25	2324,28	1404,54
5A	28.04.2022	0,4684	1072,8	26,37	36827,5	6298,04	5257,26	693,85	30049,1	8005,98	8080,17
5B	28.04.2022	0,4392	1007,51	24,13	39275,96	6147,54	5305,1	734,29	31193,08	7855,19	4582,19
5C	28.04.2022	0,4139	1020,78	24,89	34428,61	5943,46	4620,68	682,53	28146,9	8093,74	3554
6A	28.04.2022	0,4368	0,97	NA	7,76	0,13	0,13	0,01	0,14	0,15	0,21
6B	28.04.2022	0,4181	14769,19	26,19	104101,89	2762,5	2828,27	161,44	5363,55	2660,85	1174,36
6C	28.04.2022	0,4088	13698,63	22,93	103412,43	2060,91	2580,72	132,71	4274,71	2470,65	1038,41
7A	28.04.2022	0,4593	1132,16	41,48	38047,03	6041,8	5383,19	696,71	27814,06	7348,14	7702,48
7B	28.04.2022	0,4688	1157,21	38,5	37276,02	5652,73	4938,14	666,6	27250,43	7785,84	8900,92
7C	28.04.2022	0,4698	1154,75	36,5	40070,24	5959,98	5065,99	702,43	27671,35	7769,26	8059,81
8A	28.04.2022	0,4270	13934,43	22,6	108021,08	2622,95	3425,06	230,68	8196,72	3770,49	4472,48
8B	28.04.2022	0,4193	10612,93	28,2	88301,93	3815,88	3517,77	305,27	12520,87	5318,39	4777,61
8C	28.04.2022	0,4077	11896	28,51	95903,85	3403,24	3470,69	279,62	11098,85	4482,46	5485,65
1A	30.06.2022	0,4574	1268,04	32,9	44818,54	7378,66	5520,33	863,58	33941,85	9182,33	2912,11
1B	30.06.2022	0,4423	1107,85	30,07	41261,59	6726,2	5652,27	763,06	31709,25	8195,79	2900,75
1C	30.06.2022	0,4340	1296,08	34,79	45794,93	8064,52	5720,05	846,77	35080,65	9331,8	3457,95
2A	30.06.2022	0,4022	15601,69	27,91	115738,44	3226,01	3076,83	220,66	8329,19	3953,26	2013,92
2B	30.06.2022	0,4960	16078,63	25,2	112953,63	3704,64	2958,67	208,67	6754,03	3392,14	1896,17
2C	30.06.2022	0,4419	15897,26	26,08	118013,13	3869,65	3100,25	195,18	7128,31	3383,12	2322,36
3A	30.06.2022	0,4421	1227,1	33,65	44842,8	6955,44	4653,92	802,99	32967,65	9895,95	7984,05
3B	30.06.2022	0,4159	1075,98	28,97	36968,02	6371,72	4069,49	691,27	28011,54	8235,15	6457,68
3C	30.06.2022	0,4581	1315,22	36,02	44149,75	7476,53	5621,04	829,51	33507,97	9604,89	8405,92
4A	30.06.2022	0,4316	15234,01	24,27	116832,72	4072,06	3921,46	325,53	13322,52	5224,75	5236,91
4B	30.06.2022	0,4850	15154,64	27,78	118195,88	4273,2	4046,39	317,01	13402,06	5309,28	6028,35
4C	30.06.2022	0,4263	12315,27	28,79	104152,01	4621,16	4099,23	371,8	15130,19	6157,64	6006,92
5A	30.06.2022	0,4163	1219,07	32,97	43958,68	6785,97	4443,91	774,68	32488,59	8887,82	7717,99
5B	30.06.2022	0,4284	1003,73	27,84	36064,43	5812,32	3804,86	630,25	27310,92	7644,72	6721,52
5C	30.06.2022	0,4190	1390,21	34,79	44809,07	7279,24	4683,77	805,49	31861,58	9486,87	7050,12
6A	30.06.2022	0,4006	18285,07	27,58	113205,19	3064,15	2864,45	164,13	3725,66	2514,98	2243,51

Varianta	Datum	Navážka	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]	K [mg/kg]
6B	30.06.2022	0,4016	18924,3	30,5	115786,85	3261,95	3174,8	200,45	4538,1	2900,9	2739,67
6C	30.06.2022	0,4088	17551,37	30,64	108243,64	3014,92	3069,96	176,13	4323,63	2892,61	3710,86
7A	30.06.2022	0,4593	1328,11	37,07	40822,99	6368,39	4866,1	718,48	30100,15	9198,78	14213,48
7B	30.06.2022	0,4688	1125,21	31,46	39835,75	6079,35	4479,52	709,26	29650,17	8212,46	10204,24
7C	30.06.2022	0,4698	1255,85	31,34	46455,94	6545,34	4432,74	771,6	31077,05	8514,26	10990,85
8A	30.06.2022	0,4540	15914,1	31,28	101376,65	3667,4	3645,37	299,56	8755,51	4333,7	7509,91
8B	30.06.2022	0,4438	16392,52	34,36	103255,97	3762,96	3830,55	307,57	9069,4	4658,63	8412,57
8C	30.06.2022	0,4066	14940,97	41,99	101266,6	3818,25	3775,21	303,12	9468,77	4672,9	9263,4
1A	06.09.2022	0,4427	1327,08	35,01	45064,38	7680,14	5760,11	801,9	34955,95	10899,03	3982,95
1B	06.09.2022	0,4019	1262,75	33,47	43543,17	7464,54	5380,69	777,56	33777,06	10139,34	3709,26
1C	06.09.2022	0,4195	1340,88	36,23	42610,25	7568,53	5500,6	786,65	33194,28	10905,84	3689,51
2A	06.09.2022	0,4944	16686,89	21,69	110538,03	3575,04	3135,11	220,97	7787,22	3509,3	1783,47
2B	06.09.2022	0,4530	19426,05	21,8	121247,24	3101,55	3234	165,01	4889,62	2924,94	1704,19
2C	06.09.2022	0,4231	18494,45	22,75	117939,02	3131,65	3137,56	206,81	5908,77	3220,28	1851,22
3A	06.09.2022	0,4218	1499,53	39,71	46230,44	7645,8	6164,06	776,43	35858,23	11616,88	9519,91
3B	06.09.2022	0,4209	1496,79	38,49	41933,95	7543,36	6117,84	724,64	33677,83	11582,32	7808,27
3C	06.09.2022	0,4164	1711,1	43,41	47850,62	8105,19	7564,84	792,51	38544,67	12848,22	10065,44
4A	06.09.2022	0,4295	14086,15	28,23	100465,66	5110,59	4074,51	388,82	15541,33	5878,93	5883,59
4B	06.09.2022	0,4105	15651,64	28,38	109257	4092,57	4049,94	309,38	11327,65	4920,83	5394,03
4C	06.09.2022	0,4333	16501,27	27,35	112566,35	4384,95	4477,27	358,87	13731,83	5458,11	6796,68
5A	06.09.2022	0,4205	1599,29	39,6	52734,84	8026,16	6599,29	832,34	38703,92	11652,79	8788,94
5B	06.09.2022	0,4364	1506,65	38,27	55052,7	8363,89	6416,13	842,12	40616,41	11858,39	7580,77
5C	06.09.2022	0,4642	1750,32	39,96	46854,8	8186,13	6193,45	753,99	36676	12063,77	9514,76
6A	06.09.2022	0,4171	18280,99	21,88	120294,89	2948,93	3206,67	165,43	4771,04	2936,95	2878,81
6B	06.09.2022	0,4754	17984,85	22,56	114377,37	3360,33	3328,78	204,04	6678,59	3291,96	2702,46
6C	06.09.2022	0,4215	18861,21	21,47	120996,44	3030,84	3155,4	158,96	4739,03	2811,39	2642,94
7A	06.09.2022	0,4694	1853,43	40,32	53366	8361,74	6817,21	825,52	38506,6	12356,2	13318,6
7B	06.09.2022	0,4370	1613,27	40,45	50400,46	7551,49	6235,7	778,03	36498,86	11613,27	12340,96
7C	06.09.2022	0,4456	1598,97	39,89	49427,74	7966,79	6171,45	807,9	37309,25	12286,8	13412,81
8A	06.09.2022	0,4824	15132,67	29,18	105669,57	3700,25	4042,29	254,98	11504,98	4736,73	7654,44
8B	06.09.2022	0,4923	16453,38	25,7	113396,3	3940,69	4199,68	269,65	11476,74	4849,69	8329,27
8C	06.09.2022	0,4495	16907,68	26,81	115406,01	3937,71	4249,17	284,76	11790,88	4794,22	7894,33
salátA	24.03.2022	0,3463	148,72	44,18	9226,1	265,67	5342,19	49,67	4576,96	2209,07	79937,92
salátA	24.03.2022	0,3552	156,25	42,65	8572,64	259,01	5166,1	50,68	4729,73	2195,95	76970,72
salátB	24.03.2022	0,3544	132,2	44,44	10284,99	218,68	5290,63	60,67	4486,46	2356,09	77821,67
salátB	24.03.2022	0,3573	153,93	46,46	10509,38	249,09	5569,55	65,21	4757,91	2518,89	85544,36
salátC	24.03.2022	0,3505	189,73	37,38	7232,53	333,81	4522,11	44,79	4878,74	2125,54	80699
salátC	24.03.2022	0,3782	154,68	36,62	7258,06	251,19	4508,2	44,16	4851,93	2115,28	75158,65
proložkyA	24.03.2022	0,3668	5943,29	18,13	60523,45	922,85	1649,4	31,9	295,8	831,52	595,69
proložkyA	24.03.2022	0,3516	6171,79	18,34	64277,59	728,1	1436,29	28,01	201,93	695,39	440,84
proložkyB	24.03.2022	0,3580	3770,95	18,44	65223,46	934,36	1494,41	31,56	293,3	804,47	350,56
proložkyB	24.03.2022	0,3745	4499,33	17,22	61815,75	1096,13	1428,57	31,91	365,82	775,7	452,6

Varianta	Datum	Navážka	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Ca [mg/kg]	Fe [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]	K [mg/kg]
proložkyC	24.03.2022	0,3539	4944,9	16,53	58208,53	853,35	1385,98	28,4	245,83	745,97	363,1
proložkyC	24.03.2022	0,3505	5363,77	16,69	60485,02	888,73	1455,06	29,81	259,63	757,49	423,68

Příloha 5 Celkové naměřené hodnoty přístupných nerizikových prvků ve všech variantách v průběhu měření

Varianta	Datum	Navážka [g]	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
1A	24.03.2022	4,00	1,61	3,39	513,00	2420,00	1930,00	218,00	3440,00	642,00
1B	24.03.2022	4,00	1,24	3,31	560,00	2560,00	2020,00	208,00	3630,00	664,00
1C	24.03.2022	4,00	1,23	3,33	541,00	2460,00	2020,00	205,00	3750,00	665,00
2A	24.03.2022	4,00	15,30	4,66	85,70	848,00	519,00	44,70	323,00	278,00
2B	24.03.2022	4,00	16,50	3,94	98,60	936,00	595,00	50,50	469,00	275,00
2C	24.03.2022	4,00	13,20	3,48	102,00	894,00	591,00	48,10	454,00	258,00
3A	24.03.2022	4,00	1,61	3,12	535,00	6600,00	2030,00	250,00	3460,00	619,00
3B	24.03.2022	4,00	1,70	3,12	505,00	5450,00	1920,00	250,00	3340,00	590,00
3C	24.03.2022	4,00	1,51	3,03	510,00	5250,00	1880,00	251,00	3290,00	593,00
4A	24.03.2022	4,00	16,00	4,26	81,50	1950,00	569,00	46,10	367,00	317,00
4B	24.03.2022	4,00	17,60	4,41	50,40	1810,00	441,00	26,50	218,00	276,00
4C	24.03.2022	4,00	16,80	4,28	64,60	1700,00	545,00	35,20	337,00	302,00
1A	28.04.2022	4,00	2,54	2,58	566,00	2630,00	684,00	258,00	4600,00	2890,00
1B	28.04.2022	4,00	3,11	2,37	546,00	2630,00	485,00	214,00	3870,00	2700,00
1C	28.04.2022	4,00	2,57	2,58	592,00	2730,00	883,00	235,00	4640,00	3120,00
2A	28.04.2022	4,00	21,60	3,76	82,00	819,00	458,00	38,20	176,00	315,00
2B	28.04.2022	4,00	34,10	4,26	79,30	563,00	441,00	40,10	166,00	218,00
2C	28.04.2022	4,00	27,60	3,92	78,40	777,00	452,00	37,30	186,00	182,00
3A	28.04.2022	4,00	2,51	2,81	529,00	5650,00	656,00	239,00	4120,00	3060,00
3B	28.04.2022	4,00	2,57	2,94	543,00	5150,00	695,00	241,00	4160,00	3240,00
3C	28.04.2022	4,00	3,27	3,00	602,00	5420,00	813,00	254,00	4520,00	2960,00
4A	28.04.2022	4,00	10,40	3,27	92,50	3800,00	749,00	65,60	380,00	663,00
4B	28.04.2022	4,00	6,79	3,45	80,40	3490,00	725,00	48,80	241,00	600,00
4C	28.04.2022	4,00	13,10	3,08	86,00	3400,00	707,00	51,10	348,00	654,00
5A	28.04.2022	4,00	1,75	3,46	455,00	6480,00	1180,00	213,00	4600,00	2680,00
5B	28.04.2022	4,00	2,74	2,80	499,00	4160,00	697,00	215,00	4440,00	2660,00
5C	28.04.2022	4,00	2,39	2,54	551,00	3090,00	859,00	223,00	4440,00	3340,00
6A	28.04.2022	4,00	34,60	3,85	70,00	992,00	426,00	25,30	115,00	385,00
6B	28.04.2022	4,00	27,40	3,69	67,60	576,00	417,00	29,20	97,10	221,00
6C	28.04.2022	4,00	22,00	3,77	57,20	536,00	367,00	23,90	72,40	176,00
7A	28.04.2022	4,00	3,04	2,88	492,00	6260,00	539,00	179,00	3770,00	2290,00
7B	28.04.2022	4,00	1,58	3,15	457,00	7310,00	822,00	180,00	4250,00	2030,00
7C	28.04.2022	4,00	1,84	2,92	506,00	6290,00	827,00	180,00	4080,00	2470,00
8A	28.04.2022	4,00	18,20	4,09	111,00	3480,00	710,00	66,00	284,00	615,00
8B	28.04.2022	4,00	13,40	3,40	81,90	3850,00	699,00	57,90	297,00	544,00
8C	28.04.2022	4,00	16,50	3,77	87,40	4440,00	675,00	55,00	314,00	589,00

