

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Česká zemědělská
univerzita v Praze**

**Využití kapalné složky digestátu jako zdroje mikroprvků při
pěstování máty**

Bakalářská práce

Autor práce: Jan Vašíček

Obor studia: Zahradní a krajinné úpravy

Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.

© 2021 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci: Využití kapalné složky digestátu jako zdroje mikroprvků při pěstování máty jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne _____

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval panu doc. Ing. Martinu Kulhánkovi Ph.D. vedoucímu mé diplomové práce, za odborné vedení, velkou pomoc při analýze vzorků, cenné rady, připomínky a značnou dávku trpělivosti a ochoty.

Využití kapalné složky digestátu jako zdroje mikroprvků při pěstování máty

Souhrn

Počet bioplynových stanic se v důsledku stále větší popularity obnovitelných zdrojů neustále zvyšuje. S tím však přichází otázka, jak využít odpad který produkují? Digestát, čili odpadní hmota z bioplynových stanic se již běžně využívá v zemědělství jako hnojivo. Lze ho dále separovat na fugát, tedy kapalnou složku a separát, složku pevnou, které mohou mít další různá uplatnění. Cílem této práce bylo srovnat směsi rašeliny s různými obsahy fugátu se slámou (FS) a přísady vápnitého dolomitu s kontrolními (běžně používanými) zahradnickými substráty a zhodnotit, zdali jsou testované směsi vhodné jako zdroj mikroelementů pro pěstování máty (*Mentha sp.*).

Testované substráty obsahovaly 5, 10, 15 a 20 % FS a 12, 10, 8 a 6 g/l vápnitého dolomitu a byly porovnávány s 1) univerzálním substrátem a 2) s rašelinou s přísadou 1,5 g hnojiva PG-MIX/1 a 12 g vápnitého dolomitu. Z každého substrátu byl před založením pokusu a po sklizni odebrán vzorek, kde byly stanoveny základní charakteristiky – pH, elektrická vodivost, objemová hmotnost a obsah sušiny. Zároveň byl i změřen i obsah přístupných forem mikroelementů v substrátu. Po sklizni byl zjištěn výnos sušiny rostlin, obsah a odběr mikroelementů nadzemní hmotou.

Výsledky po sklizni ukazují, že v testovaných substrátech klesal výnos sušiny nadzemní hmoty úměrně s množstvím přidávaného FS. Se stoupajícím podílem FS také docházelo ke zvýšení pH substrátů, a zároveň zpravidla i ke zvýšení a obsahu stanovených mikroelementů (především metodou Mehlich 3). Substrát s přísadou 20 % fugátu se slámou přitom obsahoval podobné množství mikroelementů jako běžně využívaný univerzální substrát.

Pokud přehledněme nízký výnos, který byl pravděpodobně způsoben nedostatkem nebo nevhodným poměrem některého z makroelementů, pak výsledky ukazují na to, že FS má potenciál být využit jako zdroj mikroelementů pro rostliny máty. Jako nejvhodnější se jeví varianty s 15 a 20 % obsahem FS, které dosáhly nejpodobnějšího množství mikroelementů jako kontrolní, běžně používané substráty.

Klíčová slova: Pěstební substráty; fugát; sláma; rašelina; mikroprvky

Use of liquid phase of digestate a source of micronutrients for mint

Summary

The number of biogas plants is constantly increasing due to the growing popularity of renewable sources. But there comes a question how to use the waste they produce? Digestate, waste material from biogas plants, is already commonly used in agriculture as a fertilizer. It can be further separated into a fugate, i.e. a liquid component and a separate solid component, which may have various other applications. The aim of this thesis was to compare peat mixtures with different contents of fugate with straw (FS) and calcium dolomite additions with control (commonly used) horticultural substrates and to evaluate whether the tested mixtures are suitable as a source of microelements for mint (*Mentha sp.*) cultivation.

The tested substrates contained 5, 10, 15 and 20 % FS and 12, 10, 8 and 6 g/L of dolomitic limestone, respectively. These were compared with 1) universal growing substrate and 2) peat with the addition of 1.5 g/L of PG-MIX fertilizer and 12 g of dolomitic limestone. A samples were taken from each substrate at establishment and after harvest. The basic characteristics were determined including pH, electrical conductivity, bulk density and dry matter content. The content of bioavailable forms of microelements was analyzed in the substrate before and after harvest. Furthermore, aboveground biomass yield, mikronutrients content and uptake by plants were analyzed.

The post-harvest results show that the mint aboveground biomass yield from the tested substrates decreased in proportion to the amount of FS added, the pH of the substrates increased with increasing proportion of FS, and at the same time usually increased the content of determined microelements (especially in Mehlich 3 metod).

The substrate with the addition of 20 % FS contained a similar amount of microelements as the commonly used universal growing substrate. If we overlook the low yield, which was probably caused by the lack or inappropriate ratio of some of the macroelements, then the results indicate that FS has the potential to be used as a source of microelements for mint plants. Treatments with 15 and 20 % FS content, which reached the most similar amount of bioavailable microelements as compared with universal substrate, seemed to be the most suitable.

Keywords: growing substrate; fugate; straw; peat; microelements

Obsah

1	Úvod	1
1.1	Hypotéza:.....	2
2	Cíl práce	2
3	Literární rešerše	3
3.1	Bioplynové stanice	3
3.1.1	Současnost bioplynových stanic	3
3.1.2	Rozdělení bioplynových stanic	4
3.1.3	Zemědělské bioplynové stanice	4
3.1.3.1	Biomasa pro produkci bioplynu.....	4
3.1.4	Biochemický proces výroby plynu	4
3.1.4.1	Hydrolýza.....	5
3.1.4.2	Acidogeneze	5
3.1.4.3	Acetogeneze	5
3.1.4.4	Methanogeneze.....	6
3.1.4.5	Hodnota pH	6
3.2	Produkty anaerobní fermentace	6
3.2.1	Bioplyn	6
3.2.2	Digestát.....	7
3.2.2.1	Rozdělení digestátu.....	7
3.2.3	Využití digestátu.	7
3.2.3.1	Separát.....	8
3.2.3.2	Fugát	9
3.3	Pěstební substráty	9
3.3.1	Komponenty substrátů.....	10
3.3.1.1	Organické.....	10
3.3.1.2	Minerální.....	10
3.3.1.3	Meliorační	11
3.3.1.4	Hnojiva.....	11
3.3.2	Rašelina	11
3.3.2.1	Druhy rašelinišť (rašelin)	11
3.3.2.2	Klasifikační systém.....	12
3.3.3	Nejčastější náhrady rašeliny	12
3.3.3.1	Kůra	12
3.3.3.2	Separovaