

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Petra Franců

Technologie odpadů

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

Konzultant práce: Ing. Matěj Malík, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu" 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 19. dubna 2024

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vednoucím bakalářské práce prof. Ing. Alešovi Hančovi, Ph.D. a konzultantovi Ing. Matějovi Malík, Ph.D. za cenné rady a věnovaný čas při vedení mé diplomové práce. Na závěr chci poděkovat svým rodičům, kteří při mně stáli po celou dobu studia a vždy mě podporovali. Poděkování patří i mé sestře a partnerovi za podporu a trpělivost.

Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu

Souhrn

V rámci diplomové práce je zpracována rešerše zaměřená na výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu. Je definován bioodpad a popsány možnosti jeho zpracování. Dále je v práci rozebírána akvakultura, včetně akvakulturního kalu a jeho kompostování a vermikompostování. Jsou popsány rozdíly mezi výluhy z kompostu a vermikompostu a charakterizovány vlastnosti výluhů z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu. Je vysvětlena hydroponie spolu s vlastnostmi a použitím živných roztoků.

Dále se práce zaměřuje na důkladnou analýzu prvkového složení rostlin bazalky (*Ocimum basilicum*) a kopru (*Anethum graveolens*) pěstovaných v hydroponických systémech s konkrétním zájmem o anorganický živný roztok, vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát. Hlavním předmětem práce je zhodnotit optimální hladiny živin a dalších prvků nezbytných pro růst rostlin v hydroponickém prostředí.

Bazalka pěstovaná v anorganickém živném roztoku dosahovala vyšších koncentrací prvků Ca, Mg, P, Cu a Zn, než když byla pěstovaná v organických variantách (vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát). Nejnižší hodnota Ca byla zjištěna při pěstování v anorganickém roztoku, načež nejvyšší hodnota byla naměřena z 50% fugátu. Nejnižší koncentrace Ca, Mg, P, Zn a Cu byly naměřeny z 100% fugátu a nejmenší koncentrace K z vermivýluhu.

Kopr pěstovaný v anorganickém živném roztoku dosahoval vyšších koncentrací prvků Ca, K, Mg, P, Cu a Zn než pokud byl kopr pěstován v organických variantách, kde byly koncentrace prvků v rostlině nižší. Naopak nejnižší obsahy prvků Ca, Mg, Cu a Zn byly ze 100% fugátu a K a P jsou nejnižší z 50% fugátu.

Také je věnována pozornost stanovení fyzikálně-chemických parametrů hydroponických roztoků, jako je hodnota pH, měrná elektrická vodivost (EC), teplota a koncentrace rozpuštěného kyslíku. Tyto parametry jsou klíčové pro správné fungování hydroponických systémů a optimalizaci životních podmínek pro rostliny.

Diplomová práce přináší nové poznatky o potřebách rostlin v hydroponických systémech a přispívá k dalšímu rozvoji udržitelných zemědělských praktik.

Klíčová slova: Výluh; kompost; vermikompost; technologie; hydroponie

Aquaculture sludge-based vermicompost solutions

Summary

The thesis deals with leachates from vermicomposts based on aquaculture sludge. Biowaste is defined and its processing options are described. Furthermore, the thesis discusses aquaculture, including aquaculture sludge and its composting and vermicomposting. The differences between compost and vermicompost leachates are described and the properties of vermicompost leachates based on aquaculture sludge are characterized. Hydroponics is explained with the properties and use of nutrient solutions.

Furthermore, the work focuses on a thorough analysis of the elemental composition of basil (*Ocimum basilicum*) and dill (*Anethum graveolens*) grown in hydroponic systems with more detailed focus on inorganic nutrient solution, vermicompost, 100% fugate and 50% fugate. The main objective of this work is to evaluate the optimum levels of nutrients and other elements necessary for plant growth in a hydroponic environment.

Basil grown in inorganic nutrient solution achieved higher concentrations of the elements Ca, Mg, P, Cu and Zn than when it was grown in organic variants (vermicompost, 100% fugate and 50% fugate).

The lowest Ca value was found when grown in inorganic solution, whereas the highest value was measured from 50% fugate. The lowest concentrations of Ca, Mg, P, Zn and Cu were measured from 100% fugate and the lowest concentration of K from vermicompost solution.

Dill grown in the inorganic nutrient solution achieved higher concentrations of the elements Ca, K, Mg, P, Cu and Zn than when dill was grown in the organic variants. On the other hand, the lowest elemental concentrations of Ca, Mg, Cu and Zn were from 100% fugate and K and P were lowest from 50% fugate.

Deeper insight is also given to the determination of physicochemical parameters of hydroponic solutions such as pH, specific electrical conductivity (EC), temperature and dissolved oxygen concentration. These parameters are crucial for the proper functioning of hydroponic systems and the optimization of the living conditions for plants.

This thesis provides new insights into the needs of plants in hydroponic systems and contributes to further development of sustainable agricultural practices.

Keywords: leachate; compost; vermicompost; technology; hydroponics

Obsah

1 Úvod	8
2 Vědecká hypotéza a cíle práce	9
3 Literární rešerše	10
3.1 Bioodpad a zpracování bioodpadu	10
3.1.1 Bioodpad	10
3.1.2 Zpracování bioodpadu	10
3.1.3 Kompostování	11
3.1.4 Vermikompostování	12
3.1.5 Anaerobní digesce	13
3.2 Akvakultura a akvakulturní kal	16
3.2.1 Recirkulační akvakulturní systémy	17
3.2.2 Akvakulturní kal	17
3.2.3 Kompostování akvakulturního kalu	18
3.2.4 Vermikompostování akvakulturního kalu	19
3.3 Výluhy z kompostu	20
3.3.1 Biologické úpravy výluhu	21
3.3.2 Fyzikálně chemické úpravy výluhu	22
3.3.3 Kompostový čaj	24
3.4 Výluhy z vermikompostu	25
3.4.1 Výroba, ředění a aplikace výluhů z vermikompostu	26
3.4.2 Zlepšení vlastností a parametrů rostlin pomocí výluhů z vermikompostu	27
3.4.3 Potlačení patogenů pomocí výluhu z vermikompostu	28
3.4.4 Vliv výluhů z vermikompostu na růst a vývoj	28
3.5 Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu	29
3.5.1 Příprava výluhu z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu	30
3.5.2 Vlastnosti výluhů z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu	30
3.5.3 Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu v hydroponii	31
3.6 Hydroponie	31
3.6.1 Živný roztok	32
3.6.2 Příprava vodného roztoku	32
3.6.3 Recyklace živného roztoku	33
3.6.4 Faktory ovlivňující hydroponii	33
3.6.5 Vlastnosti plodin z hydroponie	34
4 Metodika	35
4.1 Prostory pro pěstování rostlin	35
4.1.1 Závlahový systém	35
4.1.2 Mikroklima	35

4.1.3	Osvětlení.....	35
4.2	Použité materiály	36
4.2.1	Anorganický živný roztok	36
4.2.2	Vermikompost	36
4.2.3	Fugát a zředěný fugát	37
4.3	Rostlinný materiál	37
4.3.1	Setí a růst rostlin.....	37
4.3.2	Přesazení rostlin	38
4.3.3	Sklizeň rostlin.....	38
4.4	Analýzy rostlinného materiálu	38
4.4.1	Stanovení celkových prvků	38
4.4.2	Stanovení dusíku, uhlíku, vodíku a síry	39
4.5	Analýzy výživových roztoků	40
4.5.1	Prvkové složení roztoků	40
4.5.2	Fyzikálně chemické parametry roztoků	41
4.6	Statistické zpracování dat	41
5	Výsledky	42
5.1	Výnos plodin.....	42
5.2	Analýzy rostlinného materiálu	43
5.2.1	Prvkové složení rostlin	43
5.2.2	Stanovení dusíku, uhlíku, vodíku a síry	45
5.3	Analýzy roztoků	46
5.3.1	Prvkové složení roztoků	47
5.3.2	Fyzikálně chemické parametry živných roztoků.....	49
6	Diskuze.....	51
6.1	Výnosy rostlin.....	51
6.2	Prvkové složení rostliny	52
6.3	Stanovení CHNS	52
6.4	Prvková analýza roztoků	53
6.5	Fyzikálně chemické parametry roztoků	53
7	Závěr.....	55
8	Literatura	56
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	66
10	Samostatné přílohy.....	I

1 Úvod

V dnešní době lze pozorovat rostoucí zájem v oblasti zemědělství a rostlinného výzkumu o ekologicky šetrné metody hnojení. Jedním z hlavních směrů jsou organická hnojiva, jako jsou komposty a vermikomposty. Komposty a vermikomposty představují alternativní zdroj živin pro rostliny a zároveň přispívají k obohacení půdy o organickou hmotu, což podporuje aktivitu a zdravý růst rostlin.

Během procesu kompostování a vermikompostování vznikají výluhy, což jsou tekuté extrakty a využívají se jako účinná forma organického hnojiva a poskytují cenné živiny pro podporu růstu, vývoje a zdraví rostlin.

Výluhy z kompostů jsou kapalné extrakty získané z kompostu, které jsou produktem rozkladu organické hmoty. Výluhy jsou bohaté na prospěšné mikroorganismy, enzymy a organické sloučeniny, které podporují růst rostlin a chrání je před chorobami.

Existují dva hlavní typy výluhů z vermikompostu: přirozeně vznikající a cíleně produkované. Přirozeně vznikající výluhy jsou vedlejším produktem procesu vermikompostování, kdy organické materiály jsou zpracovávány pomocí žížal a mikroorganismů, což vede k uvolňování živin a organických látek do okolního prostředí. Naopak cíleně produkované výluhy jsou vyráběny za účelem získání specifických živin a organických látek z vermikompostu pro účely hnojení a podpory růstu rostlin. Tyto výluhy jsou získávány procesem extrakce nebo fermentace a jsou aplikovány jako koncentrovaná hnojiva nebo stimulanty růstu, aby poskytovaly rostlinám potřebné živiny a podporovaly jejich zdravý růst a vývoj. Oba tyto typy výluhů mají své specifické vlastnosti a využití v zemědělství a zahradničení.

Stále stoupající zájem o tato organická hnojiva je odrazem snahy o udržitelnější přístup k zemědělství, zemědělské produkci a ochraně životního prostředí. Komposty a vermikomposty hrají klíčovou roli v ochraně půdy před degradací a přispívají k podpoře biodiverzity prostřednictvím zvyšování obsahu organické hmoty v půdním substrátu. Výluhů z kompostů a vermikompostů jsou využívány pěstiteli v rámci ekologického zemědělství.

V hydroponických systémech se zatím moc nevyužívají, ale po zvládnutí překážek, které jsou s nimi spojeny, by mohl tento postup získat větší perspektivu.

2 Vědecká hypotéza a cíle práce

Cílem diplomové práce je popsat problematiku výluhů z kompostu a vermikompostu a výluh z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu testovat v hydroponii.

Hypotézy:

1. Dle studií mají výluhy z vermikompostu lepší vlastnosti než výluhy z kompostu.
2. Výluhy z vermikompostů zlepšují kvalitativní parametry rostlin.

3 Literární rešerše

3.1 Bioodpad a zpracování bioodpadu

3.1.1 Bioodpad

Jednou z hlavních výzev, kterým dnes lidstvo čelí je rostoucí produkce pevného odpadu. Důsledkem zvyšování množství pevných odpadů je rostoucí energetická potřeba pro jejich účinné nakládání a s tím se opět zvyšuje množství emisí spojených s vlivem na globální oteplování. Bioodpad tvoří významnou část tuhého komunálního odpadu a jeho oddělený sběr je nezbytný pro zlepšení systémů nakládání s odpady v rozvojovém i rozvinutém světě. Sběr bioodpadu a jeho následná recyklace snižuje dopady na životní prostředí (Pavlas et al. 2020).

Bioodpad obecně představuje vedlejší produkt nebo nekonzumatelný organický zbytek z živočišných či rostlinných zdrojů. Bioodpad tvoří biologicky rozložitelnou složku a zaujímá významnou část odpadů vznikající v komunální sféře. Vzniká v mnoha odvětví například z potravinářského průmyslu, ze zemědělství, komunálního odpadu a podobně. Kvalita bioodpadu přímo souvisí s jeho původem z důvodu určování jeho obsahu a přítomností možných těžkých kovů či nevhodných složek. Obsah těchto látek pak přispívá k nižší kvalitě kompostu (Sbírka zákonů 2021).

Mezi příklady biologického odpadu patří vedlejší živočišný tuk, kaly z čistíren odpadních vod a dále také produkty zemědělství jako listí, skořápky a veřejná zeleň. I když jsou tyto suroviny považovány za odpad, obsahují vysoké množství cenných látek a sloučenin (Tammekivi et al. 2023).

3.1.2 Zpracování bioodpadu

Bioodpad je typicky tvořen kuchyňskými zbytky z domácností, restaurací nebo potravinářských provozů. Z potravinového řetězce se přibližně jedna třetina vyrobených potravin ztrácí jako odpad, což představuje hrozbu pro životní prostředí. Jeho množství se neustále zvyšuje a vytváří problém s následnou likvidací. Dále oblasti, jako například dřevařský průmysl, lesnictví a zemědělství, produkují biologický odpad ve velkém množství, které dále je možné využívat pro oběhové hospodářství. Bioodpad má mnoho využití a díky tomu vznikají vysoce hodnotné bioprodukty (Vea et al. 2018; Tammekivi et al. 2023).

Bioodpad je díky svým vlastnostem pokládán za udržitelný a obnovitelný zdroj energie. Například bioodpad s vysokým obsahem celulózy, škrobu či hemicelulózy může fungovat jako levná surovina pro výrobu energie. Využívají se různé fyzikálně-chemické nebo biologické metody. Poptávka po výrobě energie roste, neboť při spalování či skládkování bioodpadu se uvolňují různé plyny, které mají negativní vliv na životní prostředí (Bhatia et al. 2018; Pavlas et al. 2020).

Při odkládání bioodpadu do určených hnědých popelnic dochází k snižování množství bioodpadů, které se dostane na skládku. Při skládkování vzniká metan, který se řadí mezi skleníkové plyny. V rozvojových zemích je standardní způsob likvidace bioodpadu skládkování (Bhatia et al. 2018; Pavlas et al. 2020).

Bioodpad lze kompostovat či vermikompostovat a při těchto procesech vzniká velmi kvalitní hnojivo, které je možné využít pro další pěstování. Tříděný biologicky rozložitelný odpad představuje kvalitnější surovinu pro výrobu hnojiv než materiál, který byl získaný mechanickou separací tuhého komunálního odpadu. Kvalita kompostu však závisí na mnoha faktorech. Kvalitní kompost či vermikompostu dodává do půdy potřebné živiny, které jsou žádoucí pro zdravou a kvalitní půdu. Společná integrace těchto dvou procesů dostává stále více pozornosti, kdy během termofilního kompostování dochází k hygienizaci odpadu a eliminaci toxických sloučenin a vermikompostování snižuje velikost částic a dochází ke zvýšení dostupnosti živin (Rodrigues et al. 2020).

3.1.3 Kompostování

Kompostování je jedním ze způsobů, jak lze nakládat s biologicky rozložitelnými odpady. V posledních letech přitahuje velkou pozornost, neboť se jedná o ekologicky a ekonomicky rozumnou alternativu při zpracování organického komunálního odpadu. Kompostování pro člověka představuje bezpečný, účinný a levný zdroj organických hnojiv pro zemědělskou produkci. Je používán pro neškodné zpracování a využití zdrojů organického odpadu nejen kvůli jeho jednoduchému procesu, ale i relativně nízkým provozním i investičním nákladům. Mezi kompostovatelné suroviny je zařazen veškerý zahradní odpad, dále kuchyňský bioodpad nebo například kaly. Do kompostu určitě nepatří maso, ryby, mléčné výrobky, uhynulá zvířata a podobně. Proces přináší celou řadu výhod, například se jedná o velmi šetrný proces k životnímu prostředí, dochází k omezení skládkování a je získáván produkt, který zlepšuje vlastnosti půdy. Bohužel je proces doprovázen i nevýhodami, které představují produkci výluhů, emisí a možného zápachu nebo následnou starost s hotovým kompostem (Partanen et al. 2010; Sánchez et al. 2017; Yin et al. 2023).

Jedná se o tradiční technologii zpracování organického odpadu, kdy je organický materiál degradován na vysoce kvalitní kompost. Organická hmota se přemění na huminy, humusové kyseliny a fulvokyseliny. Proces se provádí za aerobních a dalších důležitých faktorů, včetně přítomnosti mikroorganismů. Důležitými parametry při kompostování je vlhkost, teplota, obsah kyslíku, hodnota pH a další. Kompostování prochází třemi teplotními režimy, přičemž nejvyšší teploty se pohybují okolo 65 °C. Všechny tyto parametry spolu úzce souvisí a ovlivňují jak proces, tak i kvalitu konečného produktu (Sánchez et al. 2017; Muscolo et al. 2018).

Velký význam při procesu kompostování mají mikroorganismy. Mezi hlavní zástupce, kteří se podílejí na rozkladu organické hmoty, jsou mikroorganismy, houby a aktinomycety. Celková mikrobiální diverzita se může lišit v závislosti na kompostovacích materiálech. Při kompostování musí být zabezpečeny optimální podmínky pro rozvoj těchto mikroorganismů (Chandna et al. 2013).

Kompost je finální produkt, který vzniká při procesu kompostování. Kompost by měl být stabilní, bohatý na živiny, má zlepšit kvalitu půdy a zajistit vyšší výnosnost a je možné využít v zahradnictví a zemědělství. Musí splňovat určité kvalitativní normy, které ovlivňují jeho aplikace a použití. Vyhláška č. 312/2021 Sb. Představuje vyhlášku, kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve

znění pozdějších předpisů, udává požadavky na složení hnojných produktů EU. Kvalita a stabilita kompostu závisí na proměnných parametrech, jako jsou vstupní suroviny, doba zrání a další (Sánchez et al 2015; Rodrigues et al. 2020, Sběrka zákonů 2021).

Kompostování je bohužel proces, při kterém vznikají plynné emise a zápach. Skleníkové plyny jako oxid uhličitý, metan a oxid dusný mají zvláštní význam pro globální oteplování. Dále uniká do okolí amoniak, ale ten se za skleníkový plyn nepovažuje. Obvykle je ale monitorován, protože způsobuje kyselý dešť a zápach. Emise z kompostovacích procesů jsou závislé na druhu a složení odpadu. Úniky skleníkových plynů lze regulovat pomocí bioreaktorů (například biofiltry a podobně) (Sánchez et al. 2015).

Při kompostování vznikají také výluhy. Chemické a fyzikální vlastnosti výluhu záleží na složení kompostu, podmínkách a průběhu kompostování. Výluhy vznikají v počáteční fázi procesu, kdy dochází k uvolnění přebytečné kapaliny a cíleně, kdy se kompostovací čaj získává ze zralého kompostu (Sánchez et al. 2017).

3.1.4 Vermikompostování

Vermikompostování tuhého komunálního odpadu je efektivní a rychlou technikou pro účinné nakládání s pevnými organickými odpady s minimálním vznikem skleníkových emisí. Při vermikompostování vzniká vermikompost, který je bohatý na rostlinné živiny a neobsahuje patogenní organismy. Využití vermikompostu snižuje spotřebu anorganických hnojiv a zabrání degradaci půdy. Vermikompostování je vhodnou příležitostí pro bezpečnou, hygienickou a nákladově efektivní likvidaci. Při opětovném použití tohoto druhu odpadu může rostlinám dodat živiny, zvýšit jejich úrodnost a zlepšit fyzikálně-chemické a biologické vlastnosti půdy. Občas je nutné odpady nejprve upravit, neboť mohou obsahovat patogenní mikroorganismy nebo toxické polutanty. Pro vermikompostování je zásadní teplota, vlhkost a hustota osídlení žížal (Hait & Tare 2011; Singh et al. 2011; Yadav & Garg 2011).

Při procesu vermikompostování dochází k rozkladu organické hmoty, kdy se nestabilizovaná organická hmota stabilizuje. Celý tento proces je doprovázen intenzivní kombinovanou činností žížal a mikroorganismů. Žížaly dokážou spotřebovávat různé organické odpady, jako je zvířecí trus, čistírenské kaly nebo průmyslový odpad (Hait & Tare 2011; Singh et al. 2011).

Vermikompostování se liší od kompostování teplotou, kdy maximální teplota při vermikompostování dosahuje maximálně 25 °C, při vyšších teplotách dochází k snížení činnosti a úhynu. Žížaly obsahují až 90% vody, tudíž potřebují k životu vlhké prostředí, kdy vlhkost se pohybuje okolo 80 %. Žížaly jsou velmi citlivé na obsah solí, bílkovin, pesticidů či amoniaku a vyžadují neutrální hodnotu pH. Žížaly také potřebují ke svému životu dostatek vzduchu (Hait & Tare 2011).

Oproti kompostování jsou u tohoto procesu žížaly, které zabezpečují překopávání, aeraci a fragmentaci. Podmínky prostředí a množství žížal mají zásadní vliv na celý průběh procesu, na jejich hmotnost, rychlost růstu i produkci potomstva. Na světě existuje přes 5000 druhů žížal a nejčastěji se pro vermikompostování využívají *Eisenia andrei*, *Eisenia fetida*, *Dendrobena veneta*, *Perionyx excavatus*. Důležité je vybrat správný druh, neboť i to má důležitý vliv na celý proces. Množství vyprodukovaného vermikompostu závisí na dostupnosti vhodné organické hmoty. Žížaly během procesu požírají, melou a tráví

organickou hmotu a pomocí mikroflóry ve svých střevech přeměňují materiál na mnohem jemnější, zvlhčený a mikrobiologicky aktivní materiál. Živiny ve vzniklém vermikompostu závisí na kvalitě krmných surovinách pro žížaly (Gupta 2009; Hait & Tare 2011).

Vermikompost má na rozdíl od kompostu vyšší schopnost zadržovat vlhkost, lepší schopnost zadržovat v půdě živiny, zajišťuje lepší půdní strukturu a je zde vyšší úroveň mikrobiální aktivity. Vermikompost je kvalitnější produkt, co se týče živin než klasický kompost. Kompost obsahuje větší množství amoniaku, zatímco vermikompost má tendenci obsahovat vyšší množství dusičnanů, což je pro rostliny dostupnější forma dusíku. Využití vermikompostu zabraňuje degradaci půdy a přispěje k ekonomice snížením zátěže anorganickými hnojivy a zvýšením výnosu rostlin (Garg et al. 2006; Joshi et al. 2015).

Při vermikompostování vzniká výluh v důsledku neustálé aplikace vody z důvodu udržení vlhkosti substrátu. Chemické složení výluhu je závislé na složení substrátu, který je využíván při vermikompostování. Používané substráty jsou bohaté na organickou hmotu, dusík, fosfor i draslík, tudíž lze očekávat, že i výluhový roztok obsahuje tyto látky. Výluhy jsou velmi využívané pro zemědělské účely, neboť dochází k výraznému zvýšení výnosu a kvality pěstovaných plodů (Tejada 2006; Chowdhury & Sarkar 2023).