Varianta	Datum	Navážka [g]	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
1A	30.06.2022	4,00	3,13	3,82	774,00	2880,00	980,00	158,00	5380,00	1350,00
1B	30.06.2022	4,00	4,28	3,40	658,00	2560,00	769,00	180,00	4560,00	1170,00
1C	30.06.2022	4,00	5,92	4,29	798,00	3220,00	1130,00	184,00	5640,00	1850,00
2A	30.06.2022	4,00	17,80	4,28	107,00	1410,00	727,00	57,90	251,00	428,00
2B	30.06.2022	4,00	17,50	4,67	118,00	1080,00	523,00	49,80	119,00	290,00
2C	30.06.2022	4,00	16,10	4,67	110,00	1220,00	623,00	47,90	165,00	286,00
3A	30.06.2022	4,00	2,49	5,14	592,00	7140,00	1500,00	212,00	5770,00	2890,00
3B	30.06.2022	4,00	2,18	4,67	494,00	5510,00	1260,00	194,00	4480,00	1190,00
3C	30.06.2022	4,00	4,31	4,38	793,00	7270,00	1080,00	213,00	5700,00	1940,00
4A	30.06.2022	4,00	4,23	5,00	122,00	4950,00	1170,00	85,10	530,00	928,00
4B	30.06.2022	4,00	1,01	3,82	71,80	4900,00	1090,00	55,60	146,00	863,00
4C	30.06.2022	4,00	1,55	3,43	105,00	4540,00	890,00	69,50	333,00	888,00
5A	30.06.2022	4,00	2,72	5,82	534,00	6590,00	1430,00	185,00	4820,00	1730,00
5B	30.06.2022	4,00	1,70	5,39	314,00	5530,00	1260,00	145,00	3930,00	1630,00
5C	30.06.2022	4,00	2,39	5,43	747,00	5780,00	1450,00	156,00	4840,00	1700,00
6A	30.06.2022	4,00	10,20	4,23	106,00	1810,00	533,00	37,10	117,00	332,00
6B	30.06.2022	4,00	10,60	3,67	82,90	2040,00	579,00	43,50	140,00	193,00
6C	30.06.2022	4,00	8,27	2,91	59,00	1870,00	387,00	27,20	104,00	108,00
7A	30.06.2022	4,00	NA	5,57	564,00	10200,00	1300,00	199,00	4910,00	2290,00
7B	30.06.2022	4,00	1,25	5,28	724,00	8550,00	1410,00	187,00	5280,00	1670,00
7C	30.06.2022	4,00	1,03	5,86	576,00	8270,00	1310,00	188,00	4700,00	1840,00
8A	30.06.2022	4,00	7,33	4,75	118,00	5460,00	1120,00	59,90	490,00	515,00
8B	30.06.2022	4,00	5,93	4,84	121,00	6040,00	1150,00	66,80	480,00	411,00
8C	30.06.2022	4,00	5,36	4,89	142,00	6960,00	1160,00	77,10	485,00	344,00
1A	06.09.2022	4,00	3,83	6,95	552,00	3640,00	2350,00	237,00	7720,00	3880,00
1B	06.09.2022	4,00	3,23	6,92	604,00	3470,00	2150,00	241,00	6490,00	2900,00
1C	06.09.2022	4,00	2,75	8,46	961,00	3330,00	2230,00	187,00	6470,00	2660,00
2A	06.09.2022	4,00	17,70	4,17	92,60	1360,00	857,00	33,00	171,00	338,00
2B	06.09.2022	4,00	20,40	3,88	92,40	1140,00	647,00	25,20	88,90	114,00
2C	06.09.2022	4,00	15,70	4,03	85,50	1190,00	750,00	30,40	151,00	160,00
3A	06.09.2022	4,00	2,34	6,64	259,00	8640,00	2260,00	247,00	6070,00	4760,00
3B	06.09.2022	4,00	1,78	9,02	378,00	7880,00	2720,00	199,00	6230,00	3650,00
3C	06.09.2022	4,00	3,21	7,96	537,00	8560,00	2410,00	240,00	7580,00	4080,00
4A	06.09.2022	4,00	8,00	4,64	118,00	5150,00	1420,00	48,20	491,00	963,00
4B	06.09.2022	4,00	2,52	3,25	69,10	4260,00	960,00	21,10	160,00	727,00
4C	06.09.2022	4,00	5,73	4,09	97,40	5400,00	1150,00	54,90	504,00	1160,00
5A	06.09.2022	4,00	2,37	8,95	710,00	8420,00	2000,00	264,00	4610,00	3340,00
5B	06.09.2022	4,00	2,41	8,56	758,00	8210,00	2120,00	234,00	5160,00	3330,00
5C	06.09.2022	4,00	3,50	8,83	764,00	8400,00	1730,00	198,00	4600,00	2660,00
6A	06.09.2022	4,00	20,10	4,32	98,00	2220,00	688,00	29,10	110,00	188,00
6B	06.09.2022	4,00	15,40	4,56	94,60	2270,00	842,00	36,90	213,00	201,00
6C	06.09.2022	4,00	18,00	4,23	87,00	2060,00	694,00	21,70	105,00	98,70

Varianta	Datum	Navážka [g]	Al [mg/kg]	B [mg/kg]	Fe [mg/kg]	K [mg/kg]	Mg [mg/kg]	Mn [mg/kg]	P [mg/kg]	S [mg/kg]
7A	06.09.2022	4,00	2,45	8,09	710,00	11460,00	1590,00	236,00	4410,00	3280,00
7B	06.09.2022	4,00	4,71	8,53	643,00	11880,00	1690,00	242,00	4640,00	3620,00
7C	06.09.2022	4,00	2,99	8,83	923,00	11980,00	1660,00	153,00	5310,00	2700,00
8A	06.09.2022	4,00	8,99	4,76	111,00	6880,00	1320,00	37,40	458,00	657,00
8B	06.09.2022	4,00	7,72	4,96	97,20	7010,00	1400,00	27,90	466,00	487,00
8C	06.09.2022	4,00	8,31	4,91	96,00	6870,00	1380,00	32,50	423,00	361,00
salátA	24.03.2022	4,00	2,10	8,65	26,10	54000,00	3330,00	38,80	2750,00	1100,00
salátB	24.03.2022	4,00	0,88	8,71	19,50	59200,00	3570,00	52,00	2380,00	1240,00
salátC	24.03.2022	4,00	1,73	8,35	23,10	60000,00	3300,00	35,90	3250,00	1170,00
proložkyA	24.03.2022	4,00	25,90	5,22	22,70	348,00	164,00	7,50	3,50	222,00
proložkyB	24.03.2022	4,00	27,00	4,91	22,50	342,00	161,00	6,60	3,00	217,00
proložkyC	24.03.2022	4,00	26,70	4,47	19,80	362,00	151,00	6,35	3,50	188,00

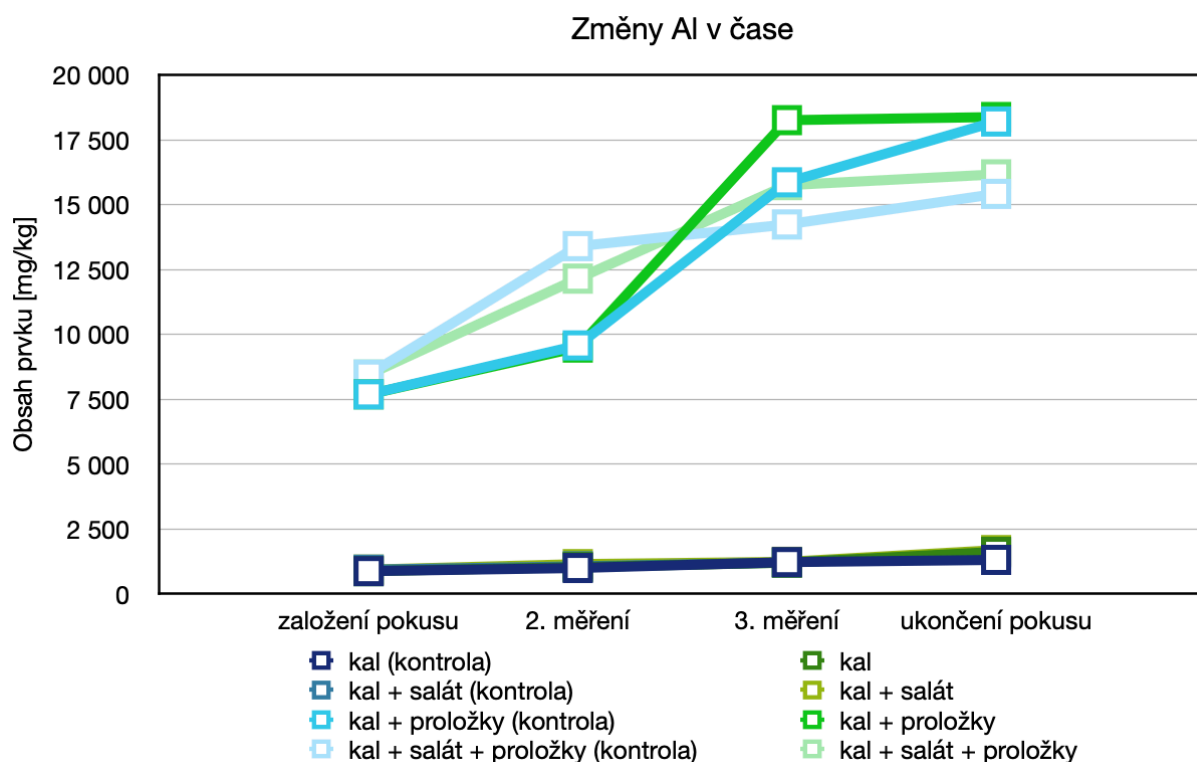
Příloha 6 Celkové naměřené hodnoty přístupných rizikových prvků ve všech variantách v průběhu měření

Varianta	Datum	Navážka [g]	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
1A	24.03.2022	4,00	3,68	0,21	0,22	22,00	15,70	0,31	276,00
1B	24.03.2022	4,00	4,08	0,21	0,22	19,30	17,50	NA	265,00
1C	24.03.2022	4,00	3,90	0,19	0,23	20,80	16,20	NA	277,00
2A	24.03.2022	4,00	1,13	0,06	NA	6,78	2,64	0,96	55,30
2B	24.03.2022	4,00	1,09	0,06	NA	7,92	2,96	0,37	69,00
2C	24.03.2022	4,00	1,34	0,06	NA	7,72	2,94	0,59	69,70
3A	24.03.2022	4,00	3,81	0,20	0,25	22,60	18,20	0,43	259,00
3B	24.03.2022	4,00	3,64	0,20	0,23	24,60	16,60	0,33	252,00
3C	24.03.2022	4,00	3,80	0,19	0,27	23,90	17,80	0,36	257,00
4A	24.03.2022	4,00	0,99	0,05	NA	6,97	2,73	0,64	60,70
4B	24.03.2022	4,00	0,85	0,02	NA	5,32	1,40	0,62	32,70
4C	24.03.2022	4,00	0,94	0,04	NA	5,63	2,07	0,67	47,00
1A	28.04.2022	4,00	3,15	0,15	0,50	28,00	22,80	0,32	208,00
1B	28.04.2022	4,00	3,03	0,09	0,33	14,50	17,70	0,36	153,00
1C	28.04.2022	4,00	3,30	0,13	0,34	17,30	19,70	0,31	179,00
2A	28.04.2022	4,00	0,59	0,07	NA	7,72	2,55	1,02	70,30
2B	28.04.2022	4,00	0,40	0,05	NA	6,68	2,02	1,06	63,10
2C	28.04.2022	4,00	0,59	0,06	NA	7,05	2,28	0,79	65,40
3A	28.04.2022	4,00	2,81	0,12	0,45	21,10	19,60	0,35	157,00
3B	28.04.2022	4,00	2,83	0,11	0,46	20,70	19,40	0,12	157,00
3C	28.04.2022	4,00	2,79	0,14	0,53	23,30	21,50	0,43	166,00
4A	28.04.2022	4,00	1,07	0,08	NA	10,10	5,73	0,90	130,00
4B	28.04.2022	4,00	0,82	0,10	NA	7,01	4,94	0,69	130,00
4C	28.04.2022	4,00	0,92	0,07	NA	7,33	4,58	0,67	89,30
5A	28.04.2022	4,00	2,38	0,14	0,30	19,50	18,10	0,32	216,00
5B	28.04.2022	4,00	2,65	0,13	0,43	24,20	19,10	0,29	181,00

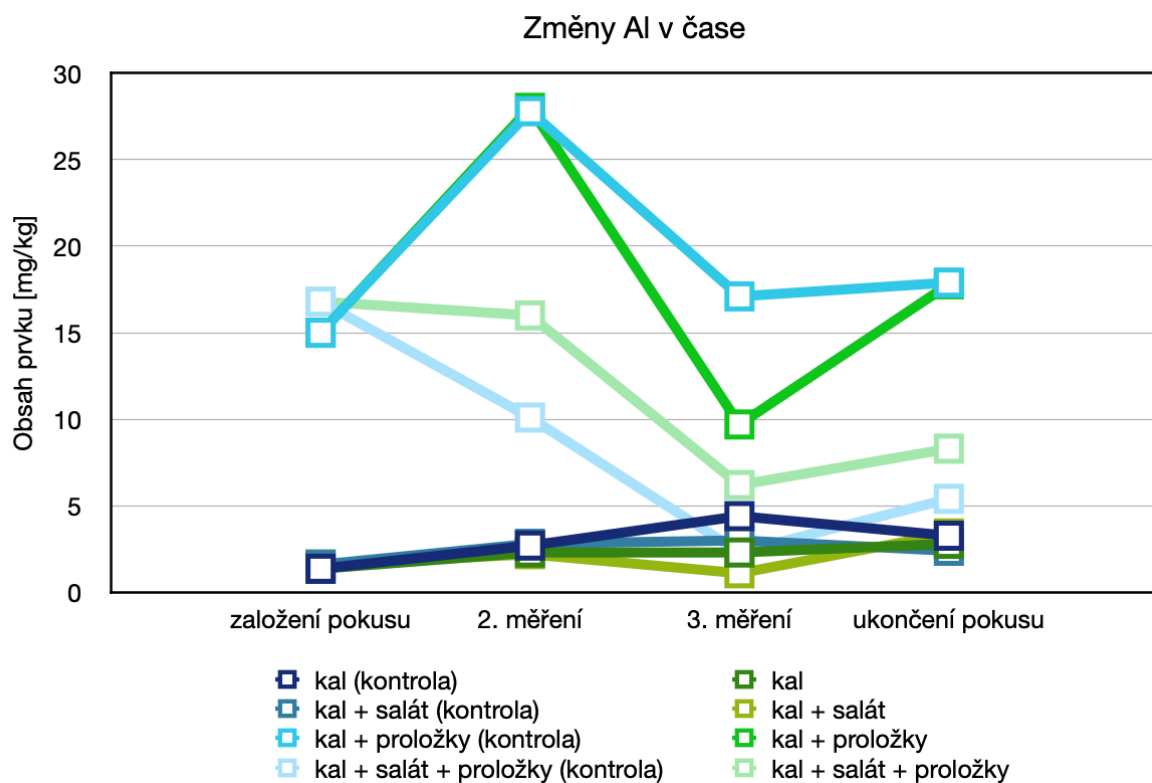
Varianta	Datum	Navážka [g]	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
5C	28.04.2022	4,00	2,56	0,13	0,36	20,90	20,00	NA	172,00
6A	28.04.2022	4,00	0,49	0,05	NA	5,00	1,73	0,74	56,60
6B	28.04.2022	4,00	0,69	0,06	NA	4,96	2,13	0,88	69,90
6C	28.04.2022	4,00	0,53	0,03	NA	4,06	1,62	0,93	48,70
7A	28.04.2022	4,00	2,47	0,11	0,46	13,90	15,70	NA	155,00
7B	28.04.2022	4,00	2,51	0,10	0,31	17,90	15,30	NA	159,00
7C	28.04.2022	4,00	2,56	0,12	0,28	15,00	15,60	NA	157,00
8A	28.04.2022	4,00	1,05	0,09	NA	7,19	4,77	0,77	153,00
8B	28.04.2022	4,00	0,88	0,08	NA	7,89	4,78	0,74	124,00
8C	28.04.2022	4,00	0,79	0,12	NA	6,89	4,19	1,58	127,00
1A	30.06.2022	4,00	2,46	0,06	0,62	1,96	19,50	0,52	156,00
1B	30.06.2022	4,00	3,17	0,16	0,52	13,70	19,10	0,21	256,00
1C	30.06.2022	4,00	2,64	0,06	0,58	2,09	18,40	NA	144,00
2A	30.06.2022	4,00	0,47	0,15	NA	12,80	3,59	1,43	120,00
2B	30.06.2022	4,00	0,46	0,12	NA	11,40	2,79	0,94	111,00
2C	30.06.2022	4,00	0,55	0,14	NA	12,00	3,02	1,26	107,00
3A	30.06.2022	4,00	3,10	0,11	0,48	5,71	19,10	NA	306,00
3B	30.06.2022	4,00	3,38	0,33	0,31	14,40	16,70	NA	480,00
3C	30.06.2022	4,00	2,73	0,04	1,00	2,80	21,70	NA	162,00
4A	30.06.2022	4,00	0,98	0,26	NA	21,70	7,22	1,10	276,00
4B	30.06.2022	4,00	0,74	0,25	NA	15,80	5,74	0,90	232,00
4C	30.06.2022	4,00	0,96	0,23	NA	19,30	7,66	0,90	303,00
5A	30.06.2022	4,00	2,92	0,29	0,30	15,00	18,70	0,46	431,00
5B	30.06.2022	4,00	3,60	0,50	0,17	29,00	15,30	NA	716,00
5C	30.06.2022	4,00	2,37	0,09	0,31	3,05	18,70	0,27	212,00
6A	30.06.2022	4,00	0,48	0,10	NA	9,51	2,51	1,07	90,40
6B	30.06.2022	4,00	0,42	0,11	NA	9,54	2,72	1,11	99,20
6C	30.06.2022	4,00	0,31	0,07	NA	6,87	1,50	0,64	65,90
7A	30.06.2022	4,00	2,56	0,17	0,22	5,91	17,00	NA	323,00
7B	30.06.2022	4,00	2,19	0,08	0,32	4,31	17,80	0,27	188,00
7C	30.06.2022	4,00	2,68	0,12	0,23	8,07	17,60	NA	220,00
8A	30.06.2022	4,00	1,05	0,20	NA	14,90	5,45	0,84	177,00
8B	30.06.2022	4,00	0,93	0,22	NA	16,70	5,51	1,15	196,00
8C	30.06.2022	4,00	1,11	0,24	NA	17,20	5,54	1,18	209,00
1A	06.09.2022	4,00	4,12	0,29	0,45	14,70	23,10	NA	662,00
1B	06.09.2022	4,00	3,82	0,25	0,35	14,90	20,30	NA	597,00
1C	06.09.2022	4,00	3,40	0,14	0,36	7,01	20,70	NA	337,00
2A	06.09.2022	4,00	NA	0,15	NA	11,20	3,57	1,13	107,00
2B	06.09.2022	4,00	NA	0,12	NA	9,23	2,37	1,01	92,90
2C	06.09.2022	4,00	NA	0,15	NA	10,20	2,96	1,09	100,00
3A	06.09.2022	4,00	6,05	0,71	0,38	44,40	25,30	0,37	916,00
3B	06.09.2022	4,00	6,34	0,58	0,28	37,30	25,60	0,23	826,00