3.1.5 Anaerobní digesce

Anaerobní digesce je metoda, která je využívána ke zpracování organického původu za anaerobních podmínek mikrobiálními organismy. Digestovat lze v podstatě veškerý organický materiál, až na stabilní dřevěné materiály, neboť obsahuje ligniny a anaerobní mikroorganismy ho nejsou schopny rozložit. Při anaerobní digestaci vzniká bioplyn, který je složen ze směsi oxidu uhličitého a metanu, a dále vzniká digestát. Metan a vodík jsou brány za potenciální paliva, která jsou podstatně čistší než paliva fosilní. Anaerobní digesce se využívá hlavně při snížení znečištění ze zemědělských a průmyslových provozů a zároveň snižuje využívání fosilních paliv (Chen et al. 2008).

I když je anaerobní digesce vyspělou a široce používanou technologií při čištění odpadních vod a kalů, tak pro přijetí anaerobní digesce pro nakládání s potravinovým odpadem stále čelí ekonomickým a společenským výzvám, jako je nestabilita procesu, těžké mastné kyseliny, nízká vyrovnávací kapacita a vysoké náklady na provoz a dopravu (Xu et al. 2018).

Při čištění komunálních odpadních vod je největším problémem likvidace kalů. Kal musí být nejprve upraven, aby došlo k zmenšení objemu, zlepšení jeho vlastností a k omezení zdravotních problémů. Toto zpracování sníží množství vody v surovém kalu, přemění hnilobnou organickou hmotu na relativně stabilní a upraví zbytek tak, aby splňoval předpisy přijatelné k jeho následné likvidaci. Podle původu odpadu může kal obsahovat různé inhibiční a toxické látky, jako je například amoniak, sulfid nebo těžké kovy. Obsah těchto látek může způsobit poruchu reaktoru, která se projevuje sníženou produkcí bioplynu. Pro urychlení rozkladu a zvýšení produkce bioplynu je možné použít různé předúpravy. Tyto ošetření zahrnují mechanické, biologické, tepelné a chemické zásady do vstupních surovin. Při anaerobní digestaci dochází k úhynu přítomných patogenů a omezení problémů, které jsou spojeny se zápachem a zbylou hmotou. Anaerobní digesce optimalizuje náklady čistírny

odpadních vod, její ekologickou stopu a je považována za nezbytnou součást moderní čistírny odpadních vod (Appels et al. 2008).

Proces anaerobní digesce se uskutečňuje ve čtyřech fázích; hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze. Všechny tyto fáze jsou ovlivňovány teplotou, pH a alkalitou. Fermentační i metanogenní bakterie potřebují odlišné hodnoty pH pro své správné fungování a teplota se také liší podle jednotlivých fází. Vysoká teplota má mnoho výhod, kdy dochází k vyšší rozpustnosti organických sloučenin, vyšší rychlosti chemických a biologických reakcí a zvyšuje se míra úmrtnosti patogenů. Na druhou stranu při vyšší teplotě dochází ke zvýšení podílu amoniaku (Appels et al. 2008).

Při hydrolýze degradují sloučeniny s vysokou molekulovou hmotností (lipidy, proteiny, nukleové kyseliny, polysacharidy) a nerozpuštěný organický materiál na rozpuštěné organické látky (například nižší mastné kyseliny, monosacharidy nebo aminokyseliny). Mastné kyseliny jsou produkovány pomocí acidogenních neboli fermentačních bakterií, spolu s amoniakem a dalšími produkty. Vzniklé složky jsou při acidogeneze dále štěpeny a vznikají organické kyseliny, alkoholy, aminy a další. Třetím stupněm je acetogeneze, kde jsou vyšší organické kyseliny a alkoholy dále štěpeny na kyselinu octovou, oxid uhličitý a vodík. Poslední fází je metanogeneze, při kterém se produkuje metan pomocí dvou skupin metanogenních bakterií. První skupina štěpí acetát na metan a oxid uhličitý, druhá skupina využívá jako donor elektronu vodík a oxid uhličitý jako akceptor k výrobě metanu (Appels et al. 2008).

Potenciál ve využití bioplynu jako zdroj energie neustále roste. V současné době se vyrábí především vyhníváním kalu z čistíren odpadních vod, s menším podílem fermentace nebo zplyňování pevných odpadů. Vzniklý bioplyn má vysokou výhřevnost a je považován za důležitého přispěvatele k zásobování Evropy energií (Appels et al. 2008).

3.1.5.1 Digestát

Digestát je vedlejší produkt vznikající při anaerobní digesci. Digestát se skládá ze vstupních materiálů po extrakci bioplynu anaerobní digescí a složení a kvalita je tedy závislá na kvalitě vstupních surovin. Díky obsahu snadno dostupných makroživin a mikroživin je digestát vynikajícím hnojivem pro plodiny (Lamolinara et al. 2022).

Podle konečného použití je možné digestát použít tak, jak je vyroben nebo ho lze podrobit dalším úpravám. Nejvíce používanou a jednoduchou metodou je separace digestátu na pevnou a kapalnou frakci, tedy na separát a fugát. Existuje však mnoho technologií pro zpracování digestátu různého stupně technické vyspělosti. Všechny metody však zajišťují snížení celkového objemu a oddělení cenných živin od velkého objemu vody (Al Seadi et al. 2003).

Aplikace digestátu v zemědělství je jedním z nejjednodušších řešení managementu, jak minimalizovat negativní dopady na životní prostředí a zlepšit ekonomickou udržitelnost výroby bioplynu. Pro využití digestátu jako hnojivo musí být co nejvyšší kvality a bez přítomnosti patogenů a chemických a fyzikálních nečistot. Kvalitní digestát je dále definován například hodnotou pH, obsahem sušiny nebo homogenity. Kvalita a použití digestátu je často regulována pomocí legislativy na ochranu půd, o hnojivech, o odpadech nebo jejich kombinací (Al Seadi et al. 2003; Lamolinara et al. 2022).

Při aplikaci digestátu se vracejí důležité živiny do půdy, jako je například dusík (N) a fosfor (P). Digestát představuje vynikající alternativu k omezení používání chemických hnojiv. Jedná se o hygienický, mikrobiálně stabilní a bohatý na dusík hnojivo, ale při nesprávné aplikaci může poškodit půdu a růst rostlin, i častá aplikace může způsobit ztrátu živin. Pokud není vhodné digestát využít pro zemědělské účely, lze ho použít například k zakrytí skládky nebo jako surovinu pro průmyslovou činnost (Al Seadi et al. 2003; Lamolinara et al. 2022).

3.1.5.2 Fugát

Při provozu bioplynových stanic dochází k úniku odpadních surovin, jako je pevný odpad digestát, který je možné dále využít v zemědělském provozu. Dále vzniká fugát, který vzniká během anaerobní digesce organického materiálu v bioplynových stanicích (Homolka et al. 2014; Koller 2021).

Fugát vzniká v důsledku procesu anaerobní digesce. Tento proces probíhá bez přístupu kyslíku a za vlhkých podmínek, přičemž se v prostředí nacházejí metanogenní mikroorganismy a i minimální přítomnost kyslíku je pro ně smrtelná. Teplota v průběhu procesu se pohybuje v rozmezí od 4 do 90 °C, což vede k rozkladu organických látek. Během anaerobní fermentace dochází k uvolňování metanu, oxidu uhličitého, stopových plynů, vody a humusových látek. Proces se skládá ze 4 fází a to z hydrolýzy, acidogeneze, acetogeneze a metanogeneze. Všechny tyto části probíhají současně a různou rychlostí. Rychlost jednotlivých částí a je dána teplotou, čím vyšší teplota v procesu je, tím rychleji probíhá proces (Mužík & Kára, 2009; Kára, 2007).

Fugát představuje fyzikálně oddělitelnou kapalnou částí digestátu a nakládání s touto kapalnou částí začal být problém z důvodu rychle rostoucímu počtu bioplynových stanic (Homolka et al. 2014; Koller 2021).

Fugát je tekuté organické hnojivo, které obsahuje živiny organického původu. Nejčastěji se jedná o zakalenou kapalinu tmavé barvy s obsahem produktů, které vznikají při anaerobním rozkladu organických látek. Vlastnosti a kvalita fugátu je závislá na druhu zpracovaného bioodpadu a průběhu reakce. Fugát lze aplikovat jako hnojivo, které je bohaté na dusík bez jakékoliv dalšího zpracování. Bez jakékoliv úpravy může docházet k úniku značného množství amoniaku, zápachu a může obsahovat těžké kovy či patogeny (Homolka et al. 2014; Koller 2021).

Z důvodu možných rizik je důležité fugát technologicky upravit a existují technologie, které se snaží zachovat všechny prospěšné živiny. Fugát lze aplikovat na zemědělskou půdu pouze mimo vegetační období, proto je důležité zajistit skladování ve skladovací nádrži za vhodných podmínek (Homolka et al. 2014; Koller 2021).

3.1.5.2.1 Úpravy fugátu

Tlakové membránové procesy

Tlakové membránové procesy jsou jednou ze separačních metod, kde hlavním principem je využití syntetických membrán. Ty slouží jako syntetické bariéry, kde je hnací silou rozdíl tlaků vyskytující se před a za membránami. Vznikají dvě složky, kdy jedna je

schopna projít membránou a druhá zůstává před membránou, neboť obsahuje velké částice (Mikulášek 2013).

Na proces má vliv velikost pórů membrán, velikost oddělovaných komponentů a vlastnost povrchu membrán. Proces se rozděluje podle velikostí částic, které je schopen vyfiltrovat na mikrofiltraci, ultrafiltraci, nanofiltraci a reverzní osmózu. Všechny tyto typy filtrace fungují na stejném principu, liší se typem membrány a nástřikovým tlakem. Separaci lze uskutečnit dvěma způsoby. Při prvním typu filtrační koláč téměř nevzniká, nástřik tlaku je realizován podél povrchu membrány a permeát je odváděn kolmo na vstupní proud. Při druhém typu vzniká filtrační koláč, nástřik je aplikován kolmo na membránu a permeát odtéká ve stejném směru (Mikulášek 2013).

Stripování

Mezi možné metody úpravy fugátu patří stripování amoniaku. Množství amoniaku je závislé na hodnotě pH a teplotě. Koncentrace nedisociovaného amoniaku stoupá s vysokým pH a s vysokou teplotou. Pro úpravu hodnoty pH se nejčastěji používá hydroxid nebo oxid vápenatý. Pokud jsou při procesu dodrženy vhodné podmínky, efektivita stripování se pohybuje až kolem 90 % (Jiang et al. 2014; Kinidi et al. 2018).

Nejprve při tomto procesu dochází k zahřátí fugátu a zvýšení hodnoty pH. Při takto upraveném fugátu je amoniak odstraňován pomocí vhaněného vzduchu ve stripovací věži. Odstraněný amoniak reaguje s kyselinou sírovou za vzniku síranu amonného, který je možný využít jako hnojivo. Následně je fugát umístěn v zásobní nádrži a vyčištěný vzduch je možné znovu využít. Díky aplikaci této technologie lze získat kvalitní hnojivo na konci procesu. Nevýhodou při tomto procesu jsou zvýšené náklady spojené s potřebou velkého množství energie, která je nutná k zahřívání kapaliny (Jiang et al. 2014; Kinidi et al. 2018).

Kultivace řas

Řasy je možné využít k separaci dusíku a fosforu z fugátu, neboť jsou schopné pohlcovat tyto prvky a využívat je ke svému růstu. Biomasa řas následně slouží jako cenné biopalivo a je možné jí využít ke krmným účelům v zemědělství (Zabed et al. 2020).

Tepelné zahuštění

Při tvorbě fugátu z bioplynových stanic je provozovatel nucen s vytvořeným nadbytkem naložit. Tepelná zahuštění se využívá k redukci objemu, aby se snížili náklady na dopravu. Principem celého procesu je odpařování vody z fugátu, vzniku kontrátu a destilátu, kdy destilát je možný dále využívat jako procesní vodu (Vondra et al. 2018).

3.2 Akvakultura a akvakulturní kal

Akvakultura je nejrychleji se rozvíjejícím odvětvím v potravinářském průmyslu. Rozšiřuje se, rozvíjí se a zesiluje téměř ve všech koutech světa. Akvakultura zastupuje důležitou roli v celosvětovém úsilí o odstranění hladu a podvýživy, neboť dodává ryby a další produkty, které jsou bohaté na vitamíny, bílkoviny, minerály a esenciální mastné kyseliny. Také přispívá k rozvoji poskytování pracovních příležitostí, zlepšení příjmů a návratnosti využívání zdrojů (Subasinghe et al. 2009; Jasmin et al. 2020).

Čím dál více se uznává, že akvakultura může velmi pozitivně přispět na životní prostředí tím způsobem, že sníží negativní dopad jiných průmyslových činností a odvětví. Některé systémy akvakultury zmírňují dopady nebo přispívají k obnově životního prostředí. Například použití kultury měkkýšů ke zlepšení sekvence uhlíku nebo kultivace mořských řas, které v pobřežních oblastech snižují zátěž vodních živin (Subasinghe et al. 2009; Campanati et al. 2022).

Tak jako v každém průmyslovém odvětví, tak i v akvakultuře vzniká celá řada odpadů, která se řadí do čtyř forem; plyny, kapaliny, polotuhé a pevné látky. Usazený odpad na dně rybníka je považován jako polotuhý a pevný odpad. V tomto odvětví se produkuje velké množství kalů bohatých na živiny, nicméně zároveň představuje hrozbu pro vodní prostředí. Důležité je s těmito problémy naložit a snížit či eliminovat možná rizika (Subasinghe et al. 2009; Jasmin et al. 2020).

3.2.1 Recirkulační akvakulturní systémy

Recirkulační akvakulturní systémy (RAS) jsou pokročilé systémy s uzavřenou smyčkou, které umožňují řízenou produkci ryb a zároveň minimalizují spotřebu přírodních zdrojů, jako je voda a energie. V RAS je kultivační voda čištěna a znovu používána, což vede k významnému snížení spotřeby. (Aquaculture 2024).

Mezi výhody recirkulačního systému patří plná kontrola nad prostředím, kde se vyskytují ryby. Při využití těchto systémů dochází k efektivnímu využití energie a půdy a je zde nízká spotřeba vody. Systém umožňuje optimální strategii krmení, také plnou kontrolu nad nemocemi a poskytuje snadný sběr ryb. Bohužel systém je velmi nákladný na elektřinu, kterou neustále potřebuje pro svůj provoz (Aquaculture 2024).

Recirkulační systémy akvakultury představují intenzivní kultivační systémy, které filtrují a opětovně využívají vodu. Odstraňování pevných odpadů, jako například nespotřebovaného krmiva či rybích výkalů, se provádí pomocí filtrace a metod usazování a vytváří tak odpadní vody s vysokým obsahem živin a pevných látek. Recirkulační systémy jsou provozovány buď jako venkovní nebo jako vnitřní systémy. Venkovní recirkulační systém se realizuje v recirkulační smyčce, kde se extrakční organismy kultivují v relativně velkých prostorech a značná část odpadu se přeměňuje na biomasu. Ve vnitřních systémech dochází k čištění pevného zbytku a přeměně čpavku na dusičnan pomocí nitrifikace. Odpady ze sladkovodních recirkulačních systémů akvakultury mohou být použity pro zemědělské účely ve formě hnojiv, zatímco zpracování odpadů z mořských recirkulačních systémů akvakultury jsou omezenější. Výsledný kal je velmi náchylný k hnilobě a jeho přímé použití na zemědělskou půdu je problematické. Proto se před jeho aplikací doporučuje například vermikompostování (Marsh et al. 2005; Chen et al. 2008).

3.2.2 Akvakulturní kal

Kal představuje pevný druh odpadu, který obsahuje fosfor, dusíkaté sloučeniny a rozpuštěný organický uhlík, který ve vyšších koncentracích by mohl negativně ovlivnit životní prostředí. Akvakulturní kal je tvořen převážně fytoplanktonem, popřípadě dalšími

rozkládajícím rostlinnými materiály, nespotřebovaným krmivem, bakteriemi, živočišnými odpady, obsahem vzduchu a minerálním sedimentem (Marsh et al. 2005; Jasmin et al. 2020).

Akvakulturní kal může být potencionálně nebezpečný kvůli přítomnosti těžkých kovů a dalších kontaminantů, které mohou představovat riziko jak pro ekologické systémy, tak i pro lidské zdraví. Kaly mohou obsahovat těžké kovy jako zinek, měď, chrom, rtuť a olovo, které se mohou hromadit v kalu a potencionálně kontaminovat životní prostředí, pokud se s nimi nenakládá správně. Důležité je koncentrace těžkých kovů v kalech sledovat, aby bylo možné posoudit potenciální rizika. Znat složení kalu z akvakultury a zavedení správných postupů při nakládání s nimi je zásadní pro zmírnění potencionálního nebezpečí (Marsh et al. 2005; Jasmin et al. 2020).

Kal z akvakultury je rozdělován do dvou kategorií; usazené pevné látky nebo nerozpuštěné pevné látky. Nerozpuštěné pevné látky jsou jemné částice, které zůstávají v kultivační vodě a odstraňují se sedimentační metodou. Usazené pevné látky jsou větší částice a dají se velmi snadno odstranit. Nicméně je důležité odstranit oba typy pevných odpadů, aby byla zachována dobrá kvalita vody (Jasmin et al. 2020).

Akvakulturní kal zhoršuje kvalitu vody a ve většině případech obsahuje celou řadu patogenů. Kvůli jeho negativním účinnům je žádoucí kal odstraňovat a nějakým způsobem upravovat, ale existují přísné zásady pro nakládání a manipulaci s ním, které je potřeba přesně dodržovat. Nejčastěji se doporučuje odvodnění a následná stabilizace. Další způsoby využití kalů z rekultivačních systémů akvakultury zahrnují produkci bioplynu, kompostování nebo vermikompostování. Zpracování a upravování kalu závisí na typu a vlastnostech kalu. Dalšími důležitými aspekty jsou ekonomické, sociální nebo klimatické podmínky (Kouba et al. 2018; Koyama et al. 2018).

3.2.3 Kompostování akvakulturního kalu

Kompostování akvakulturního kalu přináší skvělé výsledky při anaerobní digesci. Kompostování je nejvhodnější způsob stabilizace pevného odpadu, zejména pokud jsou produkty určeny pro následné využití v zemědělství. Kal je převáděn na huminové sloučeniny, což snižuje objem a stabilizovaný konečný produkt je možné využít jako tuhé hnojivo. Nevýhodou je delší doba zpracování a může docházet ke znečištění ovzduší některými těkavými organickými sloučeninami (Mirzoyan et al. 2010; Nenciu et al. 2022).

Kompostování je nízkonákladovou metodou pro redukci nebo využití kalu. Při kompostování akvakulturního kalu je nerozpuštěný dusík nebo organický dusík degradován pomocí aerobních mikroorganismů na rozpuštěný dusík, jako jsou aminokysleniny, případně dochází ke vzniku $\text{NH}_4^+ - \text{N}$. Během kompostování se $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ ponechá v kompostu, asimiluje se mikroorganismy, aby se vrátil do nerozpuštěného dusíku, nebo se odpaří jako plynný NH_3 . NH_3 neboli amoniak je zdrojem dusíku pro mikrořasy (Jasmin et al. 2020).

Amoniak v kalu závisí na typu a množství organického původu, jako je hnojivo, krmivo a látky rozkládající se v kultivačním systému. Nejvíce amoniaku se vyskytuje v kalu z aktivity metabolismu bílkovin, kdy amoniak tvoří konečný produkt při tomto procesu. Amoniak získaný z akvakulturního kalu má velký potenciál při využití pro komerční výrobu kosmetiky, léků či jiných zdravotních doplňků (Koyama et al. 2018).

Zpracování akvakulturního kalu se spíše zaměřuje NH_3 , aby docházelo k zadržování co nejvíce živin v kompostu pro následné zemědělské využití a zároveň, aby se minimalizoval zápach. Pro snížení emisí z NH_3 je dosaženo pomocí zvýšení poměru C/N pomocí absorbentu, nejčastěji se využívá zeolit nebo přidání materiálů bohatý na dusík. NH_3 úsce souvisí s odpařováním vody během termofilního kompostování. Množství odpařené vody se zvyšuje s rostoucí teplotou a účinnost odpařování NH_3 se zvyšuje s odpařováním vody. Odpařování vody je účinnou operací pro zlepšení odpařování NH_3 z kompostu (Koyama et al. 2018).

3.2.4 Vermikompostování akvakulturního kalu

Vermikompostování představuje ekologický proces, kde na rozdíl od kompostování dochází ke společnému působení žížal a mikroorganismů bez termofilní fáze. Vermikompostování umožňuje přeměnu problematického organického pevného odpadu na vysoce hodnotné finální produkty; vermikompost a biomasu žížal (Marsh et al. 2005).

V současné době existuje pouze omezený počet vědeckých studií zaměřených na vermikompostování akvakulturních kalů. Avšak s narůstající produkcí kalů z akvakulturních farem je nezbytné hledat environmentálně a ekologicky odpovědné metody pro zpracování tohoto druhu odpadu s vysokým obsahem živin. Čerstvé akvakulturní kaly často generují významné množství amoniaku, což může být problematické při využití pro vermikompostování. Vysoké koncentrace amoniaku mohou vést k hromadnému úhynu žížal. Proto je vhodné kombinovat kaly z akvakultury se suchými odpadními materiály bohatými na uhlík, jako jsou papírové odpady nebo sláma, pro účely vermikompostování (Marsh et al. 2005; Kouba 2018).

Dále je vhodné procesu vermikompostování podrobit akvakulturní kal, který prošel procesem stárnutí nebo nejprve kal podrobit recirkulačnímu systému akvakultury (Marsh et al. 2005; Kouba 2018).

Při vermikompostování kalu z recirkulačních systémů je důležité jeho dávkování. Při přidání nadměrného množství do vermikompostu dochází k úhynu žížal. Důležitá je také vlhkost a poměr C/N v kalu, kdy vlhkost se pohybuje kolem 80 % a poměr 25:1 C/N. Surový kal má obvykle nízký obsah sušiny a je bohatý na dusík. Často se pro zmírnění dopadů vysoké vlhkosti a dusíku přidává nějaký suchý uhlíkatý materiál. Při vermikompostování dochází ke snížení biodegradovatelné organické hmoty a hodnota pH vykazuje neutrální hodnoty. Střeva žížal mají anaerobní podmínky a toto prostředí podporuje redukci dusičnanů, prostřednictvím dostupnosti vysoce kvalitních donorů elektronu, jako jsou aminokyseliny a cukry a dusík je zabudováván do biomasy žížal. Spolu s dusíkem jsou zabudovávány do biomasy žížal prvky jako vápník, fosfor a hořčík (Marsh et al. 2005).

Vzniklý vermikompost je vhodný pro agronomické aplikace a dochází k přeměně nebezpečného kalu na zdravotně nezávadné hnojivo, které je bohaté na živiny. Žížaly z vermikompostu je možné využít jako návnady pro ryby nebo jako potrava pro jiná domácí zvířata (Marsh et al. 2005).

3.3 Výluhy z kompostu

Nejlepší možností pro řízení výluhů je navrhnout kompostovací řízení tak, aby redukovalo a využívalo přebytečnou vodu, aby nevznikaly výluhy, které se pro svoje nevyhovující vlastnosti musí upravovat. Aby bylo možné zabránit tvorbě výluhů, muselo by být zařízení navrženo tak, aby oddělovalo srážky a tání sněhu od kompostu. Dále by musely být použity ideální organické odpady z ne příliš vlhkých materiálů. Aby bylo možné tento cíl realizovat, musela by být vlhkost kompostu do 65 % (Roy et al. 2018).