Varianta	Datum	Navážka [g]	As [mg/kg]	Cd [mg/kg]	Cr [mg/kg]	Cu [mg/kg]	Ni [mg/kg]	Pb [mg/kg]	Zn [mg/kg]
3C	06.09.2022	4,00	5,77	0,32	0,66	16,70	24,60	0,40	607,00
4A	06.09.2022	4,00	0,90	0,30	NA	20,40	7,60	1,10	292,00
4B	06.09.2022	4,00	0,69	0,22	NA	12,70	4,32	1,01	198,00
4C	06.09.2022	4,00	1,05	0,30	NA	25,30	7,59	0,92	346,00
5A	06.09.2022	4,00	3,91	0,16	0,33	14,10	20,30	NA	404,00
5B	06.09.2022	4,00	2,80	0,09	0,34	7,33	21,00	NA	286,00
5C	06.09.2022	4,00	2,72	0,14	0,30	10,60	19,00	NA	309,00
6A	06.09.2022	4,00	0,61	0,11	NA	9,01	2,34	1,18	73,50
6B	06.09.2022	4,00	0,62	0,14	NA	10,60	3,47	1,21	102,00
6C	06.09.2022	4,00	0,38	0,11	NA	9,23	2,38	1,32	79,60
7A	06.09.2022	4,00	3,46	0,12	0,32	10,60	20,90	0,29	301,00
7B	06.09.2022	4,00	3,03	0,17	0,32	13,60	22,10	0,28	367,00
7C	06.09.2022	4,00	3,19	0,07	0,46	5,52	21,40	NA	193,00
8A	06.09.2022	4,00	1,02	0,18	NA	14,30	5,21	0,99	160,00
8B	06.09.2022	4,00	0,78	0,19	NA	15,40	5,66	1,03	161,00
8C	06.09.2022	4,00	1,18	0,20	NA	14,00	5,33	0,92	153,00
salátA	24.03.2022	4,00	0,66	0,11	NA	6,09	0,15	0,26	17,50
salátB	24.03.2022	4,00	0,44	0,12	NA	7,12	0,08	NA	19,40
salátC	24.03.2022	4,00	0,78	0,12	0,07	6,87	0,21	NA	18,20
proložkyA	24.03.2022	4,00	NA	0,02	NA	1,75	0,23	0,51	9,98
proložkyB	24.03.2022	4,00	NA	0,02	NA	1,84	0,30	0,70	8,72
proložkyC	24.03.2022	4,00	NA	0,01	NA	1,80	0,17	0,77	8,21

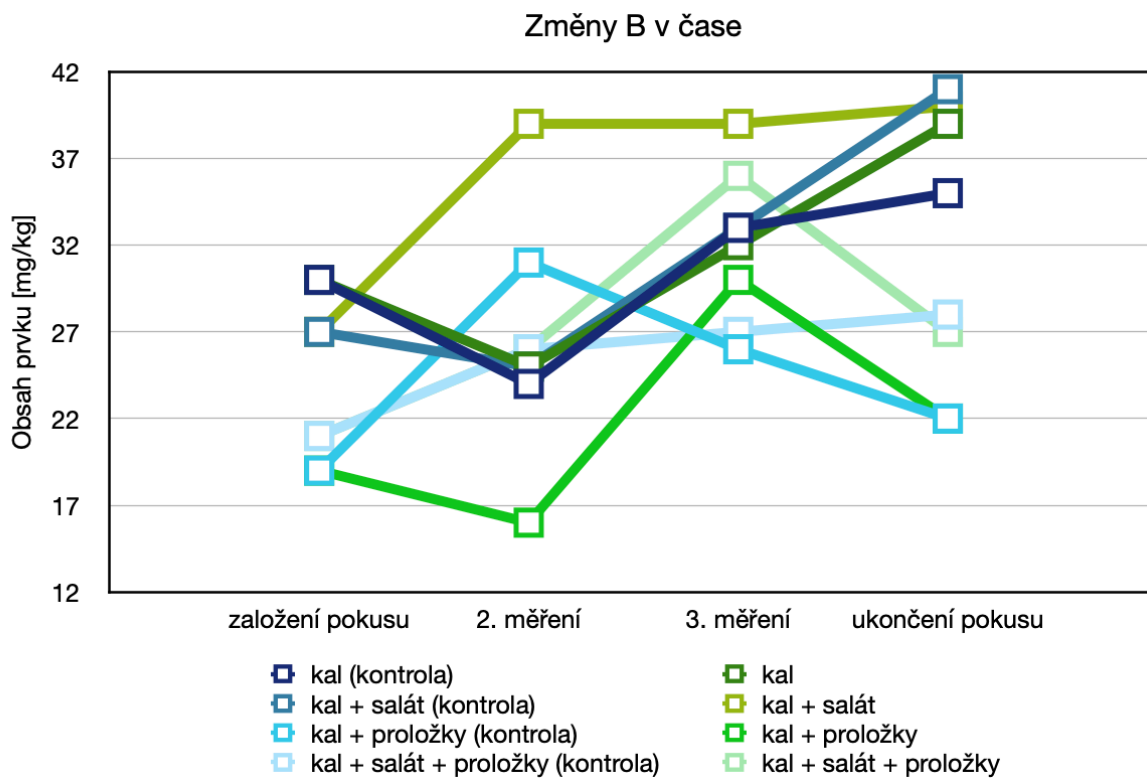
Příloha 7 Změny celkových obsahů Al v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



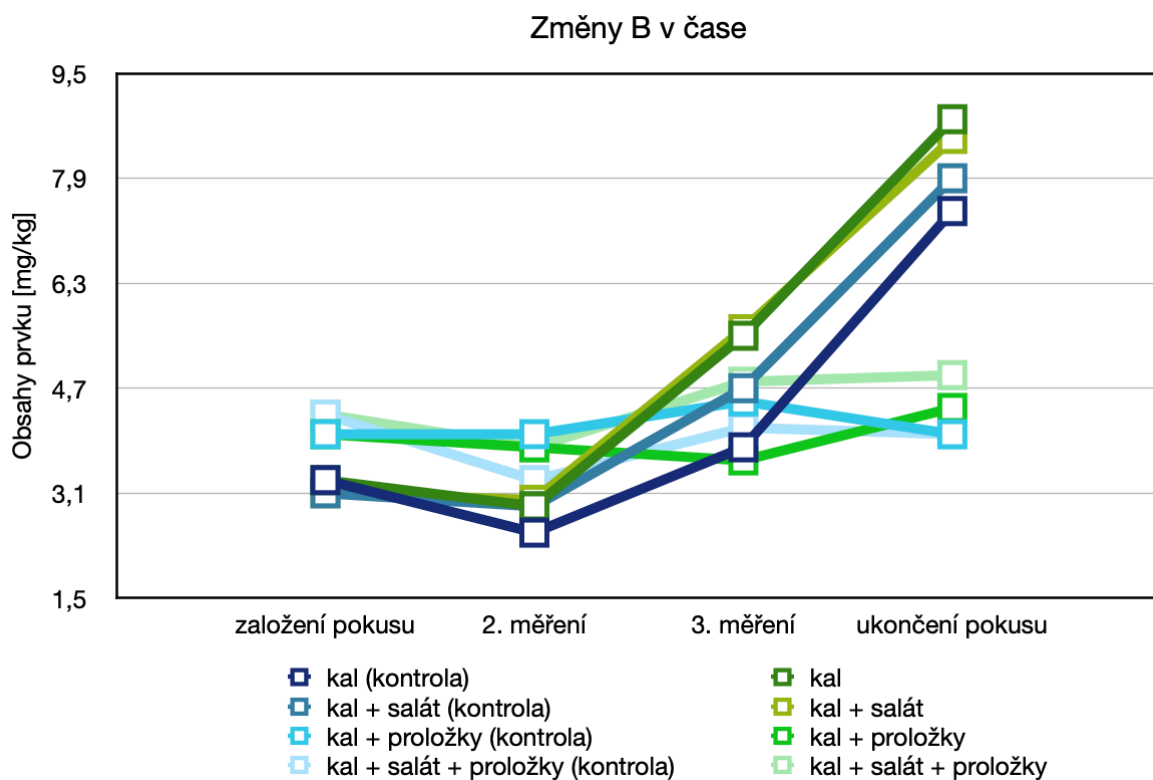
Příloha 8 Změny přístupných obsahů Al v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



Příloha 9 Změny celkových obsahů B v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)

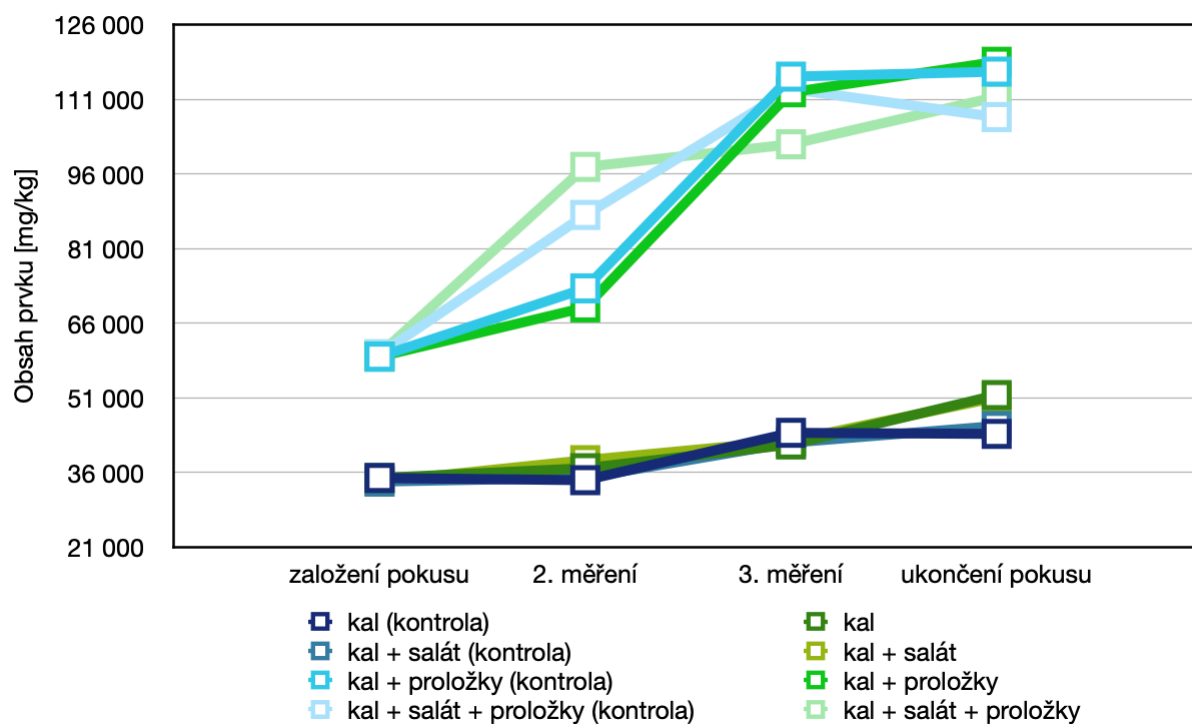


Příloha 10 Změny přístupných obsahů B v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)

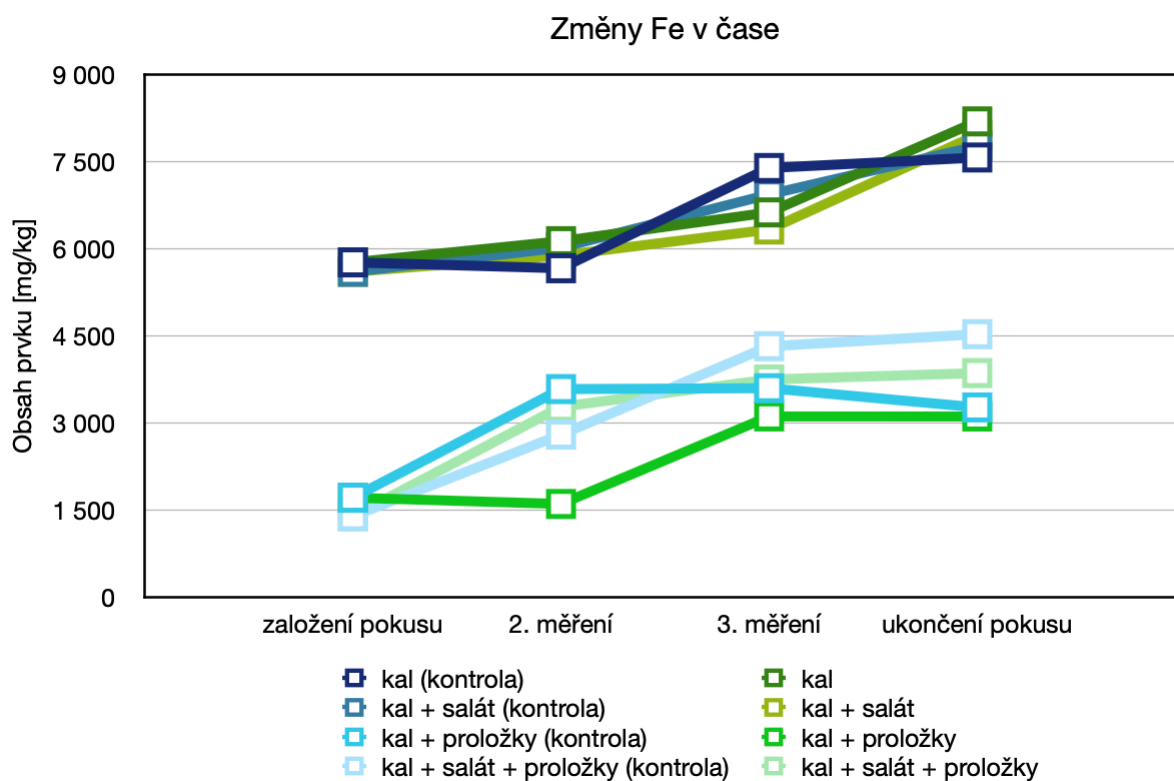


Příloha 11 Změny celkových obsahů Ca v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)

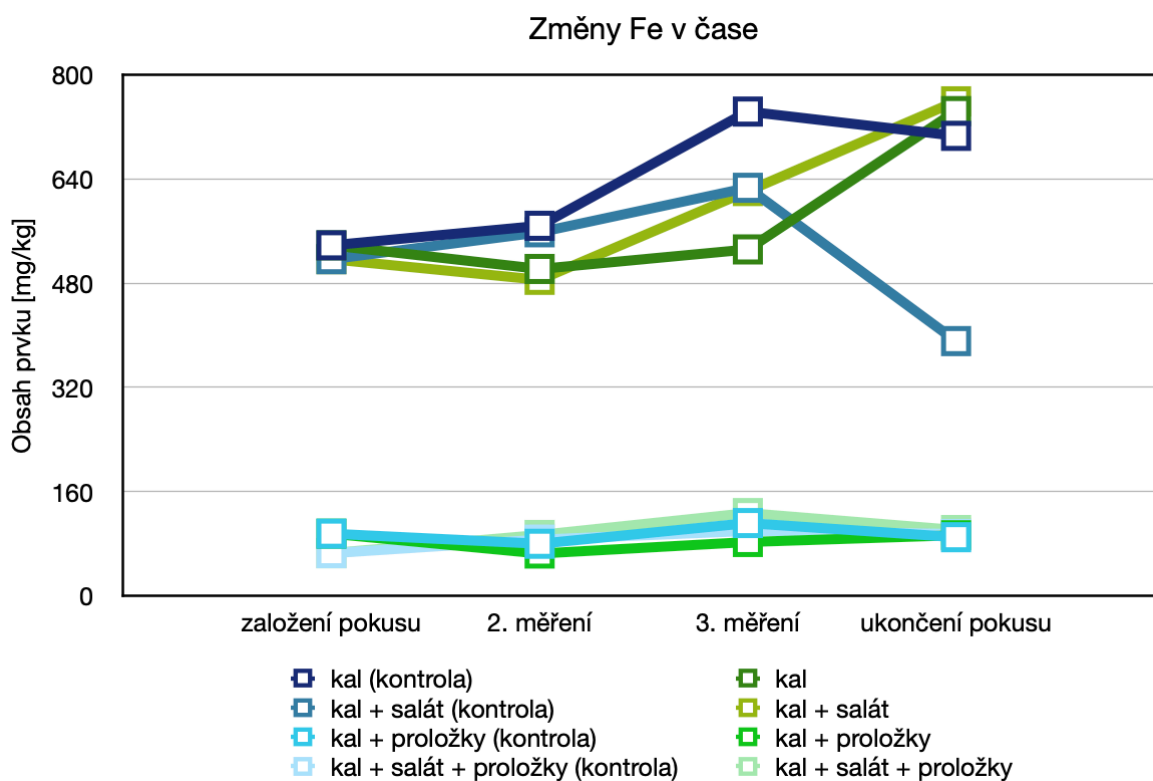
Změny Ca v čase



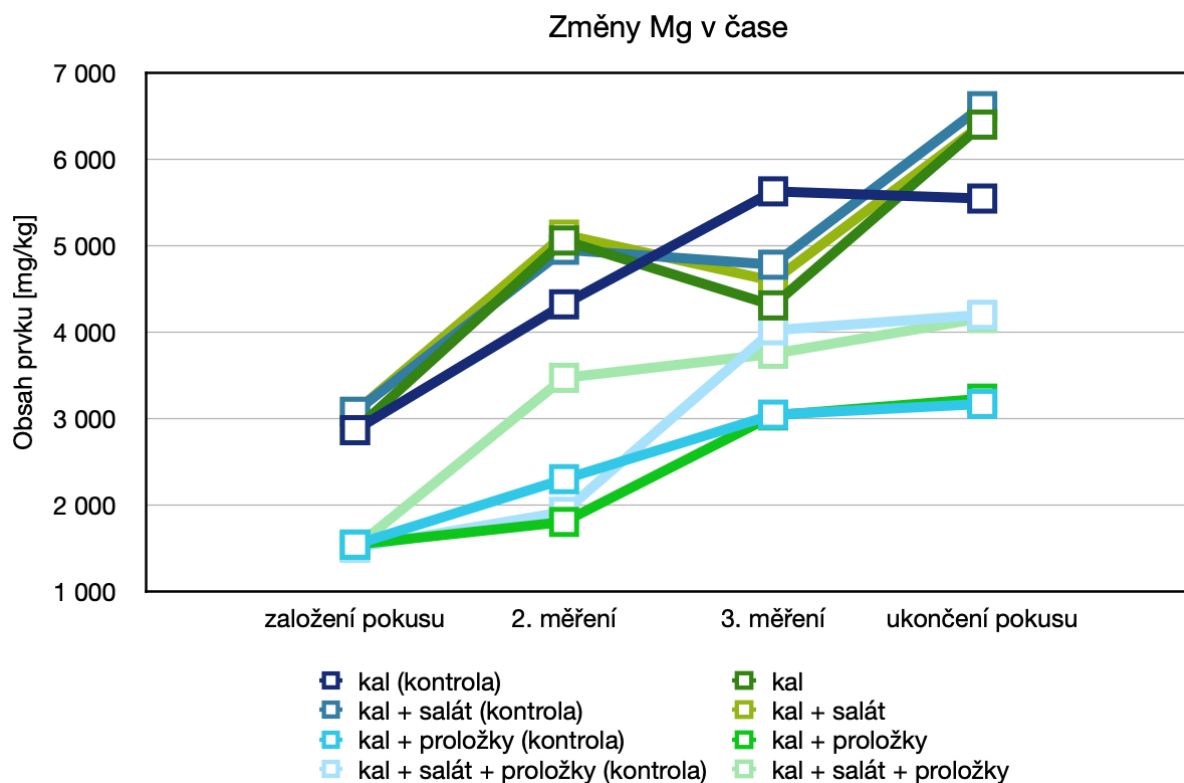
Příloha 12 Změny celkových obsahů Fe v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



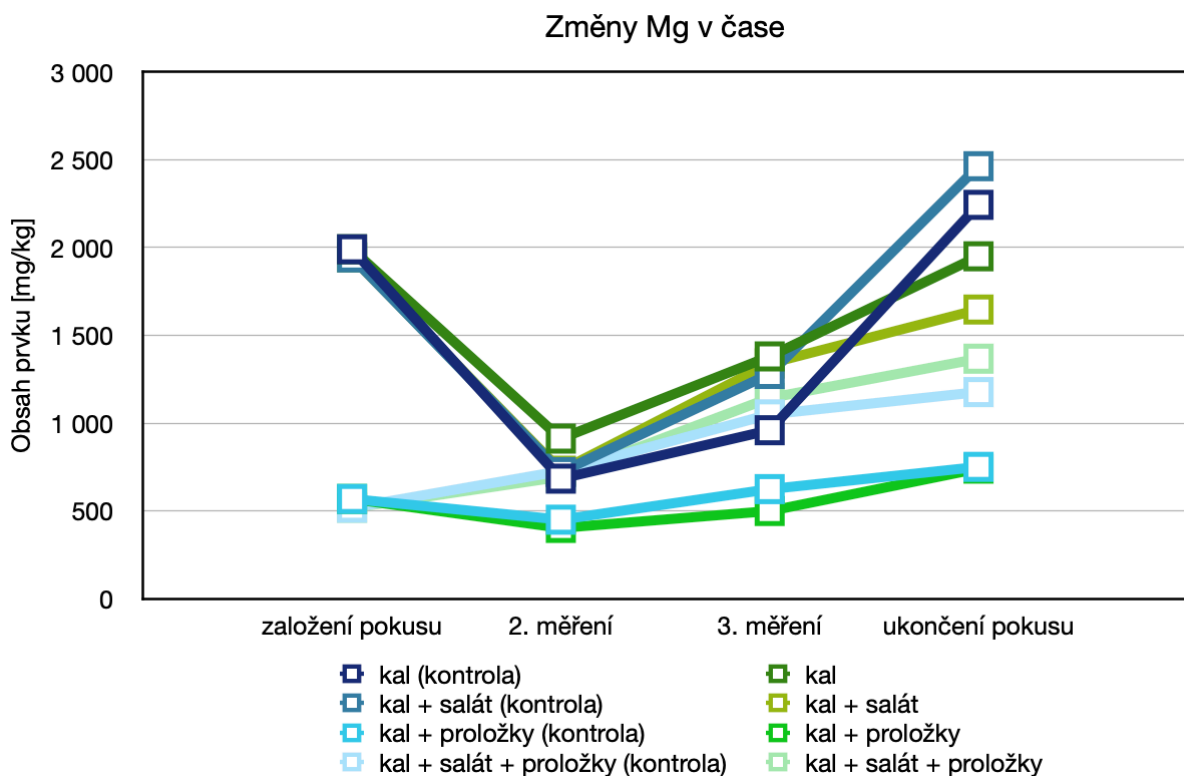
Příloha 13 Změny přístupných obsahů Fe v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



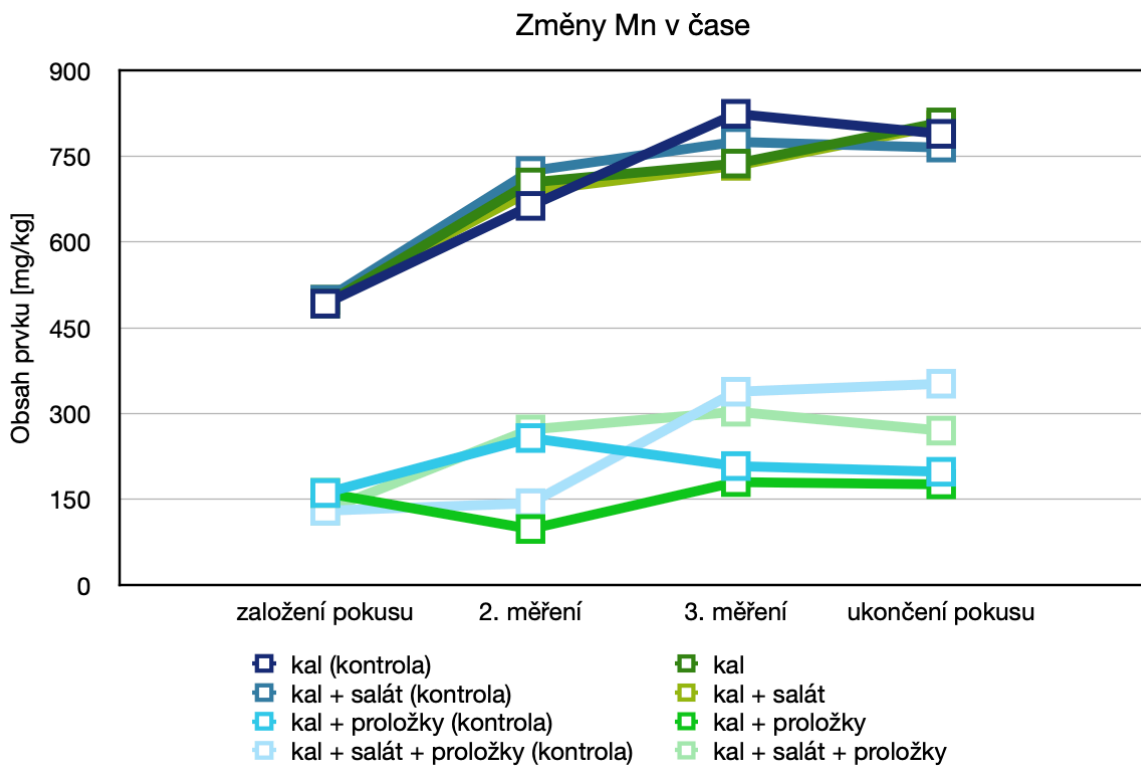
Příloha 14 Změny celkových obsahů Mg v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



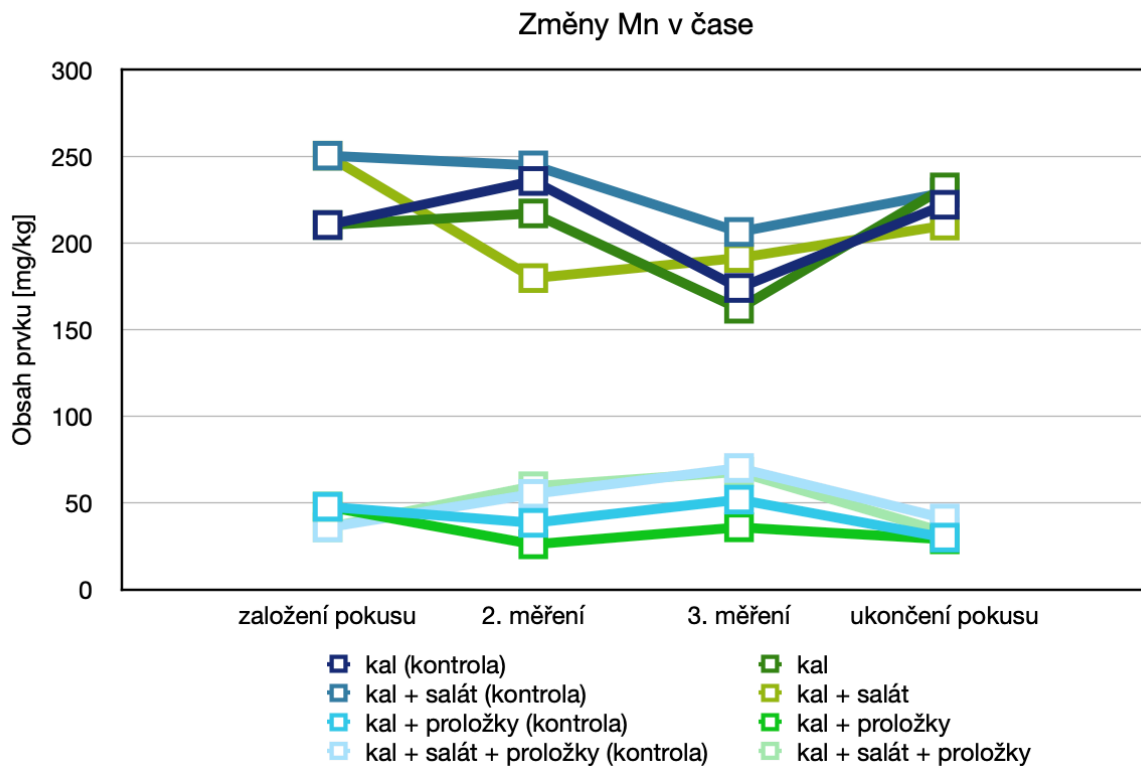
Příloha 15 Změny přístupných obsahů Mg v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