Chemické a fyzikální vlastnosti výluhu záleží na složení kompostu, podmínkách a průběhu kompostování. Výluhy vznikají v počáteční fázi procesu, kdy dochází k uvolnění přebytečné kapaliny a cíleně, kdy se kompostový čaj získává ze zralého kompostu (Sánchez et al. 2017).

Výluhy z kompostu se tvoří při procesu kompostování organického odpadu a obsahuje veškerý materiál, který byl extrahován. Výluh je bohatý na dusík, soli, kovy a oxidovatelné organické látky, které představují riziko pro životní prostředí, pokud se řádným způsobem neupraví. Výluhy z kompostu jsou také považovány jako bohatý zdroj živin, neboť obsahují dusík, uhlík, draslík a další stopové prvky, kterou mohou rostliny využít jako živiny. Některá kompostovací zařízení, zejména ty, která zpracovávají suroviny z obytných a zemědělských zdrojů, tvoří velké množství výluhů (Romero et al. 2013).

Výhody využití výluhů jako hnojiv jsou zřejmé. Díky jejich použití je možné snížit spotřebu komerčních hnojiv, která pro svou výrobu vyžadují vysoké výrobní náklady a energii. Výluh představuje odpadní produkt, což znamená, že nejsou na jeho výrobu využity žádné výrobní náklady. Během kompostovacího procesu výluh prosakuje biogenními odpady a akumuluje organické a anorganické látky přenosem látka-kapalina. Konečné odpadní vody obsahují různé typy znečišťujících látek, jako je například amonium, sírany, chloridy a těžké kovy, jako je nikl, kadmium, zinek, měď, olovo, dále patogenní organismy, huminové látky a další. Tyto kontaminanty jsou spojeny s procesem eutrofizace okolního vodního prostředí, a proto je nezbytně nutná úprava. Tím, že výluh obsahuje mnoho toxických organických sloučenin, musí být následně správně zpracován, jinak může dojít ke kontaminaci povrchové i podzemní vody (Romero et al. 2013).

Aby byla navrhnutá vhodná úprava výluhů, musí být charakterizováno složení a definovány znečišťující látky nalezeny ve výluzích z kompostování. Dále aby nedocházelo k přetížení systému způsobeného vysokým obsahem znečišťujících látek, je důležité dokumentovat variabilitu chemických vlastností. Důležité jsou faktory odpovědné za tyto změny, mezi které patří použitá technologie, druh vstupní suroviny a klimatické podmínky (Roy et al. 2019).

Při kompostování vznikají 2 druhy výluhů. První je výsledkem odvodňování přebytečné vody, která se do kompostu dostane například prostřednictvím dešťových srážek nebo závlahou. Chemické a fyzikální vlastnosti jsou velmi důležité, neboť migruje do podloží půdy nebo podzemní vody. Tato kapalina může obsahovat rozpuštěné látky, organické a anorganické sloučeniny, těžké kovy, toxické ionty a podobně. Tento výluh má často nažloutlou, světle nebo tmavě hnědou barvu v důsledku rozpuštěné organické hmoty (Chatterije et al. 2013).

Druhý druh výluhu vzniká cíleně ze zralého kompostu a je velmi bohatý na rozpustné živiny. Tomuto výluhu se přezdívá kompostový čaj, který se vyrábí louhováním nebo vařením kompostu spolu s mikrobiálními živinami a katalyzátory. Složky jako huminy, huminové kyseliny a fulvokyseliny mohou být přítomny i ve výluhu, jak v rozpuštěné, tak i částicové formě. Vždy záleží na typu suroviny a podmínkách kompostování. Rozpuštěná organická hmota a částice ve výluhu jsou důležitými zdroji uhlíku, vodíku, dusíku, kyslíku a fosforu (Chatterije et al. 2013).

3.3.1 Biologické úpravy výluhu

Biologické úpravy výluhů jsou prováděny, aby z výluhů byly odstraněny nežádoucí látky, organické znečištění, pesticidy nebo toxické látky. Díky biologickým úpravám dochází ke zlepšení kvality vody, což snižuje negativní dopad na živodní a vodní prostředí. Biologické úpravy mohou pomoci k rozkladu látek, které způsobují zápach, a to následně sníží i výsledný zápach z výluhů. Celkově jsou biologické úpravy důležité, aby byla zachována kvalita vody a životního prostředí.

3.3.1.1 Technologie membránového bioreaktoru

Technologie membránového bioreaktoru poskytuje biologické zpracování s membránovou filtrací. Technologie se skládá z provzdušněné nádrže, která je naplněná vodou spolu s aktivovaným kalem a kapilárními membránovými trubicemi. Pro účinné zadržování mikroorganismů, makromolekul a suspendovaných látek jsou zde póry ultrafiltračních membrán o velikost 20 až 50 nanometrů. Kontaminanty jsou využívány mikroorganismy a slouží jako živiny pro jejich růst a metabolismus, kontaminanty se rozloží na méně škodlivé látky (Brown et al. 2013).

Technologie membránového bioreaktoru má mnoho výhod. Celková doba zdržení výluhu je delší, což zvyšuje možnost kontaktu bakterií s kontaminanty a následně to přispívá k vysoké účinnosti. Technologie je schopna odstranit mikroorganismy pod detekční limit z výtoku díky ultrafiltraci. Další výhodou je, že systém není ovlivněn teplotou jako umělé mokřady, a proto je možné ho využívat během všech ročních období (Brown et al. 2013).

Systém byl vybudován především pro čištění odpadních vod, ale lze ho optimalizovat podle vlastností výluhu z kompostu, nejčastěji přizpůsobením s ohledem na vysoké zatížení odpadu a nízkým průtokem (Brown et al. 2013).

3.3.1.2 Mokřady

Jednou z využívaných technologií pro úpravu výluhů jsou uměle vytvořené nebo vybudované mokřady. Uměle vytvořené mokřady jsou systémy obsahující vodu, emergentní submerzní rostliny a živočichy, nasycené substráty a je to navrženo tak, aby se co nejvíce napodobovaly přirozeně se vyskytující mokřadům. Nejstabilnější pro čištění odpadních vod jsou mokřady obsahující submerzní a emergentní rostliny, kde se rákos nebo orobinec dokážou aklimatizovat na měnící se množství vody a živin a jsou schopny zpracovat velké zátěže znečišťujících látek. Při této technologii je potřeba minimální množství dodané energie

a celý tento proces vyžaduje minimální provoz a údržbu. Tato technologie se řadí mezi nízkonákladové. Nevýhodou jsou však vysoké požadavky na prostor a dlouhá doba vývoje (Brown et al. 2013).

3.3.1.3 Anaerobní bioreaktory

Anaerobní bioreaktory představují soubor procesů, který za anaerobních podmínek uskutečňuje rozklad organické hmoty. Anaerobní reaktory se využívají ke snížení organické hmoty ve vysoce pevných odpadních vodách, jako je například výluh. Mezi využívanými biologickými metodami mají význam anaerobní metody kvůli vysokému obsahu organických látek ve výluhu a pro výrobu čistého bioplynového paliva. Anaerobní čištění výluhu z procesu kompostování představuje přeměnu organických sloučenin na bioplyn. Podle poměru C/N a těkavých pevných látek je možné použít anaerobní digesci. Mezi anaerobní metody úpravy výluhu patří anaerobní migrační plošny a anaerobní sekvenční vsádkový reaktor (Roy et al. 2018; Eslami et al. 2018).

Systém kombinací anaerobní migrační plošny a anaerobní sekvenčního vsádkového reaktoru se řadí mezi účinný při zpracování výluhů z kompostování a produkci bioplynu. Při využití kombinovaných reaktorů je vyšší účinnost odstraňování BSK₅ a CHSK. Účinnost je však závislá na rychlosti vstupního organického zatížení při produkci metanu a bioplynu (Roy et al. 2018; Eslami et al. 2018).

3.3.1.4 Biofiltry

Biofiltry jsou reaktory s prostorem naplněné různými médii, ve kterých probíhá cirkulace výluhu z kompostování. Přidaná média mají za úkol podporovat mikrobiální růst a zároveň zvětšovat kontaktní povrch mezi biofiltem a výluhy. Biofiltry jsou účinnou metodou pro odstraňování NH₃. Při využití této technologie je možné opětovně využít dostupných zbytků, které nemají téměř žádné náklady na kompostovací zařízení. Biofiltry mají pozitivní dopad na kvalitu výluhů z kompostování, ale filtrát ve většině případů zůstává znečištěný a je potřebná další úprava. Při této technologii je i nedostatečné odstranění CHSK, které je způsobeno nízkou rychlostí hydraulického zatížení (Roy et al. 2018).

3.3.2 Fyzikálně chemické úpravy výluhu

Výluhy z kompostování lze upravit pomocí fyzikálně-chemických metod. Mezi nejvíce využívané metody patří koagulace a membránová filtrace, sedimentace (Shu et al. 2016).

3.3.2.1 Koagulace a membránová filtrace

Kombinace koagulace a filtrace vykazuje velmi vysokou účinnost čištění výluhů z kompostů. Navíc při realizaci koagulační předúpravy dochází ke zlepšení vlastnosti membrány a je účinná pro kontrolu membrány proti znečištění (Shu et al. 2016).

Membránová filtrace je jednou z možností, kterou lze využít k úpravě výluhů z důvodu vážného znečištění, ale není vhodná jako jediná technologie pro úpravu výluhů. Membránová filtrace je závislá na provozním tlaku, čím vyšší je provozní tlak, tím se zvyšuje hnací síla pro průchod roztoku membránou (Shu et al. 2016).

Koaguce je proces, který slouží k odstranění suspendovaných pevných látek, těžkých kovů a biologicky nerozložitelných organických sloučenin. Tento chemický proces je levný, jednoduchý a účinný a je založený na použití železnatých solí, a nebo solích hliníku. Soli vločkují koloidní částice nebo organické složky do objemných vloček. Průběh a výkon koagulace je závislý na několika faktorech, jako jsou vlastnosti výluhu, použité koagulanty a jejich dávkování a hodnota pH (Shu et al. 2016).

3.3.2.2 Elektrokoagulace/flotace

Elektrokoagulace/flotace představuje fyzikálně-chemické procesy, které se často využívají k úpravě výluhů z kompostů a odpadních vod. Oba tyto procesy mohou probíhat samostatně nebo kombinací obou metod (Shu et al. 2016).

Elektrokoagulace je proces, při kterém je elektrický proud aplikován do výluhu, aby vznikly koagulační činidla. Elektrický proud vyvolává tvorbu kovových iontů z elektrod, které jsou umístěné ve výluhu. Díky tomu koagulují částice a organické látky. Tato metoda se nejvíce využívá při odstraňování organických látek či suspendovaných pevných látek (Mollah et al. 2004)

Flotace je proces, kdy jsou do výluhu přidávány chemikálie zvané flokulanty. Ty mají za úkol shlukovat organické látky a pevné částice, aby šly lépe odstranit z výluhu. Ty se odstraňují z výluhu pomocí přidáním vzduchu, který vytvoří na hladině pěnu se vznikými shluky. Ty se v této formě lépe odstraňují (Rubio et al. 2002).

3.3.2.3 Ozonová úprava

Ozonová úprava výluhu z kompostu je technologie, která využívá k čištění výluhu ozón (O_3). Ozón je velmi reaktivní forma kyslíku a oxidant využívaný k čištění výluhu z kompostu a anaerobních digesterů. Ozón se rozkládá na kyslík a další produkty a díky tomu dochází k odstranění organických látek a mikroorganismů. Ozón má schopnost odstraňovat zápach a barvu ze zbytkových toxických sloučenin. Při tomto procesu není potřeba přidávat žádné chemikálie, neboť by mohly zůstat v kompostu (Mokhtarani et al. 2014).

Mezi výhody procesu patří jeho vysoká účinnost odstranit z výluhu škodlivé látky a schopnost dezinfikovat. Nevýhodou jsou však vysoké náklady potřebné k realizaci tohoto procesu, protože je potřeba zařízení pro produkci ozónu, které vyžaduje pečlivou regulaci a monitorování procesu. Je nezbytně nutné odstranit zbytkový ozón, který by mohl mít negativní dopad na životní prostředí (Amin et al. 2014).

3.3.2.4 Aerace

Aerace je proces, při kterém je kyslík dodáván do kapaliny, jako je voda nebo výluh, aby se zlepšila její kvalita a vlastnosti. Tento proces je často využíván k úpravě odpadních vod nebo výluhů z různých průmyslových procesů, včetně kompostování (Baylar & Ozkan 2006).

Při aeraci dochází k zavedení kyslíku do kapaliny, který umožňuje mikroorganismům provádět aerobní dýchání, které vede k jejich vyšší aktivitě a rychlosti rozkladu organických látek. To následně vede k odstranění nečistot a zajišťuje to lepší kvalitu vody nebo kapaliny. Důležité je do vody nebo výluhu přidat optimální množství kyslíku, neboť jeho nedostatek by mohl mít negativní dopad na životní prostředí (Thakre et al. 2008).

3.3.3 Kompostový čaj

Kompostový čaj představuje extrakt na vodní bázi, který je možný připravit ze široké škály kompostů. Kompostový čaj je dodáván z důvodu dodání živin, zvýšení výnosu a zlepšení nutriční kvality (Pant et al. 2012).

Za ideální kompost, ze kterého je možné připravit kompostový čaj je považován kompost, který je jemně strukturovaný, vlhký, obsahuje prospěšné mikroorganismy, rozpustné minerální živiny, fytohormony a huminové látky. Neměl by obsahovat patogenní organismy a těžké kovy. Důležitou roli hraje i zralost kompostu. Vlastnosti kompostového čaje jsou dané i jeho uskladněním. Při uchování čaje bez přístupu kyslíku dochází ke snížení hodnoty pH, což ovlivňuje kvalitu i kvantitu obsahu živin (Pant et al 2012).

Jeho vlastnosti a složení závisí na vstupních surovinách, podmínkách a procesu kompostování. Rozpustné biochemické sloučeniny obsažené v kompostu jsou extrahovány do kompostového čaje, takže přispívají ke kvalitě kompostu. Zpravidla je kompostový čaj bohatý na rostlinné makroživiny (jako je dusík, fosfor nebo draslík), které obsahují fytohormony a kyselinu salicylovou a mikroživiny (jako je železo, zinek nebo měď), huminové kyseliny, a další. Je dokázáno, že kompostový čaj vyrobený ze živočišného hnoje lépe potlačuje choroby než čaj, který je vyrobený z rostlinného kompostu. Mezi další důležité parametry patří poměr kompostu k vodě, úroveň provzdušnění, doba trvání a teplota fermentační fáze (Pant et al. 2012).

Kompostový čaj vzniká dvěma způsoby, provzdušňovací nebo neprovzdušňovací metodou. Neprovzdušňovaná metoda spoléhá na tvorbu kvalitního kompostu bez jakýchkoliv přísad s minimálním množstvím kyslíku. Jedná se o proces máčení materiálu ve vodě po dobu pár dní nebo týdnů. Průměrná doba vzniku je 14 dní. Zatímco kompostový čaj vzniklý provzdušňovací metodou má mnohem kratšího trvání a to od 12 hodin až 3 dnů. Produkce provzdušňovacího kompostovaného čaje vytváří méně pachů a snižuje riziko kontaminace lidskými patogeny (Tajeda et al. 2008).

Kompostový čaj lze aplikovat do půdy a ovlivňuje rhizosféru rostliny tím, že nese živiny a mikroorganismy. Čaj je možné i nastříkat na povrch listů a obvykle dochází k změně souboru organismů na listě. Účinky při aplikaci kompostového čaje jsou dány poměrem voda/kompost (Pant et al. 2012).

Aplikace kompostového čaje může být účinná i při hubení plevelů a lze to využít jako alternativní přístup k mechanické kultivaci nebo ručnímu okopávání. Kompostový čaj významně snižují přítomnost plevelů, neboť dochází ke zvýšení obsahu organické hmoty, a to může omezit růst plevelů (Ibrahim & Balah 2018).

3.4 Výluhy z vermikompostu

V posledních letech dochází k významným inovacím a pokroku v technologiích, využití a aplikacích vermikompostovacího výluhu. Výluhy z vermikompostu se využívají v širokém zemědělství, vinařství, zahradnictví, sadovnictví a pro komerční účely. Dávkování, frekvence a způsob aplikace se liší podle pěstebního systému a stávajících podmínek (Edwards et al. 2011).

Výluh z vermikompostu je známý svou schopností zvýšení mikrobiologické aktivity půdy přidáním milionu bakterií, hub, aktinomycet a prvků spolu s vedlejšími produkty jejich metabolismu (Edwards et al. 2011).

Výluhy z vermikompostu jsou tekutiny, které vznikají jako vedlejší produkt při procesu vermikompostování, což je proces, při kterém dochází k přeměně organických materiálů na vermikompost prostřednictvím činnosti žížal a mikroorganismů. Vznikají z důvodu neustálé aplikace vody do procesu, která zajišťuje správnou vlhkost během celého procesu. Výluhy z vermikompostu se běžně označují jako žížalí čaj (Quatik et al. 2012).

Složení výluhů z vermikompostu je ovlivněno složením substrátů, který vstupují do procesu. Jelikož jsou použité substráty bohaté na organickou hmotu a prvky jako dusík, fosfor a draslík pro výrobu vermikompostu, což zajišťuje obsah těchto látek ve výluhované kapalině. Tyto výluhy jsou schopné poskytnout živiny rostlinám nebo jako ochranný prostředek pro podporu výnosů a zajištění lepší zdraví půdy. Pěstitelé výluhy využívají pro jejich pozitivní účinky na vitalitu rostlin, lámání pupenů, barvu plodů a odolnost vůči chorobám a škůdcům. Díky používání výluhů dochází ke snížení spotřeby různých pesticidů a dalších nákladných prostředků (Quatik et al. 2012).

Při vermikompostování vznikají přirozeně výluhy a ty je potřeba vypouštět a odebírat ze systému, neboť by mohlo dojít k nasycení vermikompostu a mohly by nastat problémy s vyluhováním. Sběr výluhů během procesu může zabránit znečištění půdy a podzemních vod, pokud je proces realizován blízko povrchu zdroje podzemní vody (Quatik et al. 2012).

Pokud se jedná o řízenou a záměrnou výrobu výluhů, proces trvá několik hodin až dnů. Některé výluhy jsou vyrobeny pouze máčením vermikompostu ve vodě bez mechanického míchání nebo provzdušňování. Druhou metodou jsou výluhy vyrobené provzdušňováním, kdy do procesu je přiváděn vzduch, který podpoří přežití aerobních mikroorganismů a zároveň sníží kultivaci anaerobních mikroorganismů (Edwards et al. 2011).

Důležité je i skladování výluhů. Výluhy by měly být uchovávány v tmavém a chladném prostředí, aby se zabránilo rozkladu živin a mikroorganismů. Pokud jsou výluhy vystaveny vysoké teplotě nebo slunečnímu záření, mohlo by docházet ke ztrátě nebo rozkladu živin. Nejlepší je výluhy použít hned po jejich sběru, kdy je zachována jejich účinnost (Quatik et al. 2012).

3.4.1 Výroba, ředění a aplikace výluhů z vermikompostu

3.4.1.1 Výroba výluhů z vermikompostu

Výluhy z vermikompostů neboli žížalí čaje je možné vyrábět od malých domácích kompostérů až po nejpropracovanější komerční systémy. Výluhy lze získat pasivní činností nebo mechanickými systémy (Edwards et al. 2011).

Některé výluhy jsou vyrobeny pouze máčením vermikompostu ve vodě bez mechanického míchání nebo provzdušňování. Vermikompost je ponořen do vody a nechává se pasivně louhovat a proces trvá několik hodin až dnů (Edwards et al. 2011).

Využívanější jsou mechanické metody, do kterých je zařazena recirkulace, provzdušňování, míchání, hybridní systémy a extraktory. Při recirkulačních systémech je využito čerpadlo, které neustále přenáší roztok přes zachytnou nádrž, probíhá akce a přidává vzduch do systému pomocí víru, který se vytvořil při recirkulaci. Další způsob je výroba vermikompostovacího výluhu pomocí mechanické lopatky, která vytváří vír, míchá a strhává povrchový vzduch do roztoku. Nejběžnější jsou však systémy s přidáváním nuceného vzduchu. Tento typ zahrnuje různé typy ventilátorů a odlišnou rychlost proudění vzduchu. Hybridní systémy jsou složeny z jednoho nebo více mechanických operací, které jsou popsány výše. Posledním typem jsou takzvaní výtažkáři (extraktoři). Jedná se o provozování systémů jako extrakční jednotka se zkrácením doby „vaření“ (Edwards et al. 2011).

3.4.1.2 Ředění výluhů z vermikompostu

Ředění výluhu je důležitý krok před jeho aplikací na rostliny nebo do půdy. Proces spočívá v míchání koncentrovaného výluhu s vodou v určitém poměr, aby výsledná koncentrace měla dostatek živin a mikroorganismů pro rostliny. Při ředění je důležité dodržovat přesný poměr mezi výluhem a vodou, aby později nedošlo k přehnojení nebo odumření rostlin. Poměr se může lišit podle požadovaných živin, druhu nebo koncentrací výluhu. K ředění se využívá dechlorovaná voda, aby byly minimalizovány účinky chloru na mikroorganismy, které jsou obsaženy ve výluhu (Gutiérrez-Miceli et al. 2017).

Ředění výluhů zajišťuje optimální množství živin a je potřeba dodržovat správný postup při ředění. Pokud se používá například jako listové hnojivo, mohlo by dojít k přehnojení, a to může vést ke snížení výnosů (Gutiérrez-Miceli et al. 2017).

Pokud by koncentrované výluhy byly aplikovány, může dojít k jejich poškození nebo odumření rostliny. Použití koncentrovaného výluhu se může projevit nadměrným růstem listů na úkor květů nebo může dojít k popálení kořenů či listů. Popálení se projevuje skvrnami na postižených místech. Nezředěný výluh může tvořit příznivé podmínky pro růst a množení patogenních mikroorganismů, a to zvyšuje možnost výskytu chorob u rostlin (Quaik et al. 2012).

Při zředění výluhu z vermikompostování dochází k rovnoměrnému rozložení živin, kdy každá rostlina dostane optimální množství živin a minimalizuje se nerovnoměrné přijetí živin. Pokud by výluh nebyl naředěn, byly by živiny přijímány nerovnoměrně a docházelo by i k nerovnoměrnému vývoji a růstu rostliny (Aremu et al. 2015).

Ředění je výhodné z ekonomického hlediska, protože dokáže prodloužit trvanlivost a zvýšit jejich využití. Navíc je možné dosáhnout stejných výnosů jen s menší koncentrací výluhu (Gutiérrez-Miceli et al. 2017).

3.4.1.3 Aplikace výluhů jako hnojivo

Důležité je vědět, jak a kdy výluhy aplikovat, to znamená zvolit správný způsob výroby, ideální množství a strategii aplikace. Aplikace závisí na typu plodiny, typu půdy a počasí. Obvykle se aplikace vyzkouší na menší ploše plodin a až pak se výluhy z vermikompostů začínají aplikovat do celkové výroby (Edwards et al. 2011).

Výluhy lze využít jako kapalné hnojivo, neboť obsahuje vysoké koncentrace rostlinných živin, huminových látek a fulvokyselin. Živiny ve výluhu jsou v rozpustné formě, což z výluhu dělá skvělé hnojivo. Výluhy se mohou aplikovat pomocí postřiků na listy rostlin, přidáním do půdy nebo zaléváním kořenového systému (Tajeda et al. 2008).