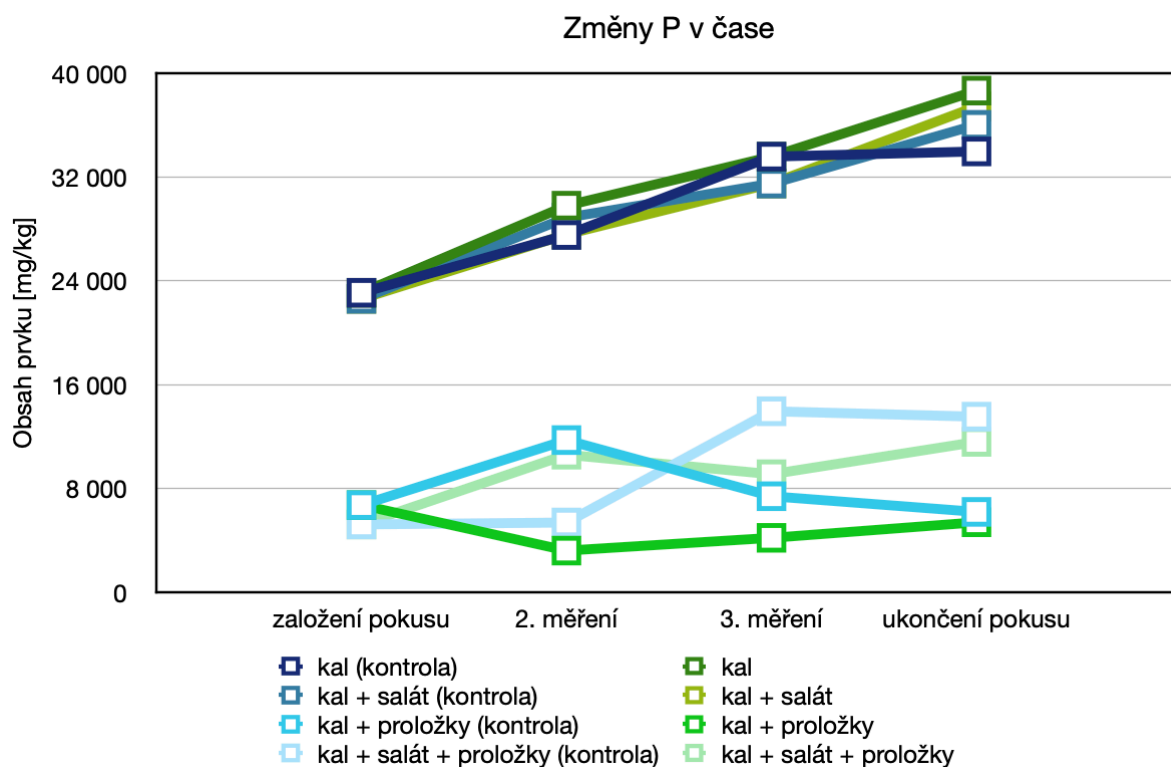
Příloha 16 Změny celkových obsahů Mn v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



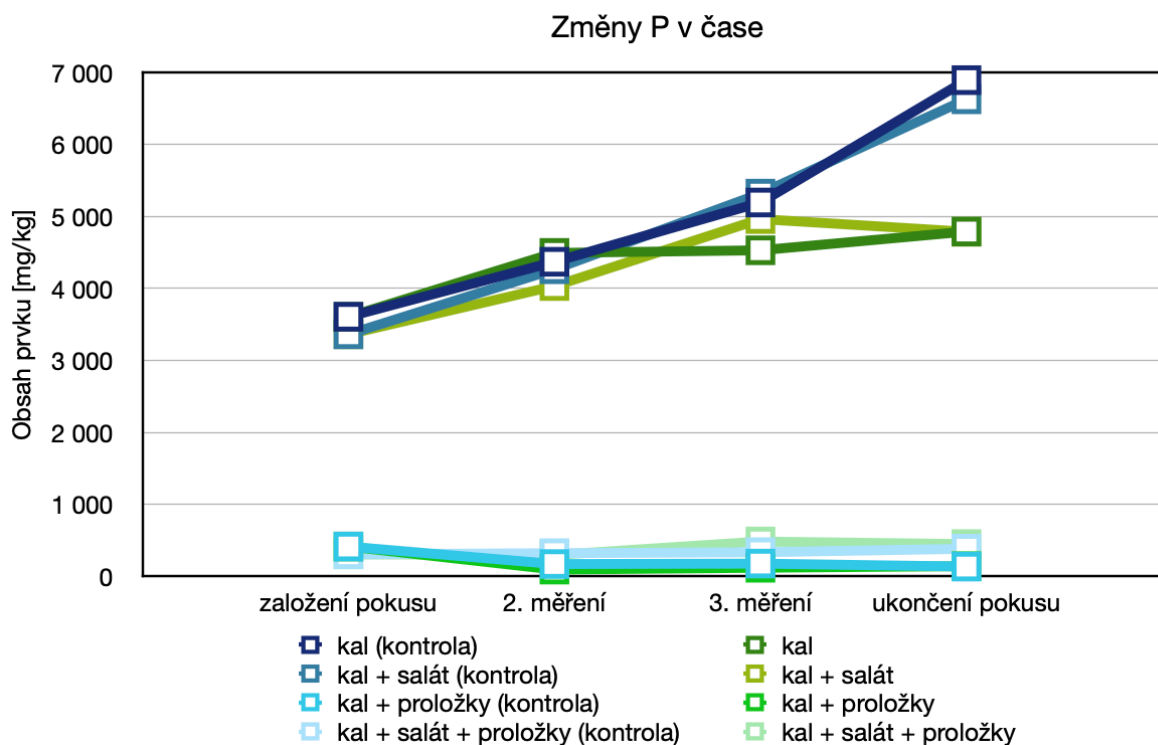
Příloha 17 Změny přístupných obsahů Mn v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



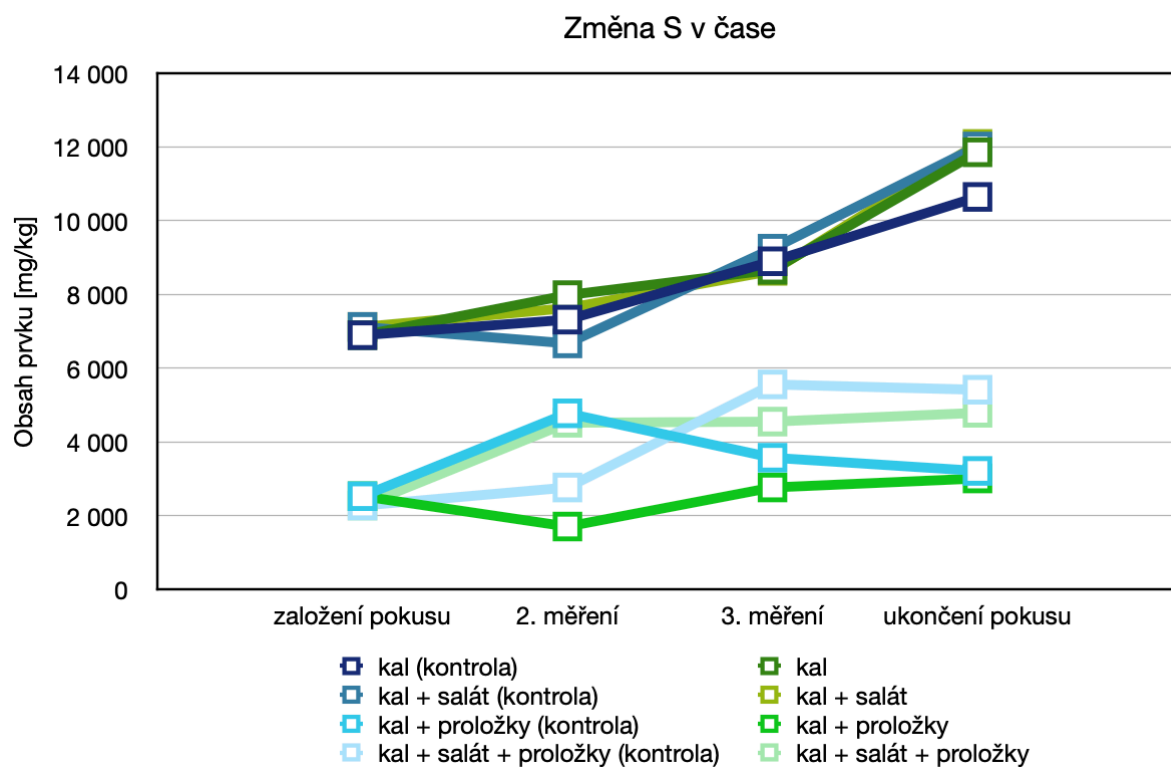
Příloha 18 Změny celkových obsahů P v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



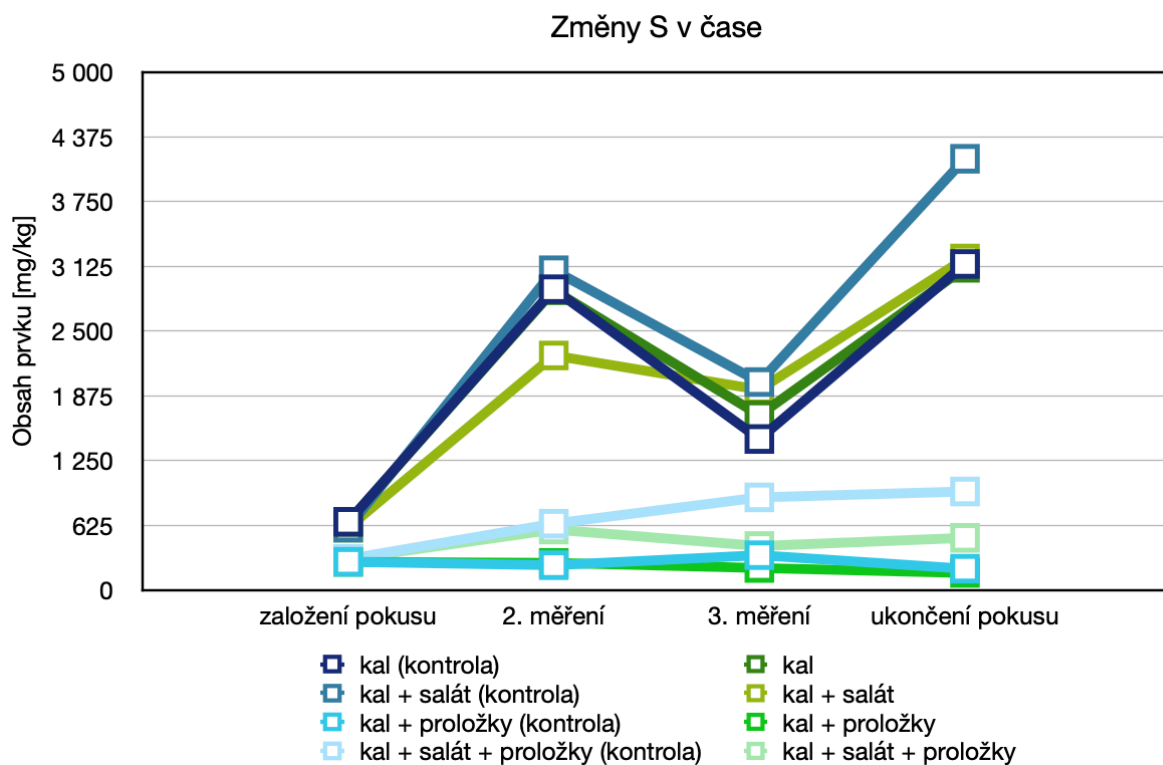
Příloha 19 Změny přístupných obsahů P v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



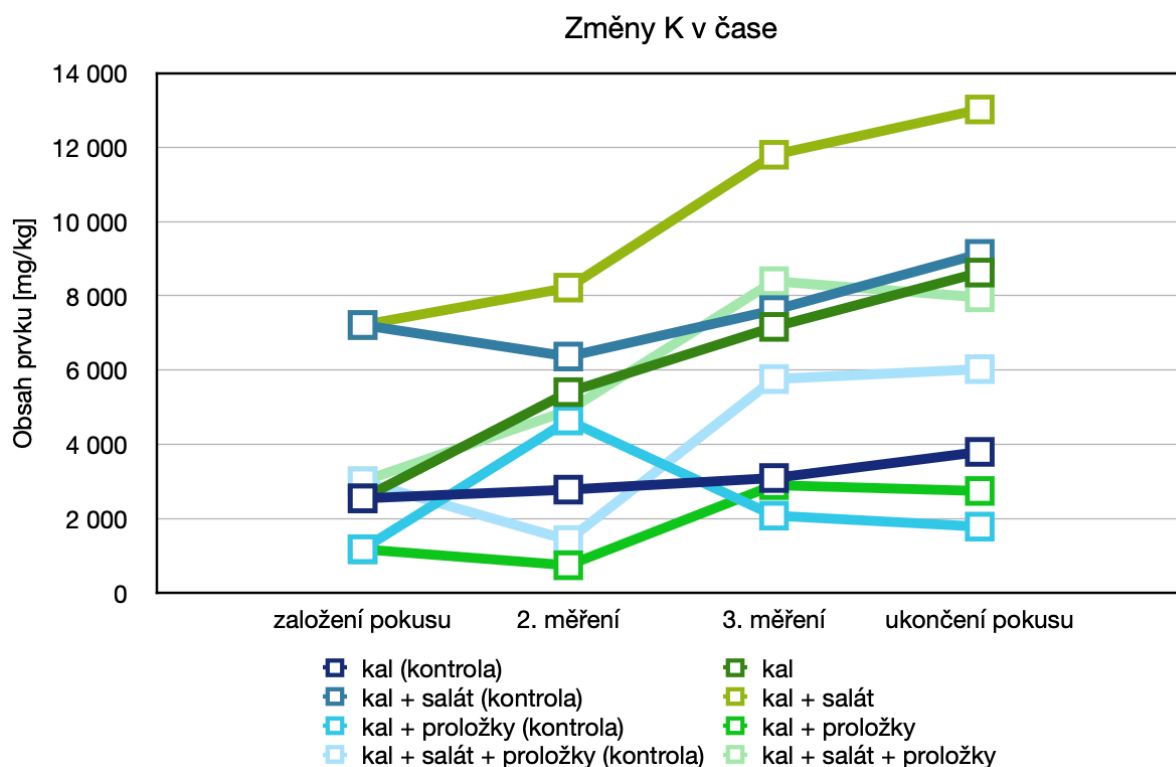
Příloha 20 Změny celkových obsahů S v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