Na rozdíl od vermikompostu lze výluhy aplikovat přímo na listy. Při aplikaci jako listové hnojivo dochází k omezení vyplavování, které může nastat z důvodu vlastností půdy nebo její struktury, a to může způsobovat různé rychlosti vyplavování. U půd s vysokou intenzitou vyluhování je aplikace hnojiv na povrch půdy snížena, neboť dochází k ztrátě živin dříve, než jsou vstřebány. Při aplikaci jako listové hnojivo živiny pronikají kutikulou a celulózní stěnou přes omezené nebo volné difúze. Je prokázáno, že ionty mohou být absorbovány pomocí průduchů listů. Doba aplikace listového hnojiva je důležitá, protože se doporučuje používat listové hnojivo, když jsou průduchy otevřené. Při použití výluhů jako listové hnojivo, je zabráněno problému s vyplavováním, které vzniká v důsledku vlastností půdy (Quaik et al. 2012).

Půdy s různou strukturou mají různé rychlosti vyluhování. U půd s vysokou intenzitou loužení je účinnost hnojiva aplikovaného na povrch půdy snížena, neboť se živina snadno vyluhuje. Většinou se kvůli tomu ztrácejí rostlinné živiny, protože se vyluhují dříve, než rostliny tyto živiny přijmou. Některé živiny jsou náchylnější k vyluhování v půdě, která obsahuje vysokou intenzitu jílu, proto se doporučuje listová aplikace výluhů.

Hnojiva, která se aplikují do půdy, jsou vystavena problému vyplavování, a to zejména v oblastech s vysokým úhrnem srážek, což nakonec může vést k znečištění vody a odtok se může dostat též ke zdroji povrchové vody. Pokud je rychlost vyplavování v půdě vysoká, aplikované živiny se ztrácejí před absorpcí kořeny rostlin (Quaik et al. 2012).

Výluhy z vermikompostů je možné použít při procesu kompostování jako součást procesu nebo jako aktivátor, díky kterému dochází k urychlení rozkladu organických látek. Výluhy lze přidat přímo do kompostu nebo nejprve smíchat se vstupními surovinami před zahájení procesu kompostování. Toto opatření se využívá pro urychlení rozkladu organické hmoty a pro posílení mikrobiální aktivity (Gutiérrez-Miceli et al. 2017).

3.4.2 Zlepšení vlastností a parametrů rostlin pomocí výluhů z vermikompostu

Vodní extrakty z vermikompostů mohou přispívat ke zlepšení vlastností a parametrů na rostliny několika způsoby (Besas et al. 2020).

Výluhy z vermikompostů zvyšují živinovou dostupnost pro rostliny, protože obsahují živiny v organické formě, které jsou převážně vázány na organické molekuly. Také zlepšují chelatační vlastnosti, což znamená zvyšování dostupnosti mikroelementů pro rostliny a tyto vlastnosti rostlinám zlepšují jejich vývoj a růst. Díky obsahu organických kyselin a dalších látek je možné vázat mikroelementy a usnadňovat jejich absorpci rostlinami. Organické živiny jsou často stabilnější a zlepšují strukturu půdy (Besas et al. 2020).

Aplikace výluhů do půdy zvyšuje retenci vody a živin v půdě, což umožňuje lepší vstřebávání živin pomocí kořenů rostlin a snižuje se riziko vymývání živin do spodních vod. Dochází ke zlepšení kořenového růstu a celkovému zdraví rostliny (Alvarez et al. 2019).

Výluhy z vermikompost posilují odolnost rostlin proti stresu a stresovým podmínkám, což jim umožňuje se lépe přizpůsobit i méně příznivým okolnostem. Výluhy obsahují prospěšné mikroorganismy, které jsou schopny stimulovat imunitní systém rostlin. Tyto mikroorganismy produkují látky, které dokážou zvyšovat odolnost rostliny proti různým patogenům a stresu, který způsobují škůdci. Dále výluhy obsahují bioaktivní látky, které také ovlivňují hormonální rovnováhu rostliny a zlepšují schopnost rostliny reagovat na stresové podmínky, mezi které patří například sucho nebo napadení škůdci. Výluhy také mohou obsahovat antioxidanty, které chrání rostliny před oxidačním stresem, který je způsobený volnými radikály. Tím dochází ke zlepšení odolnosti proti teplotním extrémům, znečištění a UV záření (Masondo et al. 2016).

Užívání vermikompostovacích čajů přispívá k udržitelnějšímu zemědělství a k ochraně životního prostředí. Dochází totiž ke snížení potřeby syntetických hnojiv a pesticidů a snižuje to dopady jako je znečištění vody, půdy či vzduchu (Masondo et al. 2016).

3.4.3 Potlačení patogenů pomocí výluhu z vermikompostu

Choroby rostlin představují hlavní problém při zahradnické a pěstební činnosti a pro zahradnický průmysl jsou choroby rostlin značnou výzvou. Jelikož se patogeny pomalu, ale jistě přizpůsobují novým strategiím, je potřeba přicházet na nové a účinné řešení (Edwards et al. 2011).

Jednou z možných strategií je použití vodných extraktů z vermikompostu, aby se dosáhlo odolnosti, která je vyvolaná substrátem. Je prokázáno, že vermikomposty dokážou upravovat kvalitu půdy, protože obsahují velké množství mikrobiální populace a společenstva. Produkce výluhů z vermikompostu může namnožit půdní mikrobiální populace, které mohou potlačovat rostlinné patogeny (Edwards et al. 2011).

Vermikomposty produkované pomocí mezofilního procesu mají větší rozmanitost mikroorganismů, než mají termofilní komposty. Tudiž i výluhy z vermikompostů podporují větší diverzitu mikroorganismů, čímž je nabízeno více vlastností v potlačování patogenů (Edwards et al. 2011).

3.4.4 Vliv výluhů z vermikompostu na růst a vývoj

Výluhy z vermikompostů výrazně podporují růst, klíčivost a výnosy plodin. Některé rozpustné minerály mohou totiž z vermikompostů přecházet do výluhů a ty jsou

transportovány až do rostlin a ty jsou odpovědné za některé růstové efekty (Edwards et al. 2011).

Růstové rostlinné hormony jako například kyselina indolyl-3-octová, gibereliny a citokyniny jsou velmi rozpustné a mohou snadno přecházet z vermikompostu do jeho výluhu a jsou produkovány velkými populacemi mikroorganismů ve vermikompostu. Při vermikompostování vznikají fulvové a huminové kyseliny, neboť je organická hmota stabilizována činností žížal a tyto kyseliny mohou do výluhů přecházet jako jemné částice (Edwards et al. 2011).

Růstové rostlinné hormony a regulátoři růstu mohou přecházet do vodných extraktů a přetrvávat tak v půdě déle než jednotlivé materiály. Rostlinné hormony se postupně vstřebávají do částic humátu a fulvátů a uvolňují se pomalu, aby byl podpořen růst rostlin po celou sezonu. Rozpustné rostlinné živiny jako dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík a další jsou ve vermikompostech snadno rozpustné a mohou se snadno dostat do jeho výluhů. Rozpustné volné enzymy mohou transformovat živiny a ty podporují přeměnu živin do forem, které rostliny snadno přijímají (Edwards et al. 2011).

Výluhy z vermikompostů jsou důležitými nástroji pro ekologické pěstitele a zemědělce, neboť dochází k eliminaci používání anorganických hnojiv v rostlinné produkci (Edwards et al. 2011).

3.5 Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu

Výluhy na bázi akvakulturního kalu jsou výluhy, které jsou vytvořeny procesem vermikompostování, při kterém je akvakulturní kal zpracován pomocí mikroorganismů a žížal. Vermikompostování akvakulturního kalu představuje recyklaci produktů z akvakulturního průmyslu a tím dochází ke snížení odpadů a vytvoření kvalitního vermikompostu a výluhu (Kouba et al. 2018).

Lze říci, že vermikompostové výluhy na bázi kalů z akvakultury nabízejí holistický přístup k obohacování půdy, výživě rostlin a udržitelnosti životního prostředí v zemědělství a zdůrazňují jejich potenciál jako cenných zdrojů pro moderní zemědělské postupy (Kouba et al. 2018).

Vermikompostování a využití výluhů z vermikompostu z akvakulturního kalu představuje poměrně nový obor v oblasti odpadového hospodářství a zemědělského výzkumu. V současné době je tento obor stále na začátku a existuje značný potenciál pro další výzkum a rozvoj. I přes stoupající zájem o udržitelné metody zpracování organického odpadu, jsou poznatky o vermikompostování akvakulturních kalů stále omezené. Je nezbytné provést další studie a experimenty, aby se lépe porozumělo procesům, vlastnostem výluhů z vermikompostu a jejich následné využití v zemědělství. Tento další výzkum může přinést nové poznatky o efektivních postupech, aplikacích a přínosech pro životní prostředí a zemědělství jako celek (Jasmin et al. 2020).

3.5.1 Příprava výluhu z verzmikompostu na bázi akvakulturního kalu

Nejprve je důležité získat akvakulturní kal, což je odpadní produkt z akvakulturního zařízení, jako jsou například rybníky, akvária nebo zařízení pro chov krevet. Tento kal obsahuje organické látky, živiny a mikroorganismy vhodné k vermikompostování (Kouba et al. 2018).

Akvakulturní kal se umístí do speciálních nádob, kde žížaly začínají konzumovat organický materiál a pomocí trávení ho přeměňují na vermikompost v kontrolovaném prostředí. Důležité je k akvakulturnímu kalu přidat papírové odpady či slámu, které jsou bohaté na uhlík, neboť čerstvý kal obsahuje velké množství amoniaku, a to je pro vermikompostování obecně problematické. Během tohoto procesu se uvolňují živiny a organické látky, které jsou obsaženy v kalu (Kouba et al. 2018).

V poslední řadě jsou výluhy získané z vermikompostu filtrovány nebo upravovány, aby se odstranily nečistoty a zlepšila se jejich čistota a kvalita (Kouba et al. 2018).

Při procesu se z vermikompostů uvolňují výluhy, které obsahují živiny a organické látky, což je cenný zdroj pro udržitelné zemědělské postupy (Kouba et al. 2018).

3.5.2 Vlastnosti výluhů z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu

Výluhy, které vznikají při vermikompostování akvakulturního kalu obsahují živiny, mikroorganismy a organickou hmotu, které mohou posílit struktury půdy a její živinovou hodnotu. Využívaný akvakulturní kal je bohatý na živiny, které jsou klíčové pro zdravý růst rostlin, jako například dusík, fosfor a draslík. Výsledný výluh zvyšuje množství těchto živin a pozitivně ovlivňuje pěstování rostlin v zemědělství či zahradnictví. Využívání výluhů zpracovaných z akvakulturního kalu je spojeno s potlačením některých chorob rostlin, podporuje prospěšné mikrobiální aktivity v půdě a podporuje koloběh živin (Mishra 2003; Musyoka & Nairuti 2021).

Využívání výluhu z vermikompostů, které vznikají z akvakulturního kalu, přináší mnoho řadu výhod pro udržitelnější zemědělství. Využívání těchto výluhů snižuje potřebu syntetických hnojiv a zároveň zvyšuje obsah organické hmoty a biologickou aktivitu v půdě. Tento proces přispívá k dlouhodobému udržování úrodnosti půdy a minimalizuje negativní dopady na životní prostředí, které jsou spojené s využíváním chemických hnojiv. Využívání výluhů na bázi akvakulturního kalu představuje ekologický a udržitelný způsob využití odpadních produktů z akvakultury pro produkci přírodního hnojiva. Tento přístup podporuje udržitelné zemědělství a přináší to ekologicky šetrnější postupy pro budoucí generace (Mishra 2003).

Probíhající výzkum a inovace v oblasti vermikompostování a využití průsakových vod z akvakultury pokračují ve zkoumání potenciálních přínosů, optimálních aplikačních dávek a dlouhodobých účinků začlenění těchto organických vstupů do zemědělských systémů (Mishra 2003).

3.5.3 Výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu v hydroponii

Při používání vermikompostového výluhu v hydroponických systémech je nezbytné vzít v úvahu faktory, jako je koncentrace průsakových vod, frekvence aplikace a kompatibilita s jinými hnojivy nebo chemikáliemi. Správné sledování a úprava hladiny živin jsou zásadní pro prevenci nadměrného hnojení a zajištění optimálního růstu rostlin. Celkově lze říct, že výluhy z vermikompostů na bázi akvakulturního kalu nabízí přirozený a udržitelný způsob, jak zlepšit výživu rostlin a zdraví půdy v hydroponických pěstebních systémech. Další výzkum a experimentování může pomoci zdokonalit aplikační techniky a maximalizovat výhody používání vermikompostového výluhu v hydroponii (Kouba et al. 2018).

3.6 Hydroponie

Hydroponie je všestranná technologie vhodná pro malé i velké výrobní systémy. Hydroponická technologie umožňuje produkci rostlin z extrémních ekologických ekosystémů, jako jsou pouště, horské nebo arktické oblasti, protože v hydroponii je možné lépe kontrolovat prostředí, ve kterém jsou pěstovány. Pěstování může probíhat i v hustě obydlených městských oblastech, neboť hydroponické systémy umožňují pěstovat rostliny ve vertikálních zahradách, což zvyšuje využití prostoru (Asao 2012).

Hydroponická produkce plodin se v posledních letech celosvětově zvýšila, protože dochází k efektivnějšímu využití vody a živin rostlinou a přináší to lepší kontrolu nad celým procesem. Hydroponická metoda zvyšuje produkci, produktivitu plodin, což vede k větší konkurenceschopnosti a ekonomickým možnostem (Asao 2012; Lee & Lee 2015).

Hydroponie je metoda, při které dochází k pěstování rostlin bez půdy s použitím minerálního živného roztoku ve vodním prostředí. Vodní prostředí obsahuje veškeré živiny, které rostlina potřebuje pro svůj růst. Tento způsob může být aplikován různými způsoby, jako například závlhka nebo zavlažování pomocí systému kapání (Asao 2012).

Tato technika umožňuje přesnou kontrolu nad příjmem živin rostlinou a poskytuje efektivní způsob pěstování rostlin v prostředí bez půdy. Minerální roztok používaný v hydroponii lze získat z různých zdrojů, včetně vermikompostovacího výluhu, který je použit pro svůj potenciál jako organické listové hnojivo a živný roztok v hydroponické kultuře (Asao 2012; Lee & Lee 2015).

Výhodou je také kontrola nad životními podmínkami rostlin, kdy pěstitelé mohou snadno upravovat pH roztoku, koncentraci živin a další parametry (Asao 2012).

Jednou z předností hydroponie je možnost dosáhnout vyššího výnosů rostlin ve srovnání s tradičními metodami pěstování. Rostliny mají snadný přístup ke všem potřebným živinám a mohou je rychle absorbovat z roztoku. Také dochází ke zlepšení morfologie a mikrobiálních vlastností hydroponicky pěstovaných rostlin, což následně vede ke zvýšené produkci (Asao 2012).

Celkově hydroponie představuje moderní a inovativní přístup k zemědělství, který přináší mnoho výhod v porovnání s tradičními metodami pěstování rostlin. Použití vermikompostovaného výluhu nabízí využití prostředků efektivněji, snižuje dopady na životní

prostředí a přispívá to k celkové environmentální udržitelnosti hydroponických systémů (Asao 2012).

3.6.1 Živný roztok

Živný roztok pro hydroponické systémy je vodný roztok, který převážně obsahuje anorganické ionty z rozpustných solí esenciálních prvků pro vyšší rostliny. Mohou být přítomny některé organické sloučeniny, jako jsou například cheláty železa (Asao 2012).

Esenciální prvek má jasnou fyziologickou roli a jeho absence brání úplnému životnímu cyklu. Pro rostlinu je považováno 17 esenciálních prvků, kterými jsou uhlík, vodík, kyslík, dusík, fosfor, draslík, vápník, hořčík, síra, železo, měď, zinek, mangan, molybden, bór, chlór a nikl. Kromě kyslíku a dusíku, které jsou dodávány z atmosféry, se získávají z růstového média. Prvky jako například sodík, křemík nebo selen jsou považovány za prospěšné a mohou stimulovat růst nebo kompenzovat toxické účinky jiných prvků. Obsah živin určuje elektrickou vodivost nebo osmotický tlak roztoku (Asao 2012; Lee & Lee 2015).

Důležitým rysem živných roztoků je obsah iontů v roztoku a chemické formy, které mohou být absorbovány rostlinami. V hydroponii je produktivita rostlin úzce spjata s příjmem živin a regulací hodnoty pH. Každá živina v roztoku vykazuje různé reakce na změnu pH. PH je důležitým parametrem hodnoceným u živných roztoků. Ideální hodnota pH v roztoku by se měla pohybovat okolo hodnot 5,5 a 6,5. Protože například měď, železo, zinek, bor a mangan jsou při vyšším pH nedostupné (Asao 2012; Lee & Lee 2015).

Koncentrace iontů v živném roztoku určuje růst, vývoj a produkci rostliny. Celkové množství iontů rozpuštěných solí v živném roztoku působí síla, která se nazývá osmotický tlak. Osmotický tlak představuje koligativní vlastnost živných roztoků a je přímo závislá na množství rozpuštěných látek (Asao 2012).

Teplota živného roztoku ovlivňuje příjem vody a živin plodinou. Optimální teplota pro ideální příjem živin se pohybuje okolo 25 – 30 °C (Asao 2012).

3.6.2 Příprava vodného roztoku

Přidávání živin do hydroponických systémů je prováděno podle potřeby rostlinných živin. Aplikace živin může být prováděna podle rozboru konkrétního stádia plodiny, které mohou popisovat spotřebu různých typických živin pro konkrétní plodinu. Složení a koncentrace živného roztoku jsou závislé na kultivačním systému, stádiu vývoje plodiny a na podmínkách prostředí (Asao 2012).

V kultivačním systému bez půdy může být uveden jakýkoliv iontový poměr a jakákoliv celková koncentrace iontů. Koncentrace živného roztoku by měla být taková, aby voda a ionty byly rostlinou absorbovány ve stejném poměru, jako jsou přítomny v roztoku (Asao 2012).

Pokud jde o přítomnost organismů ve vodě pro přípravu živného roztoku nebo v recirkulačním živném roztoku, lze kontroly dosáhnout pomocí tepelného zpracování, UV záření nebo membránovou filtrací. Použití levnější chemické úpravy, jako je využití

chromanu sodného nebo oxid chloričitý, může částečně vyřešit problém s patogeny (Asao 2012).

Důležité je provést chemický rozbor vody která je použita v živném roztoku. Znalost druhu a koncentrace iontů umožňuje identifikovat ty, které jsou potřebné v živném roztoku a ty, které v živných roztocích nejsou potřeba (Asao 2012).

3.6.3 Recyklace živného roztoku

Recyklace na jednu stranu může vést ke snížení množství vody využívané v hydroponii, což z ní dělá udržitelnější a ekologičtější metodu. Voda, která není rostlinami absorbována se může zachytit a znovu zavést do zásobníku nebo nádrže, což může vést ke snížení celkové spotřebě vody. Recyklace může snížit výrobní náklady a zvýšit ziskovost pěstitelů. Dále se snižuje riziko znečištění půdy nebo jiných vodních zdrojů. Recyklace živného roztoku v hydroponii může být účinný způsob, jak minimalizovat plýtvání hnojivy a znečištění životního prostředí (Miller et al. 2020).

Na druhou stranu může docházet k nahromadění solí, toxických látek a patogenů, což může následně vést k negativnímu ovlivnění růstu a zdraví rostlin. Při recyklaci je náročné udržet optimální koncentraci živin a minerálů, a to může následně vést k nerovnováze živin v prostředí rostlin. Systémy určené pro recyklaci živného roztoku potřebují neustálou kontrolu, aby se minimalizovaly negativní dopady na rostliny, což může být pro pěstitele náročné a nákladné (Miller et al. 2020).

Výhody a nevýhody recyklace živného roztoku v hydroponických systémech jsou důležité při zvažování a při navrhování odpovídajících recyklačních systémů (Miller et al. 2020).

3.6.4 Faktory ovlivňující hydroponii

Pro úspěšný průběh hydroponické metody je potřeba znát požadavky rostlin, které jsou potřeba pro jejich optimální růst. Existují faktory, na kterých je proces závislý a které je potřeba brát v úvahu (Sharma et al. 2022).

Prvním důležitým faktorem je voda, kterou rostliny potřebují ke svému růstu. Voda používaná pro hydroponii musí být v dostatečném množství, kvalitě, nesmí obsahovat žádné škodlivé patogeny a ani nepříjemné chemické prvky. Voda by měla mít přijatelnou teplotu, a hodnotu pH, která je mírně kyselá pro optimální růst rostlin. Udržování optimální hodnoty pH je klíčové pro úspěšnou hydroponickou produkci, proto by se mělo pH neustále monitorovat a upravovat parametry tak, aby docházelo ke zdravému růstu rostliny (Sharma et al. 2022).

Dalším důležitým faktorem pro správné fungování hydroponického systému je vzduch. Rostliny potřebují oxid uhličitý pro fotosyntézu a kyslík pro dýchání. Při slunečných dnech rostliny produkují více O₂ než potřebují pro své dýchání, ale v noci a spotřebovávají O₂ a produkují CO₂ (Sharma et al. 2022).

Pro fotosyntézu rostliny potřebují také světlo a není důležité jen množství slunečního záření, které se k rostlinám dostane, ale i délka dne, zastínění a kvalita světla. K rostlinám se dostává kombinace ultrafialového světla, všechny barvy ve viditelném barevném spektru a

infračervené světlo. Při nedostatečném množství přirozeného světla je potřeba dodat umělé osvětlení, což může být ekonomicky nákladné (Lei & Engeseth 2021).

Důležitou roli hraje i podnebí, protože teplota a vlhkost jsou nejdůležitější klimatické podmínky, které mohou ovlivnit růst rostliny. Nízké teploty mohou způsobit úhyn rostlin pod bodem mrazu nebo je naopak spálit při vysokých teplotách. Opylování, tvorba semen, klíčení a růst rostlin jsou ovlivněny teplotami pod nebo nad optimálním rozmezím než dojde k poškození mrazem nebo spálením. Vlhkost hraje důležitou roli při transpiraci a zavlažování, ale vysoká vlhkost může způsobit plísňová či jiná onemocnění (George & George 2016).

Důležitým faktorem jsou živiny. Rostliny pro svůj růst potřebují různé chemické prvky v relativně velkém množství a mikroživiny v nepatrných množstvích. Živiny jsou důležité, aby zabránily pomalému nebo naopak abnormálnímu růstu. Důležité je i udržovat prostředí čisté a pravidelně monitorovat rostliny, aby se předešlo možným problémům spojených s chorobami či škůdci (Quaik et al 2012; Biswas 2022).

3.6.5 Vlastnosti plodin z hydroponie

Důležité na začátek je určitě vybrat správnou odrůdu rostlin, která má schopnost absorbovat živiny z vodního prostředí a umí se přizpůsobit prostředí bez půdy (Lei & Engeseth 2021).

Rostliny z hydroponických systémů se vyvíjejí mnohem rychleji, neboť jsou dosaženy optimální podmínky umožňující snadněji a rychleji absorbovat živiny než tradiční metody (Lei & Engeseth 2021).