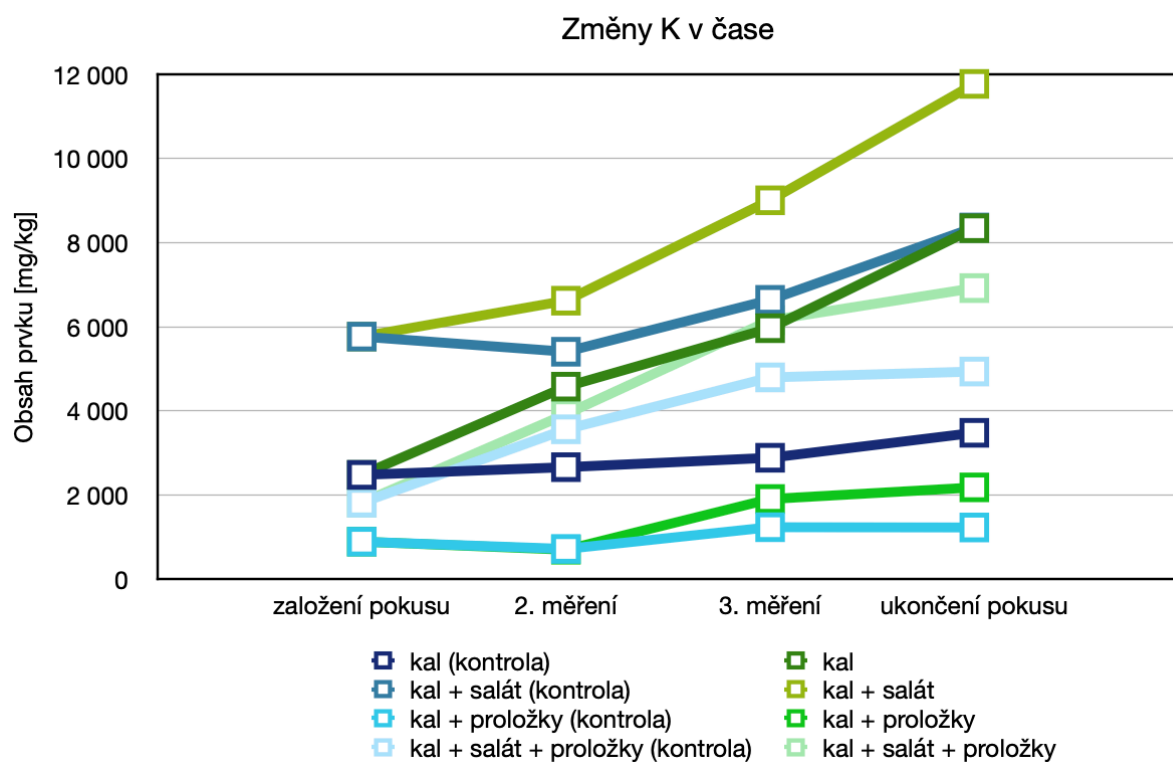
Příloha 21 Změny přístupných obsahů S v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



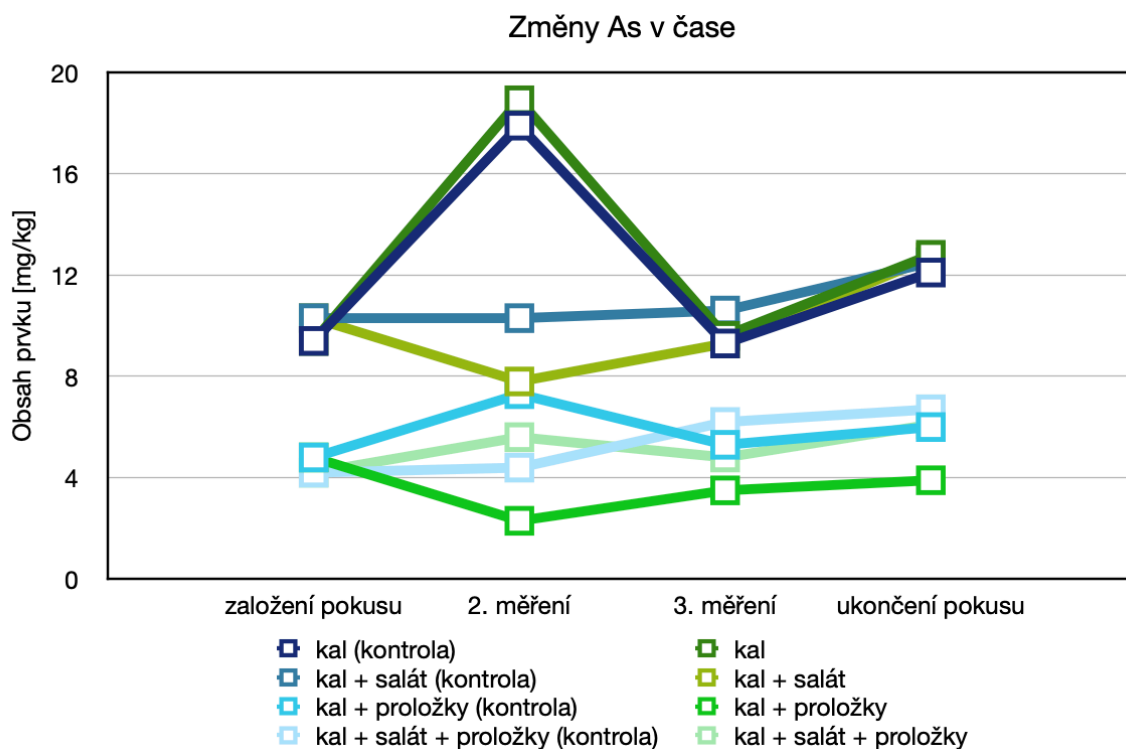
Příloha 22 Změny celkových obsahů K v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



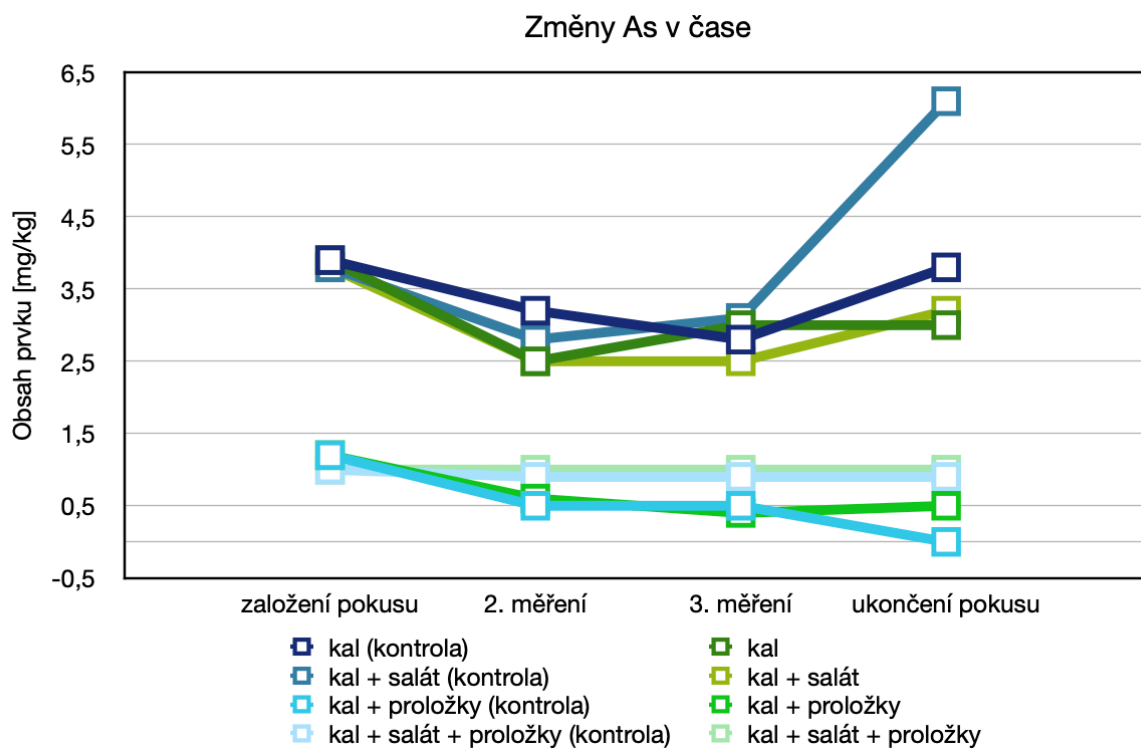
Příloha 23 Změny přístupných obsahů K v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



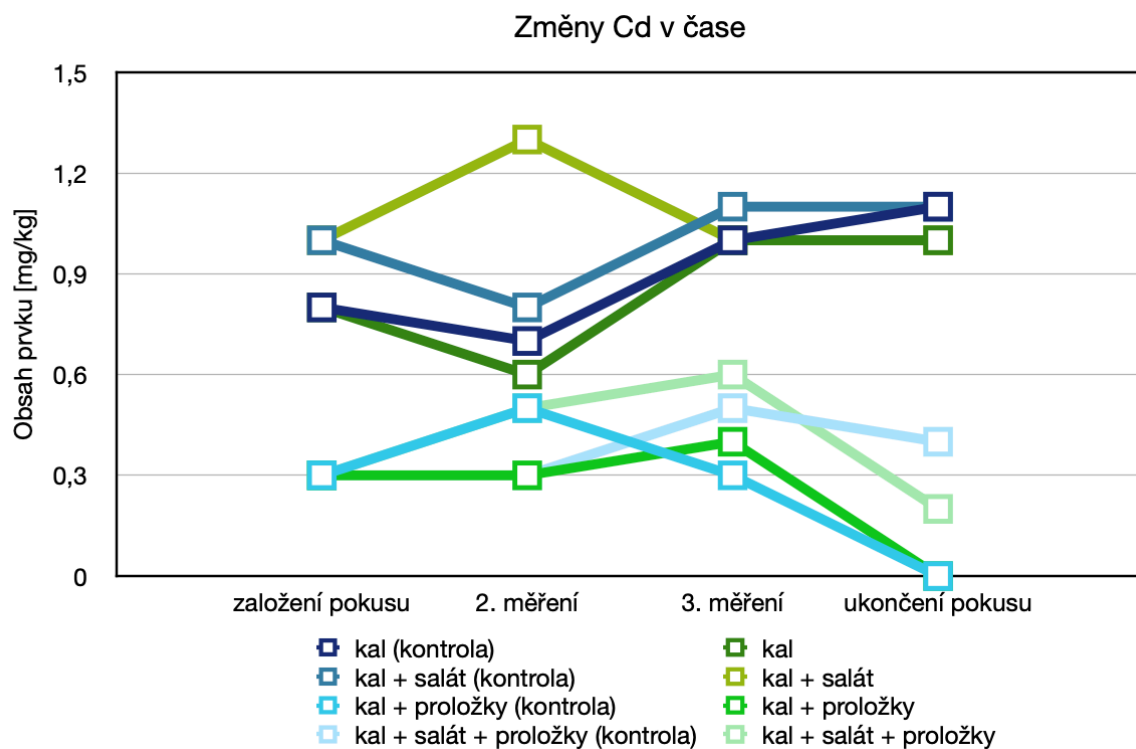
Příloha 24 Změny celkových obsahů As v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



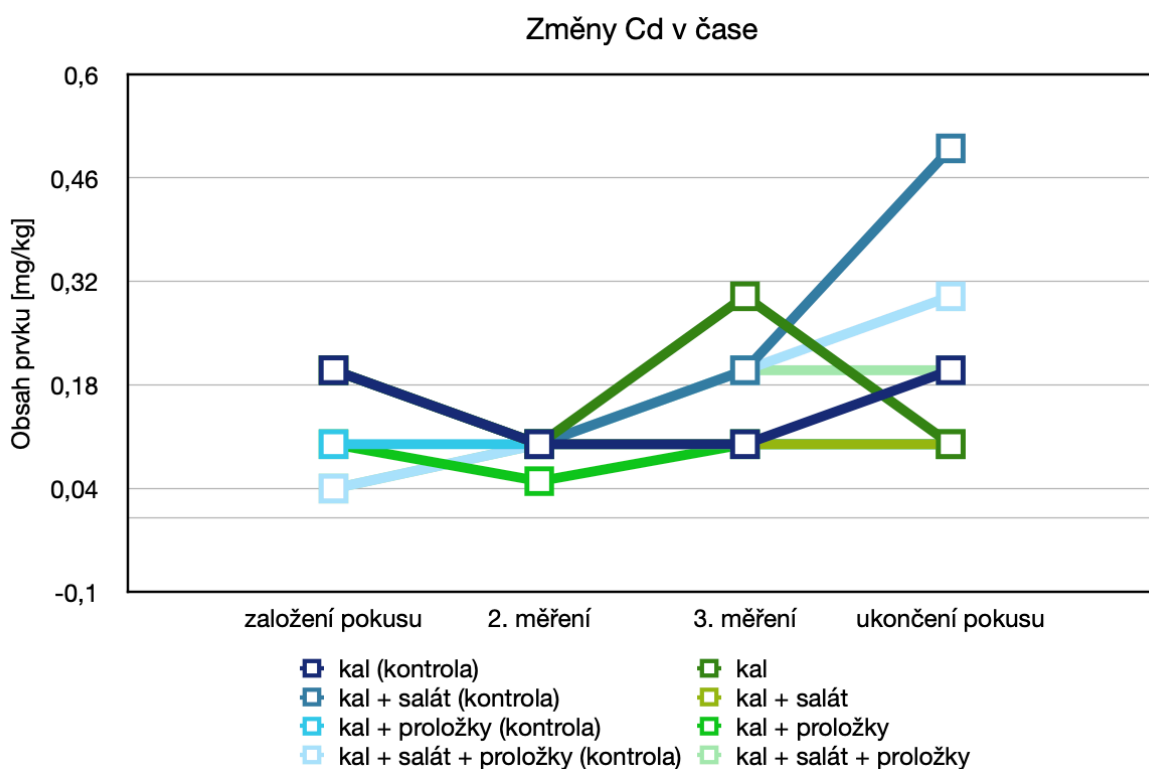
Příloha 25 Změny přístupných obsahů As v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



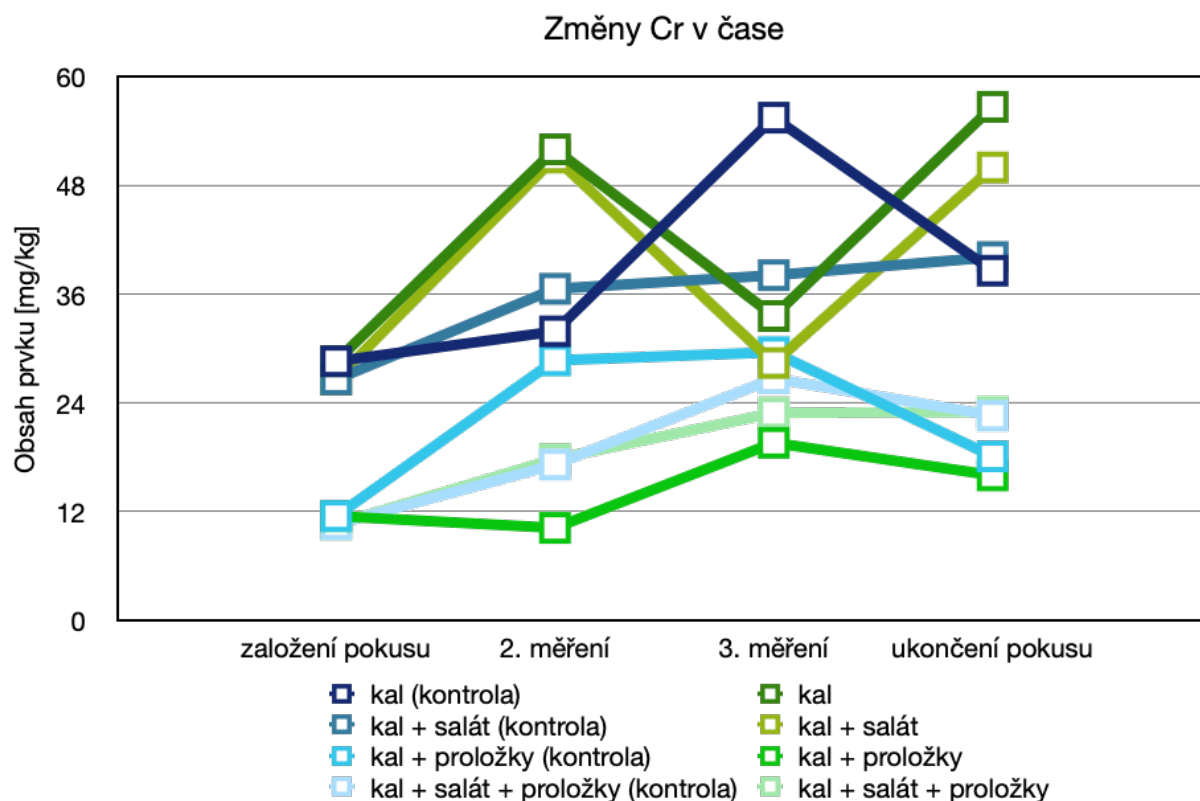
Příloha 26 Změny celkových obsahů Cd v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