Dále díky neustálému monitorování a dodávání živin do systému mají rostliny z hydroponie tendenci vytvářet vyšší výnosy než rostliny, které jsou klasicky pěstovány v půdě. Dochází ke zvýšení efektivity pro zemědělské výroby (Lei & Engeseth 2021).

Rostliny rostoucí v hydroponickém systému často produkují plody s intenzivnější chutí, vyšším obsahem živin a s delší trvanlivostí. Nutriční hodnota bývá také mnohem vyšší oproti rostlinám pěstovaným pomocí tradičních metod, neboť mají snadnější přístup k živinám a minerálům v živném roztoku, což zlepšuje jejich kvalitu. Dochází ke konzistentní produkci po celý rok bez ohledu na to, jaká je zrovna sezóna, což zajišťuje spolehlivý zdroj plodin pro trh a jejich spotřebitele (George & George 2016).

Díky absenci půdy a celkové kontrole prostředí je zde mnohem menší riziko výskytu a napadení chorob a škůdců, což snižuje potřebu používání chemických látek a pesticidů (Lee & Lee 2015).

Všechny tyto vlastnosti oceňují jak zemědělci, tak i spotřebitelé, neboť dochází k efektivnějšímu způsobu pěstování s kvalitními a konzistentními produkty (Lee & Lee 2015).

4 Metodika

4.1 Prostory pro pěstování rostlin

Pro účely výzkumu bylo v podzemním podlaží Budovy B na Fakultě agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů České zemědělské univerzity v Praze vybudováno speciální pěstební zařízení nazývané indoor pěstírna, která má celkovou plochu 85 m². Tato pěstírna je rozdělena do 4 pěstebních místností a jedné centrální chodby. Každá pěstební místnost má rozměry 3 x 5 m (15 m²).

V každé místnosti jsou umístěny čtyři pěstební stoly o rozměrech 1 x 2 m (2 m²), což celkově tvoří 8 m² pro samotnou kultivaci rostlin. Každý pěstební stůl má kapacitu až pro 55 květníků o objemu 3,7 litru. Každý stůl je vybaven samostatnou nádrží na živný roztok o maximálním objemu 100 litrů.

4.1.1 Závlahový systém

Pro zavlažování rostlin je využíván systém kapilár umístěných do květináčů, které jsou připojeny k jednotlivým rostlinám. Během denního světelného režimu je zajištěno, že každá rostlina obdrží závlahu pomocí časovače, který denně spouští 9 závlahových cyklů a každý cyklus trvá 1 minutu. Během jednoho cyklu je rostlině dodáno 94 ml živného roztoku, což znamená, že denně je rostlině dodáno celkově 846 ml živného roztoku.

Systém pěstebních stolů umožňuje flexibilitu ve volbě způsobu nakládání s odpadním roztokem. Podle potřeby lze zvolit buď recirkulaci živného roztoku, kdy se odpadní roztok vrací zpět do systému a je znovu využit, nebo metodu "drain to waist" (odvod do odpadu), kdy je odpadní roztok odváděn do druhé nádrže a není znovu míchán s čerstvým živným roztokem.

4.1.2 Mikroklima

Mikroklima v pěstebním prostoru je udržováno pomocí vzduchotechnické jednotky, která monitoruje a reguluje specifické parametry prostředí (vzdušnou vlhkost, teplotu a koncentraci CO₂). Během kultivace je průměrná relativní vzdušná vlhkost udržována na úrovni 60 % a koncentrace CO₂ se udržuje na hodnotě 420 ppm (756 mg/m³). Pomocí generátoru je do vzduchu nepřetržitě dodáván CO₂, který pracuje na principu spalování methanu. Teplota je pečlivě regulována během celého vegetačního cyklu. Během denní fáze, kdy je přítomno světlo, je teplota udržována na 20 °C, zatímco v noční fázi je snížena na 15 °C. Teplota může být regulována podle potřeby jednotlivých rostlin.

4.1.3 Osvětlení

Pro osvětlení každé místnosti je použito šest vysokotlakých sodíkových (HPS) výbojek o výkonu 1000 W, které poskytují rostlinám kompletní světelné spektrum. Celkový výkon světél ve výši 6000 W poskytuje hustotu fotosynteticky aktivních fotonů (PPFD) 1029 μmol/m²/s pro celou pěstební místnost. Výkon světél lze upravit v rozmezí od 60 % do 120 %

základního výkonu (1000 W), což umožňuje flexibilitu v řízení osvětlení podle potřeb jednotlivých rostlin. U našeho experimentu byla počáteční světelná intenzita v místnost na úrovni 60 % z důvodu světelného šoku při přesunu vyklíčených rostlin pěstovaných pod LED světly do prostředí s HPS světly, přičemž svítala pouze polovina světel. V průběhu experimentu se výkon světel postupně zvyšoval tak, že v posledním týdnu dosahoval 80 %. Během experimentu byla udržována vegetační fáze tzv. „dlouhého dne“, kdy 18 hodin bylo světlo a 6 hodin tmy.

4.2 Použité materiály

Rostliny byly pěstovány v živném roztoku, vermikompostu, fugátu a zředěném fugátu. Vermikompost byl použit z předchozího experimentu od Pavly Kolářové z diplomové práce.

4.2.1 Anorganický živný roztok

Živný roztok byl připraven v kombinaci YaraTera Calcinit a YaraTera Kristalon spolu s kohoutkovou vodou. Připravený zásobní roztok byl zředěn tak, že celková koncentrace dusíku se pohybovala v rozmezí 145 – 150 mg/l. V roztoku byla namíchána hnojiva v množství 0,71 litrů a doplněna na 90 litrů roztoku.

YaraTera Calcinit představuje 100% vodou rozpustné dusíkaté hnojivo s vápníkem. Jeho formát může být jak sypký, tak velmi dobře granulovaný a snadno se rozpouští ve vodě bez jakýchkoliv zbytků. YaraTera Calcinit je bez chlóru a sodíku, což zvyšuje jeho univerzálnost a bezpečnost.

YaraTera Kristalon Hnědý je krystalické NPK hnojivo s hořčíkem a sírou, které se zcela rozpouští ve vodě. Obsahuje stopové prvky vázané v chelátových komplexech. Hnojivo je speciálně vyvinuto pro hydroponické pěstování a nabízí dusík v bezpečné nitrátové formě, která je šetrná k rostlinám.

4.2.2 Vermikompost

Vermikompost pro experiment se skládal ze směsi dvou různých vermikompostů. První varianta představovala pouze 100% akvakulturní kal se žížalami a druhá se skládala ze 100% akvakulturního kalu s 5% skořápkami se žížalami.

Tato směs byla smíchána v poměru 44,3:55,7, kdy první varianta přimíchávána do vermikompostu vážila 6,25 kg a druhá varianta 7,85 kg.

Vermikompost obsahoval substrát, který se skládal ze směsi matoliny a jablečných výlisků s dřevěnými pilinami v poměru 3:1. Tato směs byla následně inokulována žížalami *Eisenia andrei*.

Odvodněný kal z akvakultury, pocházející od společnosti Tilapia s.r.o., která se nachází v obci Hroby. Tato firma využívá moderní recirkulační systém. Odvodněný kal jde do bioplynové stanice, kde se transformuje na bioplyn, digestát a odpadní teplo. Firma se specializuje zejména na chov teplomilných sladkovodních ryb (např. *Oreochromis niloticus* a *Clarias gariepinus*).

4.2.2.1 Vermivýluh

Výluh byl připravován v pěstební místnosti ve vodní nádrži po dobu 24 hodin za stálého míchání pomocí elektrického míchače. Poté byl výluh přefiltrován přes síťovinu s oky o velikosti přibližně 1 mm (tato metoda byla použita i pro obě varianty s fugátem). Proces probíhal při pokojové teplotě v neosvětlené pěstební místnosti. V průběhu pěstebního cyklu byly všechny varianty provzdušňovány pomocí vzduchovacích kamenů. K přípravě výluhu bylo použito 2 kg vermikompostu na 90 litrů.

4.2.3 Fugát a zředěný fugát

Fugát v našem experimentu pochází z bioplynové stanice společnosti Agro Podlesí, a.s., která se nachází v Červených Janovicích. V bioplynové stanici probíhá anaerobní fermentace za udržování mezofilních teplotních podmínek. Hlavní surovinou používanou pro zpracování v této bioplynové stanici je kravský hnůj, který tvoří 70 % vlhké hmoty, spolu s kukuřičnou siláží (20 %) a travní hmotou. Separace fermentačního zbytku na separát a fugát je realizována v rámci této bioplynové stanice pomocí mechanického šnekového separátoru. Fugát byl poté podroben zpracování v poloprovozním nitrifikačním reaktoru, umístěném v areálu bioplynové stanice, s cílem převést většinu dusíku ve formě amonné na dusičnany.

Pro 100% fugát bylo použito 4,82 l fugátu, který obsahoval 1 154 mg/l celkového dusíku a množství bylo doplněno vodou na 90 litrů roztoku. Ředění proběhlo tak, aby se dosáhlo koncentrace celkového dusíku obdobné té v kontrolní variantě, která se pohybovala v rozmezí od 140 - 150 mg/l. V případě varianty s polovičním množstvím fugátu na koncentraci 70 - 75 mg/l a výchozí živný roztok byl připraven v objemu 90 litrů a obsahoval 2,41 litrů fugátu.

4.3 Rostlinný materiál

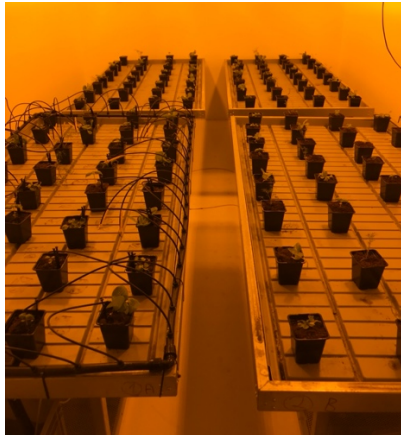
Uniformní rostlinný materiál pro pokusy byly salát, bazalka, polníček a kopr a byly vypěstovány v jedné z pěstebních místností. V této diplomové práci budou analýzy bazalky a kopr. Salát a polníček má ve své práci Nathalie Andrllová.

4.3.1 Setí a růst rostlin

Při experimentu bylo vysazeno 50 kusů od každé rostliny. Proces klíčení rostlin probíhal v rockwoolových kostkách, kde byly salát a bazalka vysazeny po třech kusech v jedné kostce, zatímco polníček a kopr byly vysazeny po pěti kusech, a to po dobu 3 týdnů. Teplota v pěstební místnosti byla nastavena na 25 °C a světlo bylo zajišťováno pomocí LED světel. Během klíčení byla pečlivě monitorována vlhkost, která byla postupně snižována. Počáteční vlhkost v prostoru pěstební místnosti byla nastavena na 90 % a postupně se snižovala o 10 % každý týden, dokud nedosáhla konečné hodnoty 70 %. Tento postup zajišťoval optimální podmínky pro klíčení a růst rostlin během experimentu.

4.3.2 Přesazení rostlin

Po uplynutí tří týdnů byly rostliny přesazeny do květináčů o objemu 0,5 litru. Z 50 kusů od každé rostliny bylo vybráno pouze 32 k přesazení. Jako pěstební substrát byla zvolena kokosová vlákna, která byla před použitím propařena, aby se zabránilo přítomnosti larv hmyzích škůdců. Tato kokosová vlákna byla vybrána jako inertní médium, což znamená, že neobsahovala žádné přidané živiny ani jiné látky. Tato opatření byla přijata s cílem zajistit optimální podmínky pro další růst a vývoj rostlin během experimentu.



Obr 1 rostliny z pěstební místnosti (Malík 2023)

4.3.3 Sklizeň rostlin

Po skončení byla nadzemní biomasa ustřižena, zvážena a označena variantou (obsahující druh, číslo a datum). Následně byly vzorky pečlivě zabaleny do pevného alobalu a ponořeny do dewaru obsahujícího tekutý dusík. Tyto vzorky byly poté uloženy v mrazáku při teplotě $-80\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro stanovení sušiny byly vzorky opět zváženy a zabaleny do papírových sáčků, následně uloženy do sušárny. V sušárně byly pomechány 24 hodin při $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ a následovalo další vážení. Dále bylo provedeno drcení vzorků pomocí mixéru a třecí misky. Nakonec byla provedena homogenizace všech vzorků. Z důvodu nedostatečného množství sušiny pro další laboratorní analýzy, bylo všech 8 dílčích vzorků jednoho druhu vždy sesypáno do jednoho smíšeného vzorku od každého druhu. Nakonec se vytvořilo 5 podvzorků.

4.4 Analýzy rostlinného materiálu

První část analytických stanovení se zabývá zajišťováním makroprvků a rizikových prvků a druhá část se zaměřuje na obsahy uhlíku, vodíku, dusíku a síry.

4.4.1 Stanovení celkových prvků

Pro stanovení makro, mikro a stopových prvků s výjimkou dusíku bylo vždy naváženo 0,5 g rostlinné části (list nebo stonek) předem homogenizovaného vzorku do křemenné kádinky.

První den byla rostlinná biomasa v kádince přikryta hodinovým sklíčkem a umístěna na topnou desku, kde docházelo k postupnému zvyšování teplot každou hodinu, aby

docházelo k postupnému rozkladu vzorků. Teploty byly nastaveny na 160 °C, 220 °C, 280 °C a 350 °C.

Následně byly vzorky přemístěny do muflové pece, kam se umístily vzorky bez hodinových skel a opět docházelo ke zvyšování teploty. Nejprve byla teplota nastavena na 350 °C, po hodině na 450 °C a po další hodině na 500 °C a při této teplotě se vzorky nechaly do druhého dne (16 hod).

Další den (po vychladnutí kádinek) byl do vzorků přidán 1 ml HNO₃ (65%) a kádinky byly umístěny na topnou desku o teplotě 120 °C, kde se nechala kapalina úplně odpařit.

Poté byly vzorky přemístěny do muflové pece na jednu hodinu při 500 °C, následovalo vychladnutí po dobu přibližně 10 minut. Následně byly vzorky převedeny do roztoku, kdy do kádinky bylo přidáno HNO₃ (1,5 %). Vzorky byly dány do ultrazvukové lázně, kde bylo potřeba oddělit vzorek od kádinky a kádinka byla přibližně 3x propláchnuta 1,5% NHO₃.

Následně byly vzorky přelity do zkumavky a doplněny na celkový objem 20 ml, zkumavka byla uzavřena parafilmem a dobře promíchána. Nakonec následovalo stanovení pomocí optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou (ICP-OES).



Obrázek 2 Rostlinná biomasa přikrytá sklíčkem na topné desce (Franců 2024)

4.4.2 Stanovení dusíku, uhlíku, vodíku a síry

Dále byly jemně rozdrcené vzorky použity pro stanovení celkového obsahu dusíku, uhlíku, vodíku a síry. Každý vzorek byl navážen na přibližně 20 mg do kádinek určených pro spalování. Navážený materiál byl opatrně zabalen do fólie pomocí pinzety, aby nedošlo ke ztrátám nebo kontaminaci vnějšími vlivy. Připravený vzorek byl analyzován pomocí kvantitativního rozkladu za vysokých teplot pomocí technologie Advanced Purge and Trap. Analýza probíhala v elementárním analyzátoru CHNS vario MACRO cube s vysokoteplotní spalovací jednotkou. Postupně dávkovaný materiál je tryskovým vstříkáváním kyslíku spalován při teplotách až 1200 °C

Oxidace dusíku, uhlíku, síry a vodíku vedla k uvolnění plynných reakčních produktů, které procházely skrz spalovací trubici. Vzniklé plyny byly následně zachyceny, absorbovány a separovány. Jednotlivé plyny byly transportovány k detektoru tepelné vodivosti, který

generoval elektrický signál na základě tvaru píku, což umožnilo vypočítat druh a koncentraci měřených látek.



Obrázek 3 příprava vzorků pro stanovení CHNS (Franců 2024)



Obrázek 4 připravené zabalené vzorky (Franců 2024)

4.5 Analýzy výživových roztoků

4.5.1 Prvkové složení roztoků

Po dokončení pěstebního cyklu byly odebrány vzorky všech výživových roztoků a podrobeny analýze, během níž byly stanoveny koncentrace určitých prvků podobně jako u suchého materiálu. Koncentrace sledovaných prvků byly měřeny pomocí atomové absorpční spektrometrie a optické emisní spektrometrie s indukčně vázanou plazmou.

Celkový obsah dusíku byl určen metodou Hach 10071 (Persulfate Digestion Method), přičemž vzorky byly zředěny 10x a následné analýzy byly provedeny na spektrofotometru Hach DR 3900.

4.5.2 Fyzikálně chemické parametry roztoků

Pro zjišťování fyzikálně chemických parametrů byly každodenně zaznamenávány hodnoty pH před a po úpravě, měrná elektrická vodivost (EC) a teplota, a dále byla sledována spotřeba kyseliny octové při změně pH. Případně byla zaznamenána i spotřeba hydroxidu draselného. Provzdušňování živného roztoku bylo měřeno dvakrát týdně (úterý a sobota) pomocí oxymetru, kdy byl analyzován obsah kyslíku. Jednou týdně (ve středu) byly odebrány dva vzorky všech roztoků, přičemž z každé varianty bylo odebráno přibližně 2x 35 ml a vzorky byly následně zmrazeny. Každý týden (ve středu) byla postupně zvyšována světelná intenzita o přibližně 10 %. Všechny varianty, kromě kontrolních, byly ručně zalévány po úpravě pH na hodnotu 6,5 denně v časovém rozmezí od 13 do 15 hodin. K úpravě pH byla používána kyselina octová pro snížení pH a hydroxid draselný pro zvýšení pH živného roztoku.

4.6 Statistické zpracování dat

Data byla zpracována pomocí tabulkového softwaru Microsoft Excel a programu Statistica 12. V Microsoft Excelu byla provedena základní analýza dat, jako jsou průměry, směrodatné odchylky a základní srovnání. Průměr byl vypočten pro každý odběr v každé variantě na základě opakování. Směrodatné odchylky byly spočítány pro tyto průměry a společně s nimi tvořily výsledky studie. Statistická analýza a ověření stanovených hypotéz proběhly následně v programu Statistica 12. Testování je provedeno na 5% hladině významnosti. Pokud je p-hodnota nižší než 5% hladina významnosti, tak se nulová hypotéza o nevýznamnosti zamítne na dané hladině. Tabulky ke statistickým komentářům jsou přílohách.

5 Výsledky

5.1 Výnos plodin

Výnosy rostlin jsou důležitým ukazatelem úspěšnosti zemědělské produkce a měří množství plodů, semen, ovoce nebo jiných užitkových částí rostlin, které jsou sklizeny z určité plochy v daném časovém období. Při zkoumání výnosů se pracuje s hmotností suchého a čerstvého materiálu a provádí se výpočet sušiny.

Sušina rostlin je často kritickým parametrem, protože ukazuje, kolik užitečného materiálu je obsaženo v rostlinách po odstranění vody. Výpočet sušiny se provádí jako poměr hmotnosti suchého k hmotnosti čerstvého materiálu, vyjádřený v procentech. Výnosy bazalky a kopru jsou uvedeny v *tabulce 1 a 2*.

Tabulka 1 Tabulka pro čerstvou a suchou hmotu a obsah sušiny pro bazalku

Varianta	Čerstvá hmota [g]	Suchá hmota [g]	Sušina [%]
Anorganický živný roztok	44,99 ± 6,97	6,26 ± 1,49	13,71 ± 1,58
Vermivýluh	4,29 ± 0,86	0,62 ± 0,17	14,2 ± 1,33
Fugát 100%	10,61 ± 1,51	1,63 ± 0,33	15,26 ± 1,18
Fugát 50%	6,60 ± 0,91	0,91 ± 0,18	13,74 ± 1,12

Tabulka 2 Tabulka pro čerstvou a suchou hmotu a obsah sušiny pro kopr

Varianta	Čerstvá hmota [g]	Suchá hmota [g]	Sušina [%]
Anorganický živný roztok	46,82 ± 4,69	6,67 ± 0,91	14,23 ± 1,22
Vermivýluh	2,00 ± 0,60	0,33 ± 0,09	16,50 ± 1,3
Fugát 100%	7,99 ± 1,49	1,32 ± 0,26	16,53 ± 1,07
Fugát 50%	2,95 ± 0,99	0,50 ± 0,17	16,95 ± 0,83

Všechny výnosy za každou variantu jsou zprůměrované z 8 rostlin, až na výnos sušiny bazalky z vermivýluhu, tam se jednalo o průměr z 9 rostlin.

Sušina bazalky a kopru se pohybovala v rozmezí 14 až skoro 17 %, což znamená, že z celkového rostlinného materiálu, který byl sklizen, zbývá po odstranění vody přibližně od 14 do 17 % hmotnosti.

V našem experimentu měla bazalka největší výnos sušiny ve 100% fugátu a kopr zase ve 50% fugátu, naopak nejmenší výnos měla bazalka i kopr ve vermivýluhu.

Dle F-testu s p-hodnotou 0,1237 se nepodařilo nulovou hypotézu o shodě průměrů zamítnout. Neprokázalo se, že by se alespoň jedna kategorie významně lišila od ostatních. Není tedy potřeba dělat další POST-HOC analýzu.

Dle ANOVA testu se podařilo prokázat, že se alespoň jeden z roztoků významně liší od ostatních. Na základě toho byl proveden Tukeyův HSD test, jehož p-hodnoty jsou uvedeny v tabulce. Z výsledků lze vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi Anorganickým

živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, fugát 100 a fugát 50 se mezi sebou významně neliší.

5.2 Analýzy rostlinného materiálu

Všechny varianty byly zkoumány ohledně celkového obsahu prvků. Za účelem vyhodnocení byly celkové obsahy přepočteny na mg/kg podle skutečné hmotnosti.

5.2.1 Prvkové složení rostlin

Prvky dusík, draslík, fosfor a vápník jsou pro rostliny důležité jako makroprvky, protože plní klíčové role v jejich životních procesech a metabolismu.

Zároveň měď a zinek jsou rizikové prvky, protože při nadměrném množství mohou být toxické pro rostliny. Nicméně, tyto prvky jsou stále důležité pro rostliny v malých množstvích. V *tabulkách 3 a 4* je uvedené prvkové složení rostlin.

Tabulka 3 Prvkové složení bazalky

Varianty	Prvkové složení rostlin [mg/kg]					
	Ca	K	Mg	P	Cu	Zn
Anorganický živný roztok	17 886,6 ± 297	49 663,3 ± 1 444,1	5 392,1 ± 115,1	9 586,4 ± 232,2	7,77 ± 0,21	48,02 ± 0,65
Vermivýluh	10 422,9 ± 201,3	51 433,1 ± 1 080	3 156,34 ± 36,6	4 046,3 ± 52,9	5,68 ± 0,12	53,49 ± 0,94
Fugát 100%	4 431,5 ± 67,54	52 257,5 ± 659,6	2 304,8 ± 42,3	3 483,8 ± 75,2	2,72 ± 0,23	37,33 ± 0,84
Fugát 50%	6 897,3 ± 383,05	55 513,4 ± 1 067,5	2 457,8 ± 52,9	3 683,3 ± 54,9	5,29 ± 0,05	37,56 ± 0,78

Tabulka 4 Prvkové složení kopru

Varianty	Prvkové složení rostlin [mg/kg]					
	Ca	K	Mg	P	Cu	Zn
Anorganický živný roztok	12 688,4 ± 545	70 884 ± 2 016,7	3 934,6 ± 178,8	6 602,3 ± 337,4	11,84 ± 0,55	44,96 ± 2,16
Vermivýluh	4 399,2 ± 57,2	54 862 ± 1 745,5	2 070,2 ± 71,4	6 555 ± 299,9	2,63 ± 0,06	18,78 ± 0,38
Fugát 100%	3 819,8 ± 82,8	54 990,5 ± 1 259,2	2 061,6 ± 47,09	4 084,2 ± 96,1	2,72 ± 0,23	20,89 ± 0,82
Fugát 50%	4 611,5 ± 65	54 723,1 ± 955	2 148,5 ± 52,9	3 706,3 ± 69,8	1,73 ± 0,05	16,86 ± 0,39

V obou rostlinách, jak bazalce i kopru, byly největší hodnoty naměřeny u draslíku ve všech výživových variantách. Jak je vidět v *tabulce 3 a 4*, hodnoty jsou několikanásobně větší než u ostatních prvků, což může znamenat až nadměrné množství.

Nejmenší koncentrace vápníku, hořčíku, fosforu, mědi a zinku byly naměřeny u bazalky z 100% fugátu a nejmenší koncentrace draslíku u vermivýluhu. U kopru byly nejnižší hodnoty vápníku a hořčíku naměřeny z 100% fugátu draslík, fosfor, měď a zinek z 50% fugátu.

Naopak u rizikových prvků, zinku a mědi, byly naměřeny nízké hodnoty, což je pro rostliny přivětivé, neboť nadměrné množství už je pro rostliny toxické.

U bazalky pro vápník testu se podařilo prokázat, že se alespoň jeden z roztoků významně liší od ostatních. Z výsledků lze vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi všemi jednotlivými typy roztoků. U draslíku lze vidět, významně se liší anorganický živný roztok s 100% fugátem a 50% fugátem, dále je dle p-hodnot významný rozdíl mezi 100% fugátem a 50% fugátem. Ostatní typy roztoků se mezi sebou významně neliší. U hořčíku, fosforu a zinku se významné rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě 100% fugátu a 50% fugátu, které se mezi sebou významně neliší. U mědi se významné rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě vermivýluhu a 50% fugátu.

U kopru pro vápník se prokázaly rozdíly mezi všemi jednotlivými roztoky až na vermivýluh a 50% fugát. U draslíku se rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě vermivýluhu, 100% fugátem a 50% fugátem, které se mezi sebou významně neliší. Hořčík u kopru je vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát se mezi sebou významně neliší. U draslíku se významné rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě vermivýluhu a 100% fugátu, které se mezi sebou významně neliší. U mědi se významné rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě vermivýluhu, 100% fugátu a 50% fugátem, které se mezi sebou významně neliší. Zinek u kopru vykazoval významné rozdíly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě vermivýluhu a 50% fugátem, které se mezi sebou významně neliší.

V případě kopru se u všech zkoumaných prvků podařilo prokázat rozdíl mezi anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. U bazalky se u všech zkoumaných prvků prokázaly významné rozdíly mezi anorganickým živným roztokem a 100% fugátem a 50% fugátem, rozdíl mezi anorganickým živným roztokem a vermivýluhem nebyl prokázán u draslíku (K).

5.2.2 Stanovení dusíku, uhlíku, vodíku a síry

Uhlík a dusík jsou nezbytné pro zdravý růst a vývoj a pomáhají rostlinám lépe využívat ostatní živiny a podporují jejich zdravý a vyvážený růst. CHNS pro bazalku a kopr je vyzobrazeno v *tabulce 5 a 6*.

Tabulka 5 CHNS pro Bazalku

Parametr	Výživová varianta			
	Anorganický živný roztok	vermivýluh	fugát 100%	fugát 50%
N%	4,04 ± 0,06	1,21 ± 0,04	1,45 ± 0,04	1,53 ± 0,03
N [mg]	0,95 ± 0,06	0,26 ± 0,02	0,34 ± 0,04	0,33 ± 0,04
N [mg/g sušina]	40,38 ± 0,59	12,14 ± 0,45	14,48 ± 0,41	15,28 ± 0,34
C %	41,22 ± 0,1	41,10 ± 0,06	41,78 ± 0,1	41,25 ± 0,04
C [mg]	9,71 ± 0,7	8,87 ± 9,0,64	9,71 ± 0,93	8,88 ± 0,82
C [mg/g sušina]	412,22 ± 1	410,96 ± 0,63	417,78 ± 1,04	412,5 ± 0,44
H %	6,4 ± 0,07	6,32 ± 0,03	4,48 ± 0,08	6,23 ± 0,04
H [mg]	1,51 ± 0,12	1,37 ± 0,1	1,51 ± 0,16	1,34 ± 0,13
H [mg/g sušina]	63,95 ± 0,73	63,23 ± 0,32	64,79 ± 0,79	62,3 ± 0,42
S %	0,55 ± 0,1	0,23 ± 0,02	0,23 ± 0,03	0,18 ± 0,01
S [mg]	0,13 ± 0,02	0,05 ± 0,002	0,05 ± 0,01	0,04 ± 0,05
S [mg/g sušina]	5,54 ± 1,02	2,3 ± 0,19	2,26 ± 0,25	1,82 ± 0,11
C/N	10,2 ± 1,7	33,9 ± 1,4	28,9 ± 2,5	1,82 ± 0,11

Tabulka 6 CHNS pro kopr

Parametr	Výživová varianta			
	Anorganický živný roztok	Vermivýluh	Fugát 100%	Fugát 50%
N%	4,65 ± 0,04	1,45 ± 0,02	1,6 ± 0,03	1,82 ± 0,03
N [mg]	1,04 ± 0,08	0,32 ± 0,04	0,36 ± 0,04	0,42 ± 0,02
N [mg/g sušina]	46,5 ± 0,44	14,48 ± 0,16	13,96 ± 0,35	18,16 ± 0,33
C %	38,78 ± 0,25	40,51 ± 0,23	41,33 ± 0,11	41,04 ± 0,1
C [mg]	8,86 ± 0,82	8,99 ± 1,06	9,39 ± 1,02	9,48 ± 0,52
C [mg/g sušina]	397,82 ± 2,54	405,14 ± 2,27	413,28 ± 1,14	410,39 ± 0,96
H %	6,37 ± 0,05	6,68 ± 0,07	6,66 ± 0,06	6,59 ± 0,3
H [mg]	1,42 ± 0,11	1,48 ± 0,19	1,51 ± 0,17	1,51 ± 0,09
H [mg/g sušina]	63,66 ± 0,49	66,79 ± 0,71	66,59 ± 0,57	65,93 ± 0,34
S %	0,49 ± 0,04	0,28 ± 0,02	0,36 ± 0,1	0,19 ± 0,02
S [mg]	0,11 ± 0,005	0,06 ± 0,005	0,08 ± 0,02	0,04 ± 0,01
S [mg/g sušina]	4,89 ± 0,43	2,83 ± 0,16	3,62 ± 1,01	1,89 ± 0,19
C/N	8,6 ± 5,7	28 ± 14,2	25,9 ± 3,3	22,6 ± 3

Výsledky pro jednotlivé prvky pro všechny výživové varianty jsou velmi podobné a nejsou mezi nimi výrazné rozdíly, až na obsahy dusíku. Největší hodnoty byly naměřeny pro uhlík pro bazalku i kopr. Nejmenší hodnoty byly naměřeny pro síru pro bazalku i kopr.

Větší množství dusíku v mg/g sušiny obsahuje kopr pro anorganický živný roztok, vermivýluh i 50% fugát, ale naopak u 100% fugátu je větší obsah dusíku u bazalky. Vyšší obsahy uhlíku v mg/g sušiny jsou obsaženy ve všech výživových variantách u bazalky. Vyšší množství vodíku v mg/g sušiny se nachází u kopru pro vermivýluh, 100% fugát i 50% fugát, o pár setin je větší množství vodíku pro anorganický živný roztok pro bazalku. Síra je více zastoupena u bazalky v případě anorganického živného roztoku a naopak u kopru je více zastoupena ve vermivýluhu, 100% fugátu a 50% fugátu.

Největší množství dusíku bylo naměřeno pro anorganický živný roztok pro bazalku i kopr. Díky tomuto množství byly i největší výnosy obou rostlin právě z této výživové varianty.

Pro dusík pro bazalku se významné rozdíly prokázaly mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě 100% fugátu a 50% fugátu, které se mezi sebou významně neliší. Obsah uhlíku v bazalce se významně mezi fugátem 100% a ostatními jednotlivými typy. Ostatní typy roztoků rozdíly neprokázaly. Obsah síry v Anorganickém živném roztoku se významně liší s 50% fugátem. Dále se významně liší vermivýluh a 100% fugát a také 50% fugát. U obsahů síry v bazalce je z výsledků vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi Anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát se mezi sebou významně neliší.

Mezi obsahem dusíku v jednotlivých typech roztoků je vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi všemi jednotlivými typy roztoků. Pro uhlík v kopru jsou významné rozdíly prokázány mezi všemi jednotlivými typy roztoků, kromě 100% fugátu a 50% fugátu, které se mezi sebou významně neliší. Pro vodík obsažený v kopru je vidět, že statisticky významné rozdíly jsou mezi anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát se mezi sebou významně neliší. U obsahy síry v Anorganickém živném roztoku se významně liší s vermivýluhem, 100% fugátem a 50% fugátem. Další významný rozdíl je mezi 100% fugátem a 50% fugátem.

5.3 Analýzy roztoků

Optimální prvkové složení hydroponických roztoků je klíčové pro zdravý růst a vývoj rostlin. Rostliny potřebují specifické minerály a živiny, jako je dusík, fosfor, draslík, vápník a hořčík, aby mohly využít svůj potenciál. Tyto prvky jsou nezbytné pro důležité procesy v rostlinách, jako je tvorba chlorofylu, vývoj buněčných struktur a fotosyntéza. Nedostatek nebo nadbytek těchto prvků může vést k problémům, jako je např. žloutnutí listů nebo snížená úroda. Prvkové složení roztoků je vyzobrazeno v *tabulce 7*.

Kromě toho je správné složení hydroponických roztoků klíčové pro udržení vhodného pH prostředí, které ovlivňuje dostupnost živin pro rostliny. Celkově je správně sestavený hydroponický roztok základem pro úspěšnou a zdravou úrodu v hydroponickém prostředí. Fyzikálně chemické vlastnosti roztoku jsou vyzobrazeny v *tabulce 8*.

5.3.1 Prvkové složení roztoků

Tabulka 7 Fyzikálně chemické parametry výživových variant roztoku

Varianta	doba odběru	Prvky v živném roztoku (mg/l)				
		K	P	Ca	celk. N	Mg
Anorganický živný roztok	1. týden	317,13	37,88	181,43	145,2	27,76
	2. týden	354,17	43,53	192,86	189,2	33,43
	3. týden	399,65	59,82	264,29	190,55	51,79
	4. týden	631,76	46,3	290	231,4	61,34
	Za období	425,67 ± 122,51	46,88 ± 8,06	232,14 ± 46,08	189,08 ± 30,49	43,58 ± 13,57
Vermivýluh	1. týden	54,72	20,64	22,86	9,35	14,56
	2. týden	60,38	22,11	25,43	4,2	15,44
	3. týden	75,89	25,06	26	7,2	17,55
	4. týden	243,06	39,8	54,86	11,18	22,22
	Za období	108,51 ± 78,06	26,9 ± 7,61	32,28 ± 13,08	7,98 ± 2,59	17,44 ± 2,97
Fugát 100%	1. týden	193,26	10,33	40,71	64,94	18,66
	2. týden	263,89	13,63	55,43	21,95	24,18
	3. týden	145,28	8,62	29,71	13,1	15,39
	4. týden	968,59	61,67	228,57	38,93	74,88
	Za období	392,75 ± 335,12	23,56 ± 22,07	88,6 ± 81,32	34,73 ± 19,75	33,28 ± 24,22
Fugát 50%	1. týden	91,8	5,68	40,57	36,54	16,12
	2. týden	109,18	5,83	44,57	0	16,72
	3. týden	148,05	6,72	54,57	0,35	21,19
	4. týden	631,79	26,04	121,14	24,66	41,87
	Za období	245,2 ± 224,12	11,6 ± 8,65	65,21 ± 32,68	15,38 ± 15,78	23,97 ± 10,52

Prvkové složení výživových roztoků hrálo klíčovou roli pro růst a výnosy rostlin. Nejvyšší výnosy rostlin byly dosaženy v anorganickém živném roztoku, kde bylo podstatně více obsaženého dusíku než v ostatních variantách. Rostliny pěstované v anorganickém živném roztoku obsahovaly více dusíku oproti rostlinám pěstovaných v ostatních variantách (vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát).

V Anorganickém živném roztoku jsou největší hodnoty pro všechny sledované prvky (dusík, draslík, vápník a horčík), což znamenalo i nejvyšší výnosy rostlin z této výživové varianty. Naopak nejnižší koncentrace prvků byly u vermivýluhu, což znamenalo i nejnižší výnosy rostlin.

Stabilní a velký nárůst dusíku je zaznamenán pro anorganický živný roztok každý týden. Díky vysokým hodnotám dusíku v této výživové variantě jsou i vysoké výnosy rostlin.

V posledním týdnu je u vermivýluhu a fugátech vidět skokový nárůst dusíku, který je ovlivněný poklesem hladin živných roztoků ve všech výživových variantách a docházelo k odebírání analyzovaných vzorků ze spodní části nádrže, kde v průběhu experimentu docházelo ke shluku organické hmoty. Nejméně dusíku obsahoval vermivýluh s průměrnou hodnotou 8 mg/l.

Existuje statisticky významný rozdíl mezi anorganickým živným roztokem a organickými variantami výživových roztoků (vermivýluh, fugát 100% a fugát 50%), ale neexistuje statisticky významný rozdíl mezi organickými výživovými variantami.

Pro draslík a hořčík neexistuje žádný statisticky významný rozdíl mezi jednotlivými variantami. Neprokázalo se, že by se alespoň jedna kategorie významně lišila od ostatních. Není tedy potřeba dělat další POST-HOC analýzu.

Pro fosfor existuje statisticky významný rozdíl mezi anorganickým živným roztokem a 50% fugátem, jinak se mezi sebou roztoky neliší. Pro vápník a dusík v roztocích existují statisticky významné rozdíly jsou mezi anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát se mezi sebou významně neliší.

5.3.2 Fyzikálně chemické parametry živných roztoků

Tabulka 8 parametry pro výživové roztoky

Varianta	doba odběru	Parametry živných roztoků			
		pH _I	EC [dS/m]	T [°C]	O ₂ [mg/l]
Anorganický živný roztok	1. týden	6,67	1,4 ± 0,09	20,53 ± 1,17	10,9
	2. týden	6,51 ± 0,11	2,82 ± 0,15	20,95 ± 0,16	6,85 ± 0,05
	3. týden	6,45 ± 0,12	3,38 ± 0,26	22,4 ± 0,55	5,97 ± 0,63
	4. týden	6,82 ± 0,25	4 ± 0,91	22,46 ± 1,37	6,3 ± 0,5
	Za období	6,61 ± 0,24	3,19 ± 0,8	21,64 ± 1,31	6,49 ± 1,22
Vermivýluh	1. týden	7,74	0,66 ± 0,02	22,01 ± 0,24	12,4
	2. týden	7,81 ± 0,07	0,93 ± 0,43	22,25 ± 0,46	5,25 ± 0,35
	3. týden	7,77 ± 0,4	0,91 ± 0,07	23,11 ± 0,07	4,51 ± 1,59
	4. týden	7,71 ± 0,56	1,22 ± 0,12	24,09 ± 0,21	0,6 ± 0,25
	Za období	7,76 ± 0,39	0,95 ± 0,3	22,97 ± 0,94	3,15 ± 3,12
Fugát 100%	1. týden	8,19	1,7 ± 0,03	21,44 ± 0,88	8
	2. týden	8,23 ± 0,08	1,66 ± 0,25	22,45 ± 0,7	4,95 ± 0,15
	3. týden	8,13 ± 0,12	2,05 ± 0,2	24,21 ± 0,6	1,73 ± 0,91
	4. týden	8,35 ± 0,37	3,36 ± 0,92	24,58 ± 0,42	0,43 ± 0,17
	Za období	8,24 ± 0,26	2,29 ± 0,9	23,29 ± 1,46	1,78 ± 2,07
Fugát 50%	1. týden	8,09	1,08 ± 0,02	21,89 ± 1,75	7,2
	2. týden	8,18 ± 0,04	1,11 ± 0,02	23,43 ± 0,43	5,15
	3. týden	8,12 ± 0,15	1,34 ± 0,11	25,46 ± 0,69	3,05 ± 1,34
	4. týden	8,45 ± 0,45	2,21 ± 0,49	26,12 ± 0,82	0,98 ± 0,98
	Za období	8,26 ± 0,32	1,5 ± 0,56	24,38 ± 2	2,63 ± 2,06

Z tabulky lze vyčíst, že hodnoty pH byly pro organické varianty vyšší než pro anorganickou variantu. Pro snižování pH byla použita kyselina octová. Pro organické varianty bylo použito větší množství kyseliny octové než pro anorganický výživový roztok. Největší hodnoty pH byly naměřeny u 50% fugátu.

EC neboli elektrická vodivost, představuje koncentraci minerálních solí v živném roztoku. Největší hodnoty elektrické vodivosti byly zaznamenány u anorganického živného roztoku. Naopak nejmenší hodnoty byly naměřeny u vermivýluhu.

Ve všech variantách docházelo k mírnému nárůstu teplot každý týden. Nejvyšší zaznamenané teploty byly u 50% fugátu zároveň i s největší směrodatnou odchylkou. Nejvíce stabilní teploty byly naměřeny u vermivýluhu.

Nejvyšší koncentrace kyslíku byla naměřena v anorganickém výživovém roztoku a v průběhu experimentu docházelo k postupnému snížení. Zatímco u organických variant docházelo ke skokovému snížení hodnoty kyslíku. Největší pokles kyslíku byl zaznamenán u vermivýluhu. Organické varianty obsahují různé mikroorganismy a dochází k větší spotřebě kyslíku, což značí nižší hodnoty u těchto variant.

Pro pH existují statisticky významné rozdíly pro všechny varianty roztoků kromě mezi 100% fugátem a 50% fugátem. U elektrické vodivosti existují statisticky významné rozdíly mezi všemi variantami roztoků. Pro teplotu existují statisticky významné rozdíly pro všechny typy roztoků kromě mezi vermivýluhem a 100% fugátem. U kyslíku existují statisticky významné rozdíly jsou mezi anorganickým živným roztokem a všemi třemi dalšími typy roztoků. Roztoky vermivýluh, 100% fugát a 50% fugát se mezi sebou významně neliší.

6 Diskuze

6.1 Výnosy rostlin

Výnosy rostlin z hydroponie jsou závislé na mnoha faktorech, například na pH, teplotě, naměrné elektrické vodivosti, na koncentraci rozpuštěného kyslíku a na koncentraci jednotlivých živin. Výnosy jsou závislé i na průtoku výživových roztoků, jak uvádí Baiyin et al. (2021). Rychlost proudění ovlivňuje růst rostlin a lze jí regulovat tak, aby se zvýšil výnos plodin. Musí být dosažena adekvátní doba kontaktu a četnost kolizí mezi kořeny a živými ionty, aby se podařila absorpce živin, a to následně zvýšilo růst rostlin. Pro vysoký výnos plodin se musí hlídat koncentrace živin v živých roztocích, neboť příliš zvýšená koncentrace může způsobit snížený výnos či počet plodů u rostlin a plodin, jak uvádí Fayeziadeh et al. (2021).

Podle vyhledávání je salát a čekanka nejčastěji pěstovanou plodinou v hydroponii. Dále i Airese (2018) uvedl, že salát je nejvíce hydroponicky pěstovanou plodinou. Sharma et al. (2018) uvedli, že salát pěstovaný hydroponicky má kratší životní cyklus než při tradičním konvekčním pěstování a lze ho sklízet po 35 – 40 dnech, což může být důvod, proč se hlávkový salát a čekanka v hydroponickém prostředí pěstuje častěji.

Kromě toho Sharma et al. (2018) také uvedli, že chuť, kvalita potravin a nutriční hodnota zeleninových plodin (např. u rajčat, chilli papriček a paprik) vypěstovaných hydroponicky jsou obecně vyšší než u klasických půdních metod.

Bazalka i kopr jsou také vhodné pro pěstování bez půdy a několik studií používá bazalku jako hydroponickou nebo akvaponickou plodinu (Roosta 2014; Mangmang et al. 2016). Bazalka reaguje lepším výnosem v systémech bez půdy než v konvenčních systémech.

Gasghari et al. (2018) uvedli, že účinnost hydroponického systému je závislá na typu plodin. Je důležité si uvědomit, že ne všechny plodiny jsou vhodné pro pěstování v hydroponii. Mezi takové plodiny patří druhy, které potřebují větší pěstební prostor (např. zelí) nebo mají rozsáhlé kořenové systémy (např. cibule) nebo mají větší plody (např. meloun).

Bazalka pěstovaná u Albadwawi et al. (2022) v půdním systému měla po 40 dnech výnos v průměru ze sedmi vzorků v čisté hmotnosti 45,89 g a v suché hmotnosti v průměru 3,77 g. Bazalka u Albadwawi et al. (2018) produkovala pouze 0,6 kg na 1 m² a byla taktéž pěstována v rockwool kostkách, byla pěstována ve skleníku, kde průměrná denní teplota se pohybovala okolo 19,2 – 26,4 °C a relativní vlhkostí 40 – 60 %, ale bohužel plocha není v článku uvedena. Což se rovná hmotnosti bazalky pěstované v našem pokusu v anorganickém živném roztoku, zatímco u ostatních organických variant byly mnohem nižší výnosy. Ve vermivýluhu byl výnos bazalky mnohem nižší a to v průměru 4,29 g čtvrté biomasy, ale stále se jednalo o vyšší výnos než z klasických půdních metod.

Kopr pěstovaný u Sahel et al. (2019) byl pěstovaný v písčité půdě, kde teplota vzduchu byla v rozmezí 17 – 16,7 °C a relativní vlhkost se pohybovala okolo 24 – 47 %, a výnos byl pouze 0,33 g výnos čerstvé hmoty, zatímco v našem pokusu se výnos kopru ve vermivýluhu pohyboval kolem 2 g. Bohužel u Sahel et al. (2019) není též uvedena plocha. Z využitých výživových variant výnosy kopru z vermivýluhu byly nejmenší, ale větší než pěstovaný kopr v půdě.

6.2 Prvkové složení rostliny

U Albadwawi et al. (2022) v experimentu obsahovala bazalka pěstovaná v půdě v průměru ze 7 vzorků 28 700 mg/kg vápníku, 7 100 mg/kg draslíku, 3 800 mg/kg hořčíku, 9 900 mg/kg fosforu, 13,8 mg/kg mědi a 61,1 mg/kg zinku. Bližší informace ohledně pěstované bazalky jsou uvedeny výše. Ve vermivýluhu z našeho pokusu měl v průměru 10 422 mg/kg vápníku, 51 433 mg/kg draslíku, 3 156 mg/kg hořčíku, 5,68 mg/kg mědi a 53,49 mg/kg zinku, což znamená, že až na vápník jsou v bazalce pěstované ve vermivýluhu vyšší koncentrace prvků než pokud je bazalka pěstovaná v půdě.