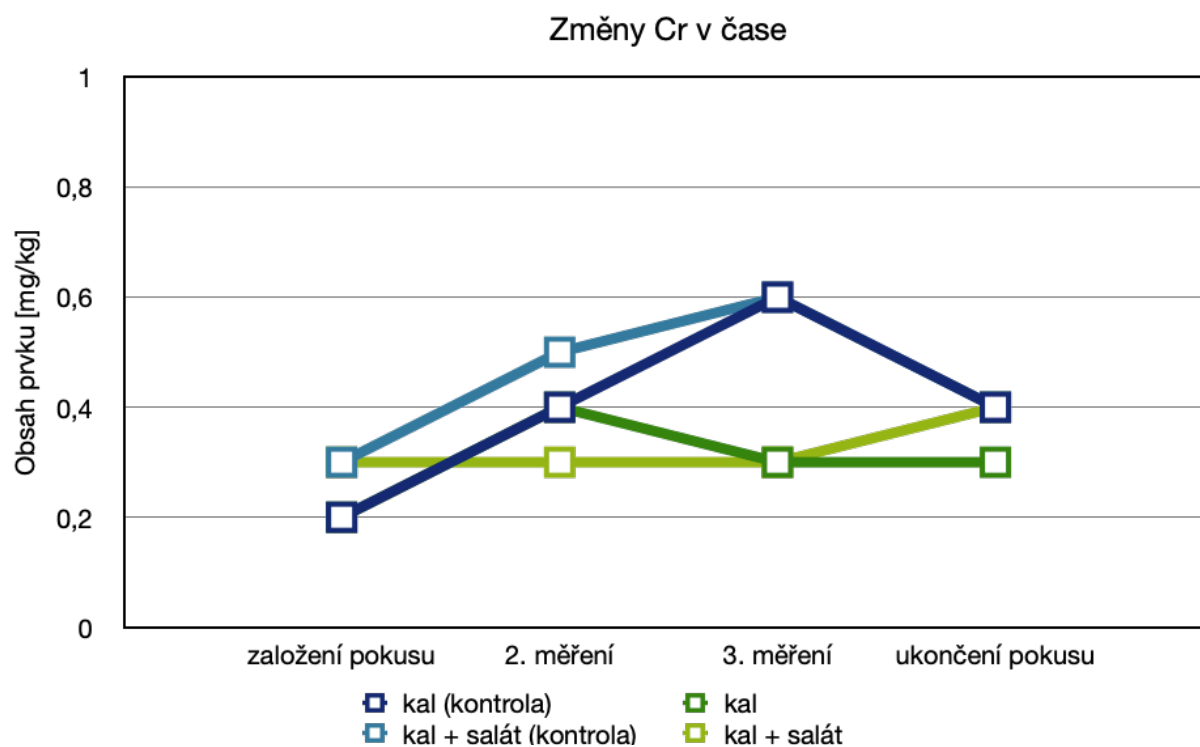
Příloha 27 Změny přístupných obsahů Cd v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



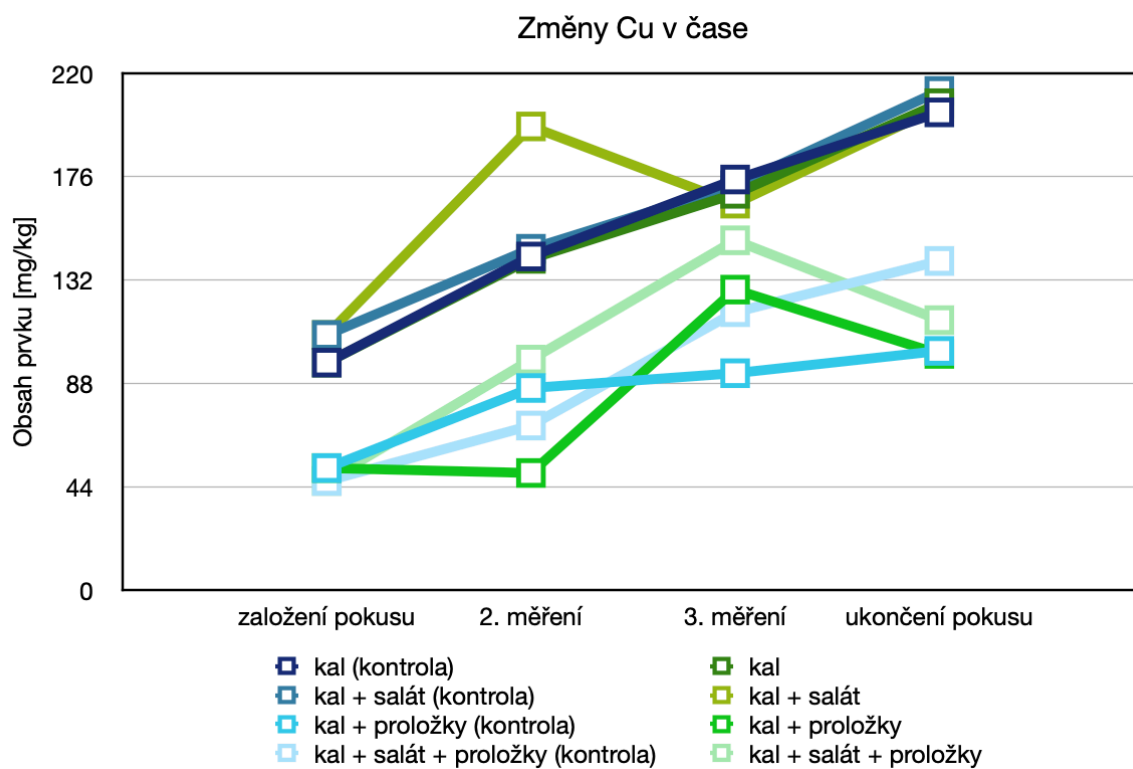
Příloha 28 Změny celkových obsahů Cr v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



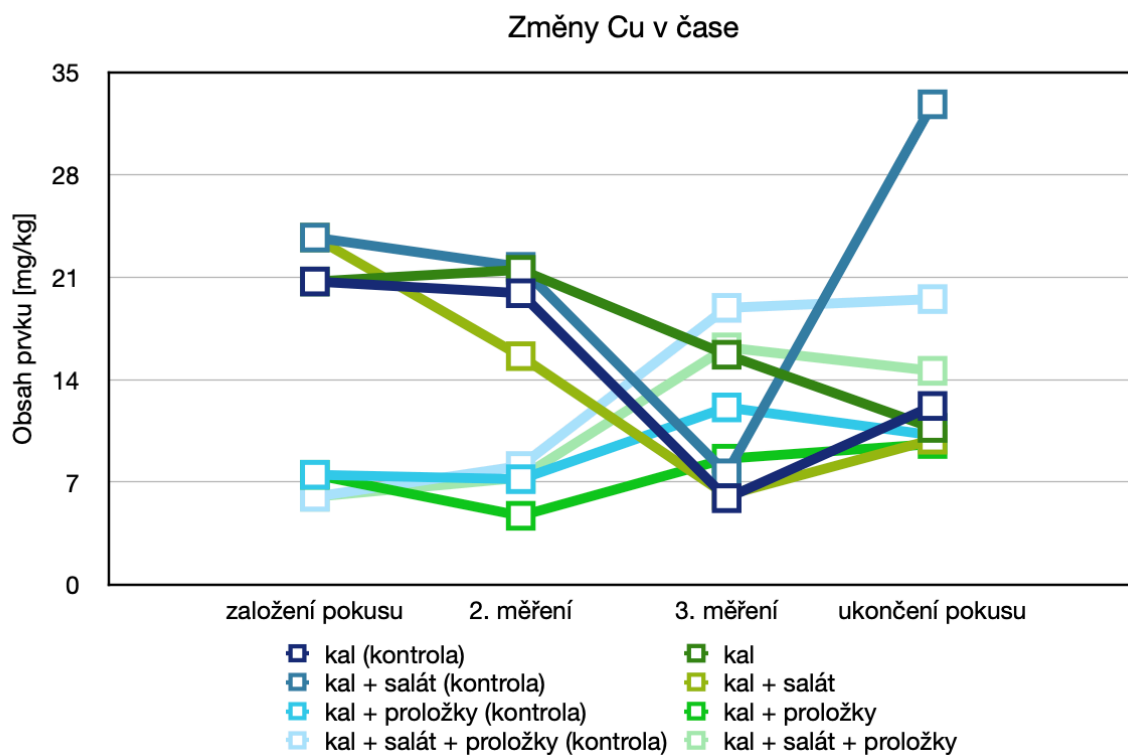
Příloha 29 Změny přístupných obsahů Cr v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty). U variant s proložkami (kontroly i VK) nebyl Cr detekován, proto nejsou součástí grafu.



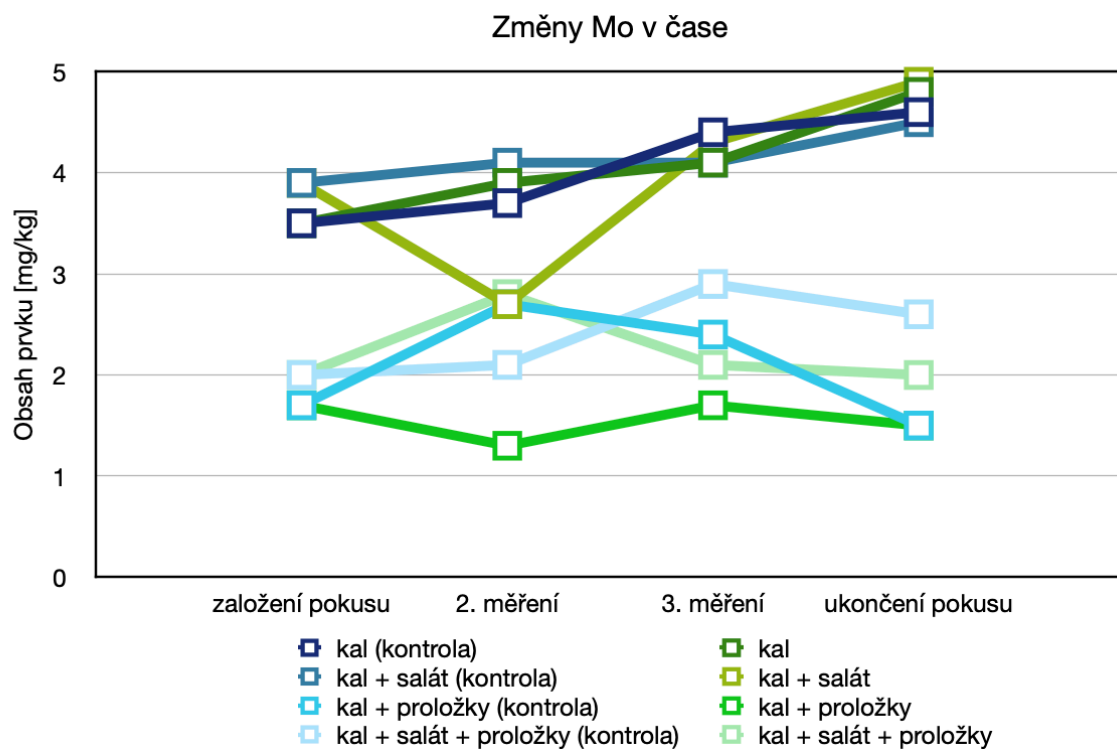
Příloha 30 Změny celkových obsahů Cu v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



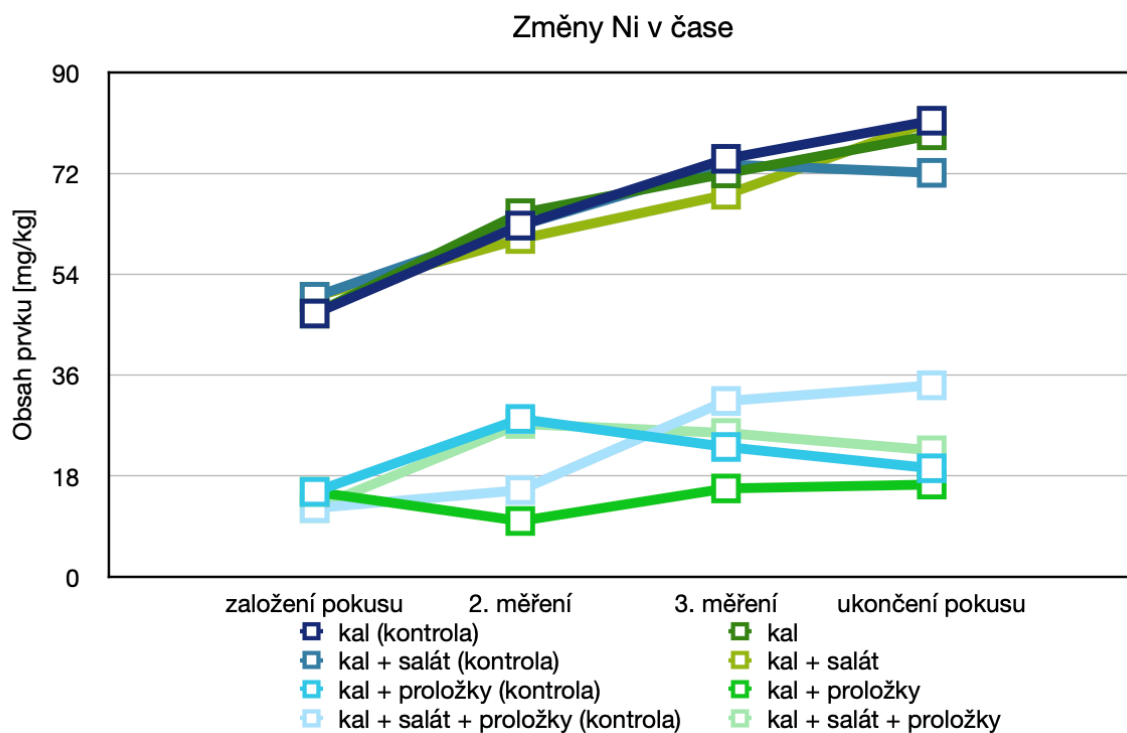
Příloha 31 Změny přístupných obsahů Cu v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