Kopr pěstovaný v půdě u Giordano et al. (2022) měl koncentrace prvků následující; 18 000 mg/kg vápníku, 21 700 mg/kg draslíku, 1 810 mg/kg hořčíku, 6 555 mg/kg fosforu 7 170 mg/kg fosforu, a a 27 mg/kg zinku. Zatímco v našem pokusu kopr pěstovaný ve vermivýluhu obsahoval 4 399 mg/kg vápníku 54 862 mg/kg draslíku, 2 070,2 mg/kg hořčíku a 18,78 mg/kg zinku. Až na koncentrace vápníku, tak kopr pěstovaný ve vermivýluhu z akvakultury má větší koncentrace živin.

Největší obsahy prvků měla bazalka i kopr, pokud byly vypěstované z anorganického živného roztoku. Nejmenší koncentrace vykazovaly zinek a měď, ale jako uvádí Ghanjaoui et al. (2011), měď a zinek hrají zásadní roli i v menším množství, protože se jedná o esenciální prvky.

6.3 Stanovení CHNS

Dhaliwal et al. (2014) uvádí, že koncentrace C a N v rostlinných materiálech pomáhají pochopit roli různých faktorů ovlivňujících potenciální výnos plodin. Koncentrace N v rostlinách, důležitý faktor v růstu rostlin, v konečném důsledku určuje výnos plodin, a to jak kvantitativně, tak kvalitativně.

U Pandey et al. (2016), u kterého byla bazalka pěstovaná ve vysušené zemině bez jakýkoliv úprav, obsahovala 0,71 % dusíku a 0,35 % uhlíku. Pandey et al. (2016) také uvádí, že při přidavku chemického hnojiva či biocharu se hodnoty dusíku i uhlíku zvýší. Zatímco v našem pokusu měla bazalka vypěstovaná z vermivýluhu na bázi akvakulturního kalu hodnoty dusíku 1,21 % a uhlíku 41 %, což jsou vyšší hodnoty než z běžných půd, ale nižší než z anorganického živného roztoku (N 4,04 % a C 41,22 %), 100% fugátu (N 1,45 % a C 41,78 %) a 50% fugátu (N 1,53 % a C 41,25 %).

U Wander & Bouwmeester (1998), kteří pěstovali kopr v půdním systému v hloubce do 30 cm, byl obsah dusíku 2,29 %, což je vyšší hodnota, než pokud jsme kopr pěstovaly ve vermivýluhu, neboť průměrná hodnota byla 1,45%, zatímco v agronomickém živném roztoku byl obsah 4,65%. Ostatní organické varianty také měly vyšší obsah dusíku než vermivýluh, konkrétně u fugátu 100% byl obsah 1,64 % a fugátu 50% byl 1,82% dusíku. Obsah uhlíku u Chandel et al. (2021), kteří pěstovali kopr v půdě s písčitohlinitým charakterem a nízkým obsahem organické hmoty, byl pouze 1,57 % uhlíku, což může být způsobeno nedostatečným množstvím organické hmoty. V našem experimentu měl kopr vypěstovaný z vermivýluhu 40,51%, což je více než kopr vypěstovaný z agronomického živného roztoku (38,78 %).

6.4 Prvková analýzy roztoků

V hydroponii je možné kontrolovat koncentraci živin v roztoku na rozdíl od půdy, kde jsou živiny závislé na obsahu organické hmoty, což vede k nižší kontrole nad výživou rostlin. V hydroponii mají rostliny snadnější přístup k vodě a jejich přísun je lépe kontrolován. Příjem živin rostlinou probíhá tehdy, když jsou přítomny v dostupné formě pro absorpci. Koncentrace živin je pečlivě sledována, aby se zabránilo problémům a byly dosaženy maximální výnosy rostlin.

Uzavřené hydroponické systémy recirkulují živný roztok, což umožňuje opětovné využití nespotřebovaných živin. Avšak, vysoký obsah živin v drenáži může být běžným problémem, který upozorňuje na nedostatečnou kontrolu příjmu živin. Tato situace může vést k růstu řas a bakterií. Asao (2012) uvádí, že existují důkazy o pozitivních účincích vysokých koncentracích prvků u živných roztoků, neboť je důležitý poměr jednotlivých prvků a nikoli jen jejich koncentrace je určující faktor.

Turan et al. (2023) uvádí, že doporučené a optimální množství P se pohybuje okolo 30 – 60 mg/l, pro Mg od 34 – 50 mg/l, Ca od 160 – 173 mg/l a K od 156 – 330 mg/l, ale záleží i na původu hydroponického roztoku.

Stejně tak jako u pokusu Anderson et al. (2017) tak při vyšší hodnotě pH (hodnota pH se udržovala na 7) výživových roztoků byly naměřeny nižší množství Mg, Ca, P i N. To stejné platí i pro experiment od Anderson et al. 2017 (pH hodnota udržována také na 7,0), kde hodnoty Mg, Ca, P i N byly nižší při vyšších hodnotách pH. Koncentrace K je v našem experimentu vyšší než u obou zmíněných pokusů a Voutsinos-frantzis et al. (2022) uvádí, že zvýšené hladiny K v živném roztoku mohou zvýšit listovou plochu a počet listů v důsledku účinku, který mají K ionty na buněčné dělení. Největší výnosy bazalky i kopru byly z anorganického živného roztoku, kde jsou i největší koncentrace N, P, K, který jsou důležitý jsou správný růst a vývoj rostlin.

6.5 Fyzikálně chemické parametry roztoků

Hodnota pH živného roztoku má významný vliv na růst a vývoj rostlin. To je způsobeno tím, že živiny přidávané do roztoku jsou pro rostliny přístupné pouze při určitých hodnotách pH, protože jsou rozpustné ve vodě. Podle studie provedené Mayavan et al. (2017) rostliny vyžadují udržování určitého rozmezí hodnot pH, aby byla zajištěna optimální dostupnost všech živin. Obecně je stabilizace pH živného roztoku nezbytná pro optimální produktivitu plodin v hydroponii a úroveň pH jsou často uváděny jako hlavní překážky pro hydroponickou produkci. Obvykle se pH živného roztoku udržuje mezi 5,5 a 6,5, což je rozsah, ve kterém většina hydroponicky pěstovaných plodin prokazuje normální růst a příjem živin. Toto rozmezí pH je považováno za optimální pro různé plodiny pěstované hydroponicky. Turan et al. (2023) uvádí, že optimální rozsah pH pro bazalku by mělo být pro hydroponické systémy od 5,5 do 6,5 a pro kopr se hodnoty pohybují od 6 do 7. Stejně tak jako u Andersona et al. (2017), tak rostliny v anorganickém živném roztoku, který měl nižší pH (hodnoty pH v průměru 6,61), měly vyšší výnosy čerstvé biomasy než rostliny pěstované v organických variantách (hodnoty organických variant se pohybovaly v průměru 7,76 – 8,26).

V hydroponii je důležité vzít v úvahu koncentraci solí v živném roztoku. Jedná se o důležitý faktor, který odráží celkový obsah makro- a mikroprvků, které mají rostliny k dispozici. Optimální měrná elektrická vodivost (EC) je specifická pro plodinu a závisí na podmínkách prostředí. Podle mnoha studií má EC v živných roztocích významný vliv na růst a vývoj plodin. Pro většinu hydroponických plodin se doporučuje optimální rozmezí EC mezi 1,5 a 3,5 dS/m, avšak tato hodnota se může lišit v závislosti na konkrétním druhu pěstované plodiny. Výsledky Currey et al. (2019) ukazují, že kopr lze úspěšně pěstovat v celé řadě EC, zatímco Turan et al. (2023) udává, že doporučená hodnota pro EC pro bazalku je 1-1,6 dS/m. V našem pokusu se hodnoty pohybovaly v průměru od 0,95 až do 3,91 dS/m.

Teplota živného roztoku je klíčovým faktorem ovlivňujícím výnos a kvalitu plodin v hydroponických systémech uvádí Turan et al. (2023). Optimální teplota pro hydroponické roztoky se obecně pohybuje mezi 15,5 °C a 23,8 °C. Tento teplotní rozsah podporuje zdravý růst kořenů a absorpci živin u většiny rostlin. Některé rostliny, jako je hlávkový salát a jahody, však preferují teploty blíže k dolní hranici, zatímco rajčatům, okurkám a konopí se daří nejlépe kolem 23,8 °C. Udržování teploty roztoku v tomto rozmezí je klíčové pro optimální růst a zdraví rostlin. Nižší teploty mohou zpomalit růst, zatímco vyšší teploty mohou vést k tepelnému stresu rostlin a vadnutí rostlin. Jelikož u organických variant výživových roztoků se teplota pohybovala od 21,5 až do 24 °C, jsou i výnosy nižší než u anorganického živného roztoku, kde teplota byla o něco nižší.

Jak uvádí Wießner et al. (2002) je nezbytné udržovat dostatečné množství rozpuštěného kyslíku v živném roztoku v hydroponickém systému, jelikož to je klíčové pro zdravý růst rostlin. Nedostatek kyslíku pro kořeny rostlin pěstovaných v hydroponických systémech může negativně ovlivnit růst kořenů, absorpci iontů a nakonec vést k nižší produkci rostlin. Rostliny v hydroponických systémech mohou rychle spotřebovat rozpuštěný kyslík v živném roztoku, což často vede k nedostatečnému provzdušnění kořenů a následné hnoľobě kořenů. Teplota roztoku ovlivňuje množství kyslíku spotřebovaného rostlinou a obecně platí, že čím vyšší je teplota, tím více kyslíku rostlina potřebuje a tím méně kyslíku zůstává ve živném roztoku. Ve všech organických variantách výživových roztoků došlo k téměř úplnému vyčerpání kyslíku. V prvním týdnu se u anorganického živného roztoku obsah kyslíku pohyboval okolo 11 mg/l a v posledním týdnu koncentrace byla 6,3 mg/l, zatímco u vermivýluhu byl obsah v prvním týdnu okolo 12,5 mg/l, u fugátu 100% 8 mg/l a u fugátu 50% byla hodnota 7,3 mg/l. U všech organických variant byla koncentrace v posledním týdnu téměř nulová. Téměř úplné vyčerpání mohlo být způsobené vyššími teplotami v roztoku nebo přítomností mikroorganismů, neboť kyslík mohl být jimi spotřebovaný. Další možností je nedostatečné provzdušňování živných roztoků.

7 Závěr

Cílem diplomové práce bylo ověřit dvě hypotézy. První hypotéza pojednává o tom, zda dle studií výluhy z vermikompostu mají lepší vlastnosti než výluhy z kompostu.

Výluhy z vermikompostů mají často lepší vlastnosti než výluhy z běžných kompostů a to hned z několika důvodů. Výluhy z vermikompostů obsahují látky produkované žížalami, které napomáhají vytvářet lepší strukturu půdy a zlepšují její schopnost zadržovat živiny a vodu v půdě. Díky aktivitě rozkladných mikroorganismů ve střevech žížal jsou výluhy z vermikompostů bohatší na živiny, jako je dusík, draslík nebo fosfor. Dále obsahují vyšší koncentrace prospěšných mikroorganismů, které přispívají ke zdraví půdy a podporují růst rostlin. Vermikompostování redukuje zápach a riziko přítomných patogenních mikroorganismů oproti kompostování, což následně vede k vyšší kvalitě výluhů, a to zvyšuje jejich použitelnost v zemědělství.

Druhá hypotéza se zaměřuje na to, zda výluhy z vermikompostu zlepšují kvalitativní parametry rostlin. Pro využívání výluhů z vermikompostu je důležité dodržet několik parametrů, aby pěstování rostlin bylo efektivní. Mezi tyto parametry patří správná hodnota pH, optimální rychlost průtoku vermivýluhu v systému, dále musí být zvolena správná teplota roztoku a je nezbytné udržovat dostatečné množství rozpuštěného kyslíku. Tyto parametry jsou závislé na výběru plodiny, neboť každá rostlina potřebuje odlišné podmínky. Důležité je i složení vermikompostu, ze kterého jsou výluhy připravovány.

Výnosy rostlin vypěstovaných z výluhu z vermikompostu na bázi akvakulturního kalu byly vyšší než ty, které jsou pěstovány v běžných půdních systémech. Tato skutečnost naznačuje, že využívání vermivýluhů představuje perspektivní možnost pro efektivní pěstování rostlin. Bazalka pěstovaná ve vermivýluhu obsahovala vyšší koncentraci živin (Ca, K, Mg, P, Cu, Zn) než bazalka pěstovaná v půdě. Kopr též vykazoval vyšší koncentrace prvků (K, Mg, P, Cu, Zn) než kopr pěstovaný v půdě, až na vápník, který byl nižší v kopru pěstovaném ve vermivýluhu.

Bazalka a kopr pěstované v anorganickém živním roztoku měly vyšší hodnoty dusíku a síry než pokud byly pěstovány v organických variantách. Zatímco koncentrace uhlíku a vodíku v rostlinách byly dosti podobné a nezáleželo na výživové variantě.

Rostliny pěstované v hydroponii obecně vykazují rychlejší růst, vyšší výnosy rostlin a vyšší koncentrace živin než rostliny pěstované v půdních systémech. Hydroponie je stále více využívána, neboť je možné kontrolovat podmínky pro růst rostlin.

8 Literatura

Aires A. 2018. *Vegetables: Importance of Quality Vegetables to Human Health*. IntechOpen, London.

Al Seadi T, Drosch B, Fuchs W, Rutz D, Janssen R. 2013. Biogas digestate quality and utilization. *The Biogas Handbook*. Available from <https://doi.org/10.1533/9780857097415.2.267> (accessed March 2024).

Albadwawi MAOK, Ahmed AZFR, Kurup SS, Alyafei MAA, Jaleel A. 2022. A Comparative Evaluation of Aquaponic and Soil Systems on Yield and Antioxidant Levels in Basil, an Important Food Plant in Lamiaceae. Available from <https://doi.org/10.3390/agronomy12123007> (accessed April 2024).

Alvarez JM, Pasian C, Lal R, López R, Fernández M. 2019. Vermicompost and biochar substrates can reduce nutrients leachates on containerized ornamental plant production. *Horticultura Brasileira* **37**:47-53.

Akvaculture, 2024. Recirculating aquaculture system. Available from <https://www.aquacultureid.com/recirculating-aquaculture-system/> (accessed February 2024).

Amani T, Veysi K, Dastyar W, Elyasi S. 2015. Studying interactive effects of operational parameters on continuous bipolar electrocoagulation–flotation process for treatment of high-load compost leachate. *International journal of environmental science and technology* **12**:2467-2474.

Amin MM, Moazzam MMA. 2014. Advanced oxidation treatment of composting leachate of municipal solid waste by ozone-hydrogen peroxide. *International Journal of Environmental Health Engineering* **3**(1):21.

Anderson TS, Villiers DD, Timmons MB, 2017. Growth and Tissue Elemental Composition Response of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to Hydroponic and Aquaponic Conditions. *Horticulturae*. Available from <https://doi.org/10.3390/horticulturae3030043> (accessed April 2024)

Anderson TS, Martini MR, Villiers DD. 2017. Growth and Tissue Elemental Composition Response of Butterhead Lettuce (*Lactuca sativa*, cv. Flandria) to Hydroponic Conditions at Different pH and Alkalinity. *Horticulturae*. Available from <https://doi.org/10.3390/horticulturae3030041> (accessed April 2024)

Appels L, Baeyens J, Degreè J, Dewil, R. 2008. Principles and potential of the anaerobic digestion of waste-activated sludge. *Progress in energy and combustion science* **34**(6):755-781.

Aremu AO, Stirk WA, Kulkarni MG, Tarkowská D, Turečková V, Gruz J, Šubrtová M, Pěňčík A, Novák O, Doležal K, Strnad M, Van Staden J. 2015. Evidence of phytohormones and phenolic acids variability in garden-waste-derived vermicompost leachate, a well-known plant growth stimulant. *Plant growth regulation* **75**:483-492.

Asao T. 2012. *Hydroponics: A standard methodology for plant biological researches*. InTech, Rijeka, Croatia.

Baiyin B, Tagawa K, Yamada M, Wang X, Yamada S, Yamamoto S, Ibaraki Y. 2021. Effect of the Flow Rate on Plant Growth and Flow Visualization of Nutrient Solution in Hydroponics. *Horticulturae*. Available from <https://doi.org/10.3390/horticulturae7080225> (accessed April 2024).

Baylar A, Ozkan F. 2006. Applications of venturi principle to water aeration systems. *Environmental Fluid Mechanics* **6**:341-357.

Besas U, Aceres L, Caniones S. 2020. Potential of vermicompost drippings and other vermicomposting products on the growth and yield of lettuce. *Southeastern Philippines Journal of Research and Development* **25**(1):33-46.

Bhatia SK, Joo HS, Yang, YH. 2018. Biowaste-to-bioenergy using biological methods—a mini-review. *Energy conversion and management* **177**:640-660.

Boyd CE. 1998. Pond water aeration systems. *Aquacultural engineering* **18**(1):9-40.

Brown K, Ghoshdastidar AJ, Hanmore J, Frazee J, Tong AZ. 2013. Membrane bioreactor technology: a novel approach to the treatment of compost leachate. *Waste management* **33**(11):2188-2194.

Campanati C, Willer D, Schubert J & Aldridge DC. 2022. Sustainable Intensification of Aquaculture through Nutrient Recycling and Circular Economies: More Fish, Less Waste, Blue Growth. *Reviews in Fisheries Science & Aquaculture* **30**(2):143-169.

Candal S, Data A, Yadav RK, Dheri GS. 2021. DOES SALine Water Irrigation Influence Soil Carbon Pools and Nutrent Distribution in Soil under Seed Spices?. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* **21**:949-966.

Chandna P, Nain L, Singh S, Kuhad RC. 2013. Assessment of bacterial diversity during composting of agricultural byproducts. *BMC microbiology* **13**(1):1-14.

Chatterjee N, Flury M, Hinman C, Cogger CG. 2013. Chemical and physical characteristics of compost leachates. A Review Report prepared for the Washington State Department of

- Transportation. Washington State University. Available from <https://www.wsdot.wa.gov/research/reports/fullreports/819.1.pdf> (accessed January 2024).
- Chen L, de Haro Marti M, Moore A, Falen C. 2011. The composting process. Dairy Manure Compost Production and Use in Idaho **2**:513-532.
- Chen Y, Cheng JJ, Creamer KS. 2008. Inhibition of anaerobic digestion process: a review. Bioresource technology. Available from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.01.057> (accessed January 2024).
- Chowdhury A, Sarkar A. 2023. Chaper 30 – Vermikomposting – the sustainable solid waste management. Waste Management and Resource Recycling in the Developing World. Available from <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-90463-6.00013-0> (accessed April 2024).
- Currey CJ, Walters KJ, Flax NJ, 2019. Nutrient solution strength does not interact with the daily light integral to affect hydroponic cilantro, dill, and parsley growth and tissue mineral nutrient concentrations. Agronomy. Available from <https://doi.org/10.3390/agronomy9070389> (accessed April 2024).
- Dhaliwal GS, Gupta N, Kukal SS, Meetpal-Singh. 2014. Standardization of Automated Vario EL III CHNS Analyzer for Total Carbon and Nitrogen Determination in plants, Communications in Soil Science and Plant Analysis. Available from <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.875197> (accessed April 2024).
- Edwards CA, Arancon NQ, Sherman RL. 2011. Vermiculture Technology: Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management. CRC Press. New York.
- Eslami H, Hashemi H, Fallahzadeh RA, Khosravi R, Fard RF, Ebrahimi AA. 2018. Effect of organic loading rates on biogas production and anaerobic biodegradation of composting leachate in the anaerobic series bioreactors. Ecological engineering **110**:165-171.
- Fayezizadech MR, Ansari NAZ, Albaji M, Khaleghi E. 2021. Effects of hydroponic systems on yield water productivity and stomatal gas Exchange of greenhouse tomato cultivars. Agricultural water management. Available from <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2021.107171> (accessed April 2024).
- Garg P, Gupta A, Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. Bioresource technology **97**(3):391-395.
- Gashgari R, Alharbi K, Mughrbil K, Jan A, Glolam A. 2018. Comparison between growing plants in hydroponic system and soil based system. In: Proceedings of the 4th World Congress on Mechanical, Chemical, and Material Engineering **18**:1-7.

- George P, George N. 2016. Hydroponics-(soilless cultivation of plants) for biodiversity conservation. *Int. J. Mod. Trends Eng. Sci* **3**(06):97-104.
- Ghanjaoui ME, Cereva ML, Rhazi ME, Guardia M. 2011. Validated fast procedure for trace element determination in basil powder. *Food Chemistry* **125**(4):1309-1313.
- Giordano M, Petropoulos SA, Kyriacou MC, Graziani G, Zarrelli A, Rouphael Y, El.Nakhel C. 2022. Nutritive and Phytochemical Composition of Aromatic Microgreen and Spices Belonging to the Apiaceae Family. Available from <https://doi.org/10.3390/plants11223057> (accessed April 2024).
- Gupta R. 2009. Vermiremediation and nutrient recovery of non-recyclable paper waste employing *Eisenia fetida*. *Journal of Hazardous Material* **162**(1):430-439.
- Gutiérrez-Miceli FA, García-Gómez RC, Oliva-Llaven MA, Montes-Molina JA, Dendooven, L. 2017. Vermicomposting leachate as liquid fertilizer for the cultivation of sugarcane (*Saccharum sp.*). *Journal of Plant Nutrition* **40**(1):40-49.
- Hait S, Tare V. 2011. Optimizing vermistabilization of waste activated sludge using vermicompost as bulking material. *Waste management* **31**(3):502-511.
- Homolka, J., Slaboch, J., & Švihlíková, A. 2014. Evaluation of effectiveness of investment projects of agricultural bio-gas stations. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 6:45-57. Available from 10.22004/ag.econ.196527 (Accessed January 2024).
- Mangmeng JS, Deaker R, Rogers G. 2016. Inoculation effect of *Azospirillum brasilense* on basil grown under aquaponics production system. *Organic agriculture* **6**:65-74.
- Mayavan RRS, Jeganath R, Chamundeeswari V. 2017. Automated hydroponic system for deep water culture to grow tomato using atmega328. In: *Proceedings of Technoarete International Conference*. Chennai, India.
- Ministestvo zemědělství. 2021. Vyhláška č. 312/2021 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů in *Sbírka zákonů*, 2021, částka 137. Česká republika.
- Ibrahim HAK, Balah MAA. 2018. Study the use of compost tea in weed suppression. *International Journal of Environmental Research* **12**:609-618.
- Jasmin MY, Syukri F, Kamarudin MS, Karim M. 2020. Potential of bioremediation in treating aquaculture sludge: Review article. *Aquaculture*. 519:734905.

- Jiang A, Zhang T, Zhao QB, Li X, Chen, S, Frear CS. 2014. Evaluation of an integrated ammonia stripping, recovery, and biogas scrubbing system for use with anaerobically digested dairy manure. *Biosystems engineering* **119**:117-126.
- Joshi R, Singh J, Vig AP. 2015. Vermicompost as an effective organic fertilizer and biocontrol agent: effect on growth, yield and quality of plants. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **14**:137-159.
- Khalid A, Arshad M, Anjum M, Mahmood T, Dawson L. 2011. The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste management* **31**(8):1737-1744.
- Kinidi L, Tan IA. W, Abdul Wahab NB, Tamrin KFB, Hipolito CN, Salleh SF. 2018. Recent development in ammonia stripping process for industrial wastewater treatment. *International Journal of Chemical Engineering*. Available from <https://doi.org/10.1155/2018/3181087> (accessed January 2024).
- Koller J. 2021. Treatment of Biogas for Use as Energy. *Acta polytechnica*.
- Kouba A, Lunda R, Hlaváč D, Kuklina I, Hamáčková J, Randák T, 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.
- Koyama M., Nagao N, Syukri F, Rahim AA, Kamarudin MS, Toda T, Mitsunashi T, Nakasaki K. 2018. Effect of temperature on thermophilic composting of aquaculture sludge: NH₃ recovery, nitrogen mass balance, and microbial community dynamics. *Bioresource technology* **265**:207-213.
- Lamolinara B, Pérez-Martínez A, Guardado-Yordi E, Fiallos CG, Diéguez-Santana K, Ruiz-Mercado GJ. 2022. Anaerobic digestate management, environmental impacts, and techno-economic challenges. *Waste Management* **140**:14-30.
- Lee S, Lee J. 2015. Beneficial bacteria and fungi in hydroponic systems: Types and characteristics of hydroponic food production methods. *Scientia Horticulturae* **195**:206-215.
- Lei C, Engeseth NJ. 2021. Comparison of growth characteristics, functional qualities, and texture of hydroponically grown and soil-grown lettuce. *Lwt*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111931> (accessed December 2023)
- 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**(4):413-418.

- Masondo NA, Kulkarni MG, Rengasamy KR, Pendota SC, Finnie JF, Van Staden J. 2016. Effect of vermicompost leachate in *Ceratotheca triloba* under nutrient deficiency. *Acta Physiologiae Plantarum* **38**:1-10.
- Mikulášek P. 2013. Tlakové membránové procesy. Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha.
- Miller A, Adhikari R, Nemali K. 2020. Recycling nutrient solution can reduce growth due to nutrient deficiencies in hydroponic production. *Frontiers in plant science*. Available from <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.607643> (accessed March 2024).
- Mirzoyan N, Takk Y, Gross A. 2010. Anaerobic digestion of sludge from intensive recirculating aquaculture systems: Review. *Aquaculture* **306**(1-4):1-6.
- Mishra S. 2003. Treatment of Wet Fish Sludge with Vermicomposting [MSc. Thesis] Virginia Polytechnic Institute and State University, Virginia.
- Mokhtarani N, Nasiri A, Ganjidoust H, Yasrobi SY. 2014. Post-treatment of composting leachate by ozonation. *Ozone: Science & Engineering* **36**(6):540-548.
- Mollah MY, Morkovsky P, Gomes JA, Kesmez M, Parga J, Cocke DL. 2004. Fundamentals, present and future perspectives of electrocoagulation. *Journal of hazardous materials* **114**:(1-3):199-210.
- Musco A, Papalia T, Settineri G, Mallamaci C, Jeske-Kaczanowska A. 2018. Are raw materials or composting conditions and time that most influence the maturity and/or quality of composts? Comparison of obtained composts on soil properties. *Journal of cleaner production* **195**:93-101.
- Musyoka SN, Nairuti R. 2021. Application of vermicompost fertilizer in aquaculture nutrition.
- Mutamim NSA, Noor ZZ, Hassan MAA, Olsson G. 2012. Application of membrane bioreactor technology in treating high strength industrial wastewater: a performance review. *Desalination* **305**:1-11.
- Mužik O., Kára J. 2009. Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. Available from <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr> (accessed December 2023).
- Nenciu F, Voicea I, Cocarta DM, Vladut VN, Matache MG, Arsenoiaia VN. 2022. “Zero-Waste” Food Production System Supporting the Synergic Interaction between Aquaculture and Horticulture. *Sustainability*. Available from <https://doi.org/10.3390/su142013396> (accessed January 2024)

- Panday V, Patel A, Patra DD. 2016. Biochar ameliorates crop productivity, soil fertility, essential oil yield and aroma profiling in basil (*Ocimum basilicum* L.). *Ecological Engineering* **90**:361-366.
- Pant AP, Radovich TJ, Hue NV, Paull RE. 2012. Biochemical properties of compost tea associated with compost quality and effects on pak choi growth. *Scientia horticulturae* **148**:138-146.
- Partanen P, Hultman J, Paulin L, Auvinen P, Romantschuk M. 2010. Bacterial diversity at different stages of the composting process. *BMC microbiology* **10**(1):1-11.
- Pavlas M, Dvořáček J, Pitschke T, Peche R. 2020. Biowaste Treatment and waste-to-energy—Environmental benefits. *Energies* **13**(8):1994.
- Pezeshki SR, Pardue JH, Delaune RD. 1993. The influence of soil oxygen deficiency on alcohol dehydrogenase activity, root porosity, ethylene production and photosynthesis in *Spartina patens*. *Environmental and Experimental Botany* **33**(4):565-573.
- Quaik S, Embrandiri A, Rupani PF, Ibrahim MH. 2012. Potential of vermicomposting leachate as organic foliar fertilizer and nutrient solution in hydroponic culture: a review. In 2nd International Conference on Environment and BioScience IPCBEE, IACSIT Press, Singapore **44**:43-47.
- Rodrigues LC, Puig-Ventosa, I, López M, Martínez FX, Ruiz AG, Bertrán TG. 2020. The impact of improper materials in biowaste on the quality of compost. *Journal of cleaner production*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119601> (accessed January 2024).
- Romero C, Ramos P, Costa C, Márquez MC. 2013. Raw and digested municipal waste compost leachate as potential fertilizer: comparison with a commercial fertilizer. *Journal of Cleaner Production* **59**:73-78.
- Roosta HR. 2014. Comparison of the vegetative growth, eco-physiological characteristics and mineral nutrient content of basil plants in different irrigation ratios of hydroponic: aquaponic solutions. *Journal of plant nutrition* **37**(11):1782-1803
- Roy D, Azaïs A, Benkaraache S, Drogui P, Tyagi RD. 2018. Composting leachate: characterization, treatment, and future perspectives. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **17**:323-349.
- Roy D, Benkaraache S, Azaïs A, Drogui P, Tyagi RD. 2019. Leachate treatment: Assessment of the systemic changes in the composition and biodegradability of leachates originating in an

open co-composting facility in Canada. *Journal of Environmental Chemical Engineering*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103056> (accessed March 2024).

Rubio J, Souza ML, Smith RW. 2002. Overview of flotation as a wastewater treatment technique. *Minerals engineering* **15**(3):139-155.

Sahel HA, El-Nashar YI, Serag-El_Din MF, Dewir YH. 2019. Plant grown, yield and bioactive compounds of two culinary herbs as affected by substrate type. *Scientia Horticulturae* **243**:464-471.

Sánchez A, Artola A, Font X, Gea T, Barrena R, Gabriel D, Sánchez-Monedero MÁ, Roig A, Cayuela ML, Mondini C. 2015. Greenhouse gas emissions from organic waste composting. *Environmental chemistry letters* **13**:223-238.

Sánchez ÓJ, Ospina DA, Montoya S. 2017. Compost supplementation with nutrients and microorganisms in composting process. *Waste management* **69**:136-153.

Shaban H, Fazeli-Nasab B, Alahyari H, Alizadeh G, Shahpesandi S. 2015. An Overview of the Benefits of Compost tea on Plant and Soil Structure. *Advances in Bioresearch* **6**(1):1-6.

Shahrajabian MH, Sun W, Cheng Q. 2020. Chemical components and pharmacological benefits of Basil (*Ocimum basilicum*): a review. *International Journal of Food Properties*. **23**:1962-1970

Sharma A, Manpoong C, Devadas VS, Kartha BD, Pandey H, Wangsu M. 2022. Crop hydroponics, phyto-hydroponics, crop production, and factors affecting soilless culture. *ACS Agricultural Science & Technology* **2**(6):1134-1150.

Sharma N, Soneb A, Kaushal K, Narendra S, CHaurasia OP. 2018. Hydroponics as an advanced technique for vegetable production: An overview. *Journal of Soil and Water Conservation* **17**(4):364-371.

Shu Z, Lü Y, Huang J, Zhang W. 2016. Treatment of compost leachate by the combination of coagulation and membrane process. *Chinese Journal of Chemical Engineering* **24**(10):1369-1374.

Singh RP, Singh P, Araujo AS, Ibrahim MH, Sulaiman O. 2011. Management of urban solid waste: Vermicomposting a sustainable option. *Resources, conservation and recycling* **55**(7):719-729.

Slupski J, Lisiewska Z, Kmiecik W. 2005. Contents of macro and microelements in fresh and frozen dill (*Anethum graveolens* L.), *Food Chemistry* **91**(4):737-743

- Subasinghe R, Soto D, Jia J. 2009. Global aquaculture and its role in sustainable development. *Reviews in aquaculture* **1**(1):2-9.
- Tammekivi E, Geantet C, Lorentz C, Faure K. 2023. Two-dimensional chromatography for the analysis of valorisable biowaste: A review. *Analytica Chimica Acta*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.aca.2023.341855> (accessed February 2024).
- Tejada M, Gonzalez JL, Hernandez MT, Garcia C. 2008. Agricultural use of leachates obtained from two different vermicomposting processes. *Bioresource technology*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.12.031> (accessed December 2023).
- Thakre SB, Bhuyar LB, Deshmukh SJ. 2008. Effect of different configurations of mechanical aerators on oxygen transfer and aeration efficiency with respect to power consumption. *International Journal of Aerospace and Mechanical Engineering* **2**(2):100-108.
- Trujillo D, Font X, Sánchez A. 2006. Use of Fenton reaction for the treatment of leachate from composting of different wastes. *Journal of hazardous materials* **138**(1):201-204.
- Turan M, Argin S, Yildirim E, Gunes A, 2023. Recent Research and Advances in Soilless Culture.
- Vea EB, Romeo D, Thomsen M. 2018. Biowaste valorisation in a future circular bioeconomy. *Procedia Cirp* **69**:591-596.
- Vondra M, Máša V, Bobák P. 2018. The energy performance of vacuum evaporators for liquid digestate treatment in biogas plants. *Energy* **146**:141-155.
- Voutsinos-frantzis O, Ntatsi G, Karavidas I, Neofytou I, Deriziotis K, Ropokis A, Consentino BB, Savatino L, Savvas D. 2022. Exploring the Simultaneous Effect of Total Ion Concentration and K: Ca: Mg Ratio of the Nutrient Solution on the Growth and Nutritional Value of Hydroponically Grown *Cichorium spinosum* L. *Agronomy*. Available from <https://doi.org/10.3390/agronomy12092214> (accessed April 2024).
- Wander JGN, Bouwmeester HJ. 1998. Effects of nitrogen fertilization on dill (*Anethum graveolens* L.) seed carvone production. *Industrial Crops and Products* **7**(2-3):211-216.
- Wießner A, Kusch P, Stottmeister U. 2002. Oxygen Release by Roots *Typha latifolia* and *Juncus effusus* in Laboratory Hydroponic Systems. *Acta biotechnologica* **22**(1-2):209-216.
- Xu F, Li Y, Ge X, Yang L, Li, Y. 2018. Anaerobic digestion of food waste—Challenges and opportunities. *Bioresource technology* **247**:1047-1058.
- Yadav A, Garg VK. 2011. Industrial wastes and sludges management by vermicomposting. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology* **10**:243-276.

Yin J, Xie M, Yu X, Feng H, Wang M, Zhang Y, Chen T. 2023. A review of the definition, influencing factors, and mechanisms of rapid composting of organic waste. *Environmental Pollution*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.123125> (accessed January 2024).

Zabed HM, Akter S, Yun J, Zhang G, Zhang Y, Qi X. 2020. Biogas from microalgae: Technologies, challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Available from <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109503> (accessed December 2023).

Zekki H, Gauthier L, Gosselin A. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. *Journal of the American Society for Horticultural Science* **121**(6):1082-1088.

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

% - procento

°C – stupně Celsia

O₂ – kyslík

O₃ – ozon

BSK₅ – biochemická spotřeba kyslíku

C – uhlík

C/N – poměr uhlík/dusík

CO₂ – oxid uhličitý

Cu – měď

G – gram

H₂O – voda

CHSK – chemická spotřeba kyslíku

K – draslík

kg – kilogramy

l – litr

m² – metr čtverečný

m³ – metr krychlový

mg – miligram

Mg – hořčík

mg/l – miligram/litr

mg/kg – miligram/kilogram

ml – mililitr

mm – milimetr

N – dusík

např. – například

NH₃ – amoniak

NH₄⁺ - N – amoniakální dusík

P – fosfor

ppm – pars per milion

S – síra

tvz. - takzvaně

U – uhlík

W - Watt

x – krát

Za období – průměr a směrodatná odchylka za sledované období

Zn – zinek

10 Samostatné přílohy

Příloha 1 výnosy bazalky

Proměnná	Analýza rozptylu (peta - excel - 9.4) Označ. efekty jsou význ. na hlad. $p < ,05000$							
	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
B	12,34749	3	4,115831	57,20411	29	1,972556	2,086547	0,123749

Příloha 2 výnosy kopru

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1,4366, sv = 28,000				
	A	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Anorganický živný roztok	14,234	16,495	16,532	16,947
2	vermivýluh	0,004145	0,004145	0,003546	0,000684
3	fugát 100	0,003546	0,999919	0,999919	0,873817
4	fugát 50	0,000684	0,873817	0,899178	0,899178

Příloha 3 – Vápník (Ca) pro bazalku

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 87505,, sv = 16,000				
	A	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Anorganický živný roztok	17887,	10423,	4431,5	6897,3
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,000185	0,000185
3	fugát 100	0,000185	0,000185	0,000185	0,000185
4	fugát 50	0,000185	0,000185	0,000185	0,000185

Příloha 4 – Draslík (K) pro bazalku

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 1508E3, sv = 16,000				
	A	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Anorganický živný roztok	49463,	51433,	52257,	55513,
2	vermivýluh	0,091959	0,091959	0,011716	0,000187
3	fugát 100	0,011716	0,717061	0,717061	0,000569
4	fugát 50	0,000187	0,000569	0,003580	0,003580

Příloha 5 – Hořčík (Mg) pro bazalku

Č. buňky	Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 11803,, sv = 16,000				
	A	{1}	{2}	{3}	{4}
1	Anorganický živný roztok	5392,1	3156,3	2304,8	2457,8
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,000185	0,000185
3	fugát 100	0,000185	0,000185	0,000185	0,158159
4	fugát 50	0,000185	0,000185	0,158159	

Příloha 6 – Fosfor (P) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 20503,, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		9586,4	4046,2	3483,8	3683,3
1	Anorganický živný roztok		0,000185	0,000185	0,000185
2	vermivýluh	0,000185		0,000243	0,005165
3	fugát 100	0,000185	0,000243		0,164694
4	fugát 50	0,000185	0,005165	0,164694	

Příloha 7 – Měď (Cu) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,04965, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		7,7700	5,6840	2,7400	5,2860
1	Anorganický živný roztok		0,000185	0,000185	0,000185
2	vermivýluh	0,000185		0,000185	0,053741
3	fugát 100	0,000185	0,000185		0,000185
4	fugát 50	0,000185	0,053741	0,000185	

Příloha 8 – Zinek (Zn) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,81502, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		48,018	53,486	37,330	37,564
1	Anorganický živný roztok		0,000185	0,000185	0,000185
2	vermivýluh	0,000185		0,000185	0,000185
3	fugát 100	0,000185	0,000185		0,976051
4	fugát 50	0,000185	0,000185	0,976051	

Příloha 9 – Vápník (Ca) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 97304,, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		12688,	4399,2	3819,8	4611,5
1	Anorganický živný roztok		0,000185	0,000185	0,000185
2	vermivýluh	0,000185		0,043280	0,708582
3	fugát 100	0,000185	0,043280		0,005107
4	fugát 50	0,000185	0,708582	0,005107	

Příloha 10 – Draslík (K) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4.) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 11136,, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		1161,8	670,86	897,67	719,87
1	Anorganický živný roztok		0,000190	0,005706	0,000206
2	vermivýluh	0,000190		0,017445	0,881920
3	fugát 100	0,005706	0,017445		0,072700
4	fugát 50	0,000206	0,881920	0,072700	

Příloha 11 – Hořčík (Mg) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 23,928, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živný roztok	64,502	25,320	33,664	28,252	
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,068315	0,780100	
3	fugát 100	0,000185	0,068315		0,332279	
4	fugát 50	0,000185	0,780100	0,332279		

Příloha 12 – Fosfor (P) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 87,924, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živný roztok	108,09	79,910	66,692	48,744	
2	vermivýluh	0,001253	0,001253	0,157686	0,000568	
3	fugát 100	0,000195	0,157686		0,036391	
4	fugát 50	0,000185	0,000568	0,036391		

Příloha 13 – Měď (Cu) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00019, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živný roztok	,19200	,03200	,05600	,02400	
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,059423	0,792764	
3	fugát 100	0,000185	0,059423		0,009634	
4	fugát 50	0,000185	0,792764	0,009634		

Příloha 14 – Zinek (Zn) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,00243, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živný roztok	,73600	,23200	,34200	,22000	
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,013453	0,980002	
3	fugát 100	0,000185	0,013453		0,006226	
4	fugát 50	0,000185	0,980002	0,006226		

Příloha 15 – Dusík (N) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,25725, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živný roztok	40,380	12,140	14,480	15,280	
2	vermivýluh	0,000185	0,000185	0,000190	0,000185	
3	fugát 100%	0,000185	0,000190		0,099234	
4	fugát 50	0,000185	0,000185	0,099234		

Příloha 16 – Uhlík (C) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,83550, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		412,22	410,96	417,78	412,50	
1	Anorganický živný roztok		0,171277	0,000185	0,961531	
2	vermivýluh	0,171277		0,000185	0,072696	
3	fugát 100%	0,000185	0,000185		0,000186	
4	fugát 50	0,961531	0,072696	0,000186		

Příloha 17 – Vodík (H) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,44759, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		63,952	63,230	64,792	62,302	
1	Anorganický živný roztok		0,352697	0,234304	0,006397	
2	vermivýluh	0,352697		0,009701	0,167426	
3	fugát 100%	0,234304	0,009701		0,000292	
4	fugát 50	0,006397	0,167426	0,000292		

Příloha 18 – Síra (S) pro bazalku

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,36257, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		5,5440	2,3000	2,2580	1,8180	
1	Anorganický živný roztok		0,000186	0,000186	0,000185	
2	vermivýluh	0,000186		0,999543	0,596516	
3	fugát 100%	0,000186	0,999543		0,662164	
4	fugát 50	0,000185	0,596516	0,662164		

Příloha 19 – Dusík (N) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,14075, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		46,500	14,480	15,960	18,160	
1	Anorganický živný roztok		0,000185	0,000185	0,000185	
2	vermivýluh	0,000185		0,000233	0,000185	
3	fugát 100%	0,000185	0,000233		0,000185	
4	fugát 50	0,000185	0,000185	0,000185		

Příloha 20 – Uhlík (C) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 4,3275, sv = 16,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		397,82	405,14	413,28	410,36	
1	Anorganický živný roztok		0,000393	0,000185	0,000185	
2	vermivýluh	0,000393		0,000245	0,005589	
3	fugát 100%	0,000185	0,000245		0,160226	
4	fugát 50	0,000185	0,005589	0,160226		

Příloha 21 – Vodík (H) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,38221, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		63,658	66,786	66,564	65,924
1	Anorganický živný roztok		0,000186	0,000189	0,000312
2	vermivýluh	0,000186		0,940299	0,164272
3	fugát 100%	0,000189	0,940299		0,387323
4	fugát 50	0,000312	0,164272	0,387323	

Příloha 22 – Síra (S) pro kopr

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,39386, sv = 16,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		4,8960	2,8300	3,6220	1,8940
1	Anorganický živný roztok		0,000608	0,025389	0,000188
2	vermivýluh	0,000608		0,230624	0,126264
3	fugát 100%	0,025389	0,230624		0,002616
4	fugát 50	0,000188	0,126264	0,002616	

Příloha 23 – Draslík (K) pro roztoky

Analýza rozptylu (peta - excel - 9.4) Označ. efekty jsou význ. na hlad. p < ,05000								
Proměnná	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
B	255497,5	3	85165,83	734578,2	12	61214,85	1,391261	0,293043

Příloha 24 – Fosfor (P) pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 228,39, sv = 12,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		46,883	26,902	23,563	11,067
1	Anorganický živný roztok		0,290664	0,183452	0,025779
2	vermivýluh	0,290664		0,988952	0,477171
3	fugát 100	0,183452	0,988952		0,656336
4	fugát 50	0,025779	0,477171	0,656336	

Příloha 25 – Vápník (Ca) pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 3039,2, sv = 12,000					
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}
		232,15	32,288	88,605	19,790
1	Anorganický živný roztok		0,001395	0,014492	0,000900
2	vermivýluh	0,001395		0,497642	0,988084
3	fugát 100	0,014492	0,497642		0,335247
4	fugát 50	0,000900	0,988084	0,335247	

Příloha 26 – Dusík (N) pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 524,15, sv = 12,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		189,09	6,9650	34,730	15,387	
1	Anorganický živný roztok		0,000199	0,000200	0,000199	
2	vermivýluh	0,000199		0,358241	0,952650	
3	fugát 100	0,000200	0,358241		0,641453	
4	fugát 50	0,000199	0,952650	0,641453		

Příloha 27 – Hořčík (Mg) pro roztoky

Analýza rozptylu (peta - excel - 9.4) Označ. efekty jsou význ. na hlad. p < ,05000								
Proměnná	SČ efekt	SV efekt	PČ efekt	SČ chyba	SV chyba	PČ chyba	F	p
B	1553,624	3	517,8746	3560,761	12	296,7301	1,745271	0,210994

Příloha 28 – Hodnoty pH pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,09894, sv = 87,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		6,6113	7,7561	8,2448	8,2626	
1	Anorganický živný roztok		0,000145	0,000145	0,000145	
2	vermivýluh	0,000145		0,000149	0,000147	
3	fugát 100	0,000145	0,000149		0,997538	
4	fugát 50	0,000145	0,000147	0,997538		

Příloha 29 – Hodnoty měrné elektrické vodivosti (EC) pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = ,48006, sv = 111,00						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		3,1932	,94897	2,2903	1,4983	
1	Anorganický živný roztok		0,000137	0,000152	0,000137	
2	vermivýluh	0,000137		0,000137	0,016481	
3	fugát 100	0,000152	0,000137		0,000296	
4	fugát 50	0,000137	0,016481	0,000296		

Příloha 30 – Teplota pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 2,2629, sv = 111,00						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
		21,639	22,972	23,293	24,385	
1	Anorganický živný roztok		0,006183	0,000492	0,000137	
2	vermivýluh	0,006183		0,848862	0,002984	
3	fugát 100	0,000492	0,848862		0,033482	
4	fugát 50	0,000137	0,002984	0,033482		

Příloha 31 – Obsahy rozpuštěného O₂ pro roztoky

Tukeyův HSD test; proměnná B (peta - excel - 9.4) Přibližné pravděpodobnosti pro post hoc testy Chyba: meziskup. PČ = 5,2482, sv = 71,000						
Č. buňky	A	{1}	{2}	{3}	{4}	
1	Anorganický živý roztok	6,4889	3,1526	1,7842	2,5053	
2	vermivýluh	0,000327	0,000327	0,263058	0,819856	
3	fugát 100	0,000150	0,263058		0,766873	
4	fugát 50	0,000156	0,819856	0,766873		