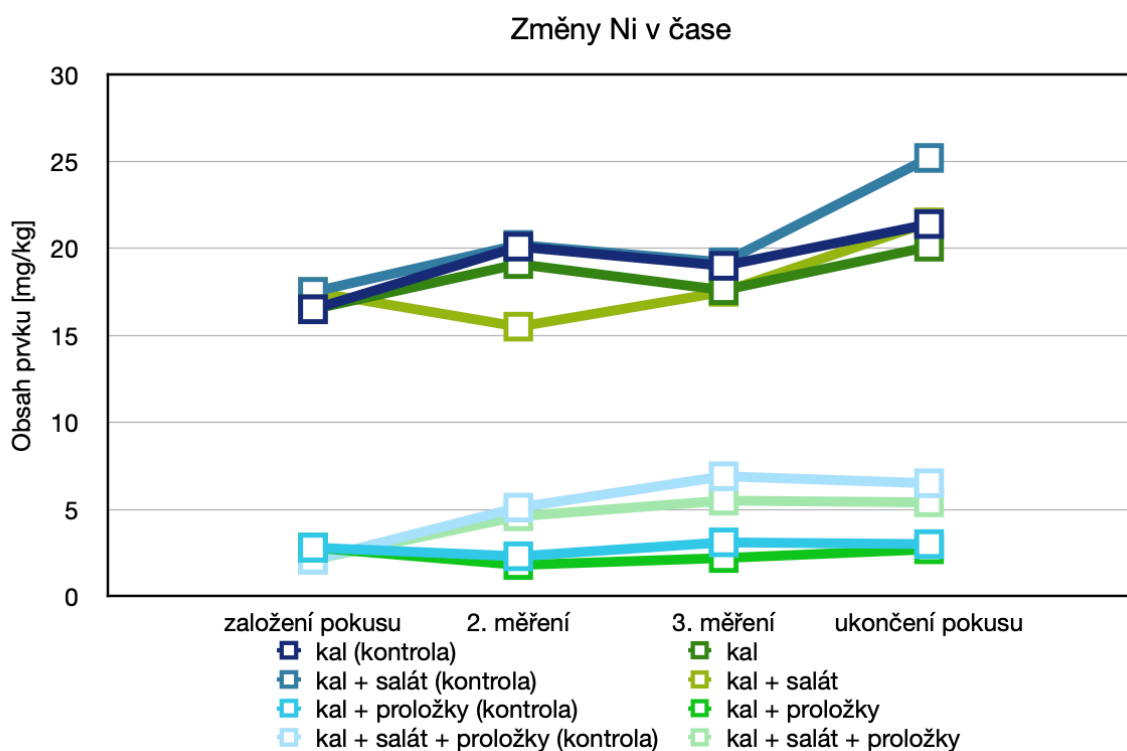
Příloha 32 Změny celkových obsahů Mo v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



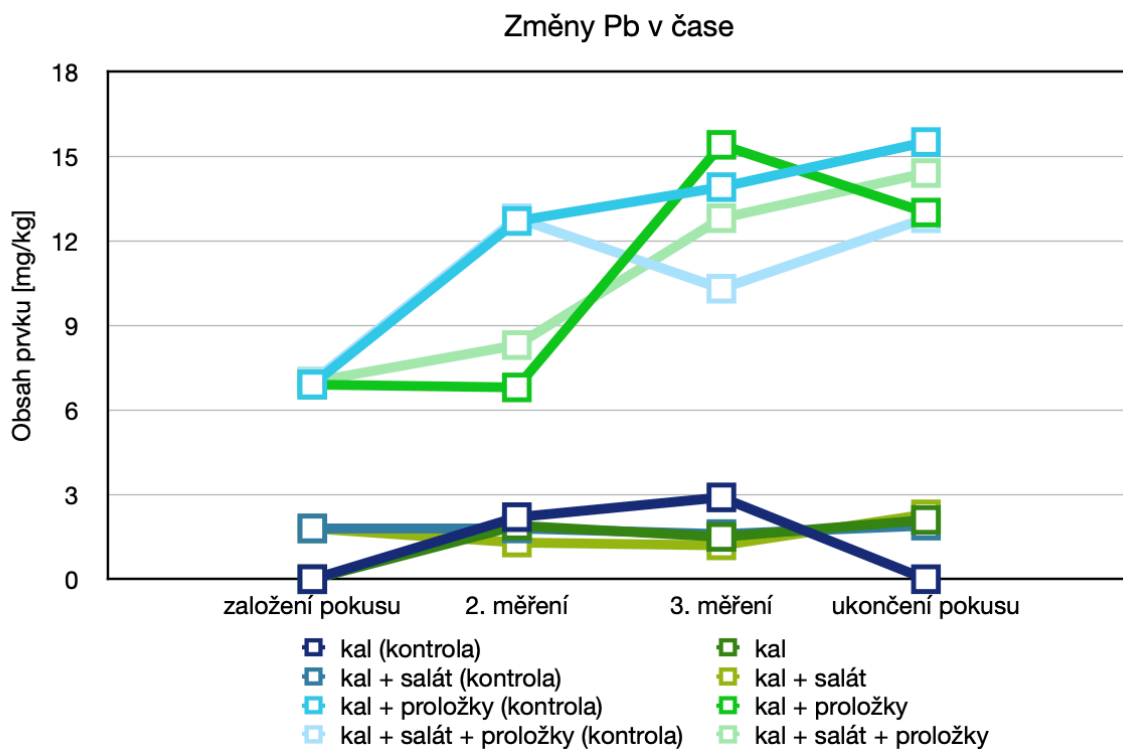
Příloha 33 Změny celkových obsahů Ni v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



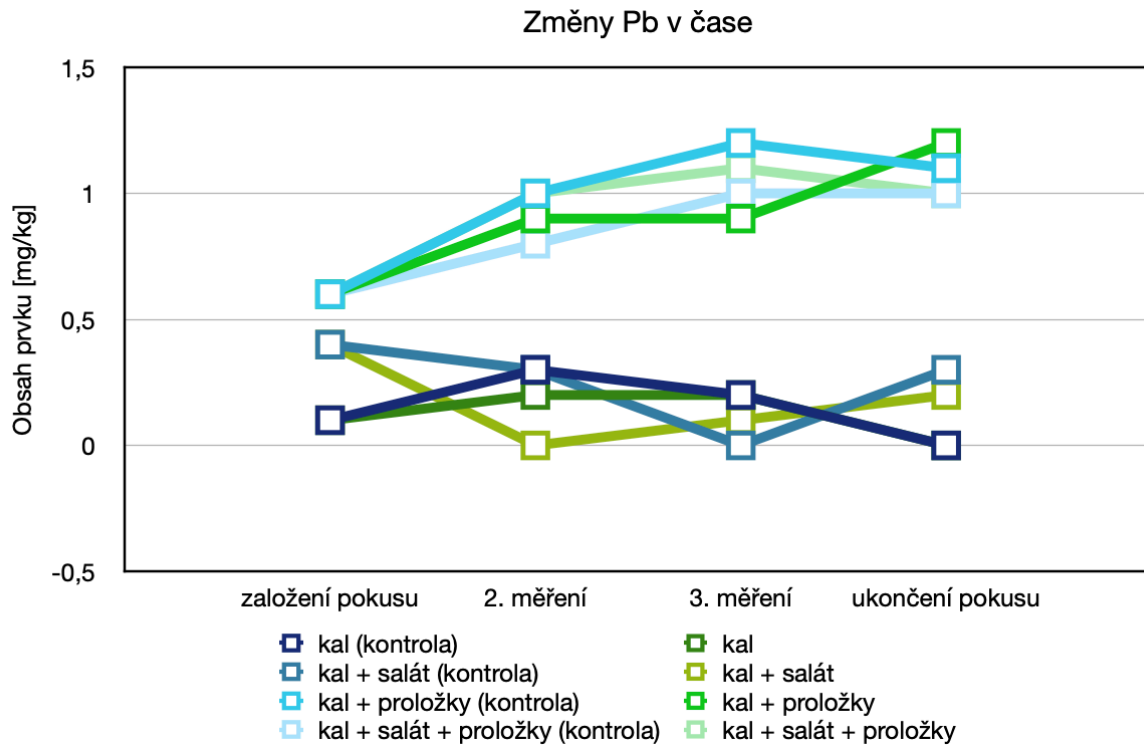
Příloha 34 Změny přístupných obsahů Ni v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



Příloha 35 Změny celkových obsahů Pb v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)

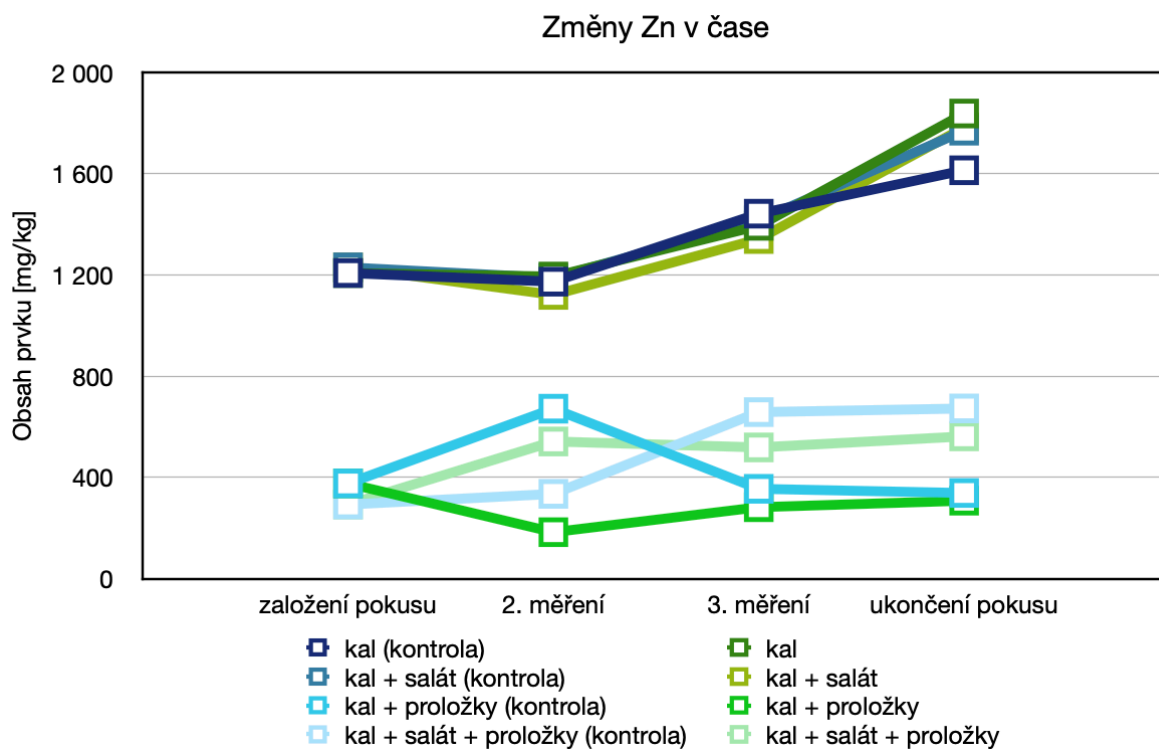


Příloha 36 Změny přístupných obsahů Pb v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)

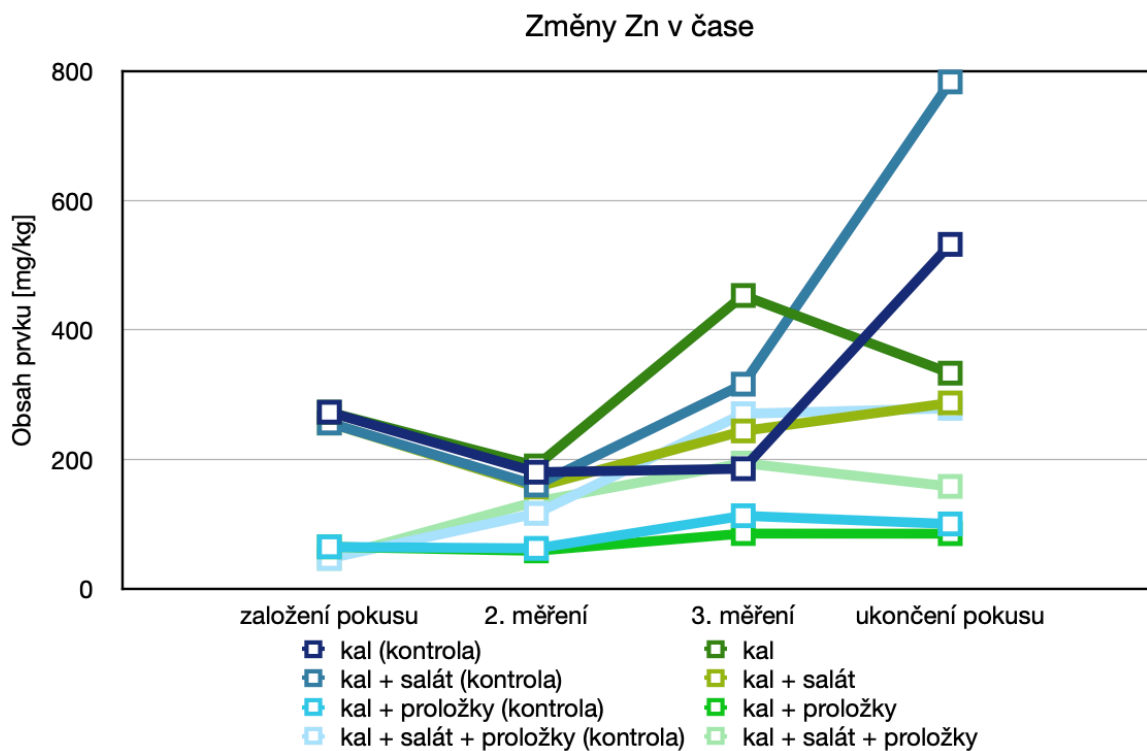


Změny Zn – celkové

Příloha 37 Změny celkových obsahů Zn v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



Příloha 38 Změny přístupných obsahů Zn v průběhu experimentu (modré spektrum znázorňuje kontrolní varianty, zelené spektrum vermikomposty)



Příloha 39 Změřené hodnoty (N, C, H, S, C:N a C:H) vstupních surovin a směsí z elementar vario MACRO cube

Varianta	Datum	Weight [mg]	N [%]	C [%]	H [%]	S [%]	C/N ratio	C/H ratio
salát A	24.3.22	16.9300	4.30	36.52	6.438	0.201	8.4979	5.6731
salát B	24.3.22	18.0570	4.50	36.26	6.450	0.207	8.0503	5.6221
salát C	24.3.22	18.7500	4.20	35.38	6.403	0.172	8.4336	5.5261
proložky A	24.3.22	21.1120	0.19	38.68	6.566	0.061	202.9539	5.8909
proložky B	24.3.22	21.7050	0.29	39.88	6.925	0.046	139.1967	5.7593
proložky C	24.3.22	21.2620	0.20	37.98	6.424	0.050	192.8644	5.9124
kal A	24.3.22	24.4110	6.60	42.95	8.005	0.523	6.5030	5.3648
kal B	24.3.22	22.7940	6.76	43.24	8.165	0.574	6.3975	5.2952
kal C	24.3.22	22.0470	6.62	43.40	8.308	0.568	6.5537	5.2235
kal + proložky A	24.3.22	22.1470	1.21	39.52	6.917	0.133	32.6413	5.7130
kal + proložky B	24.3.22	22.1430	1.89	40.31	7.123	0.161	21.3055	5.6591
kal + proložky C	24.3.22	25.1430	2.84	39.47	7.060	0.232	13.9099	5.5902
kal + salát A	24.3.22	25.0180	6.73	43.37	6.917	0.593	6.4464	6.2691
kal + salát B	24.3.22	22.2050	6.73	43.75	7.037	0.573	6.4976	6.2169
kal + salát C	24.3.22	23.1290	6.69	43.20	6.934	0.571	6.4596	6.2301
kal + salát + proložky A	24.3.22	23.0240	1.10	39.08	5.745	0.127	35.5234	6.8027
kal + salát + proložky B	24.3.22	23.6260	0.89	37.80	5.520	0.106	42.5616	6.8478
kal + salát + proložky C	24.3.22	22.1520	1.61	39.57	5.893	0.149	24.5174	6.7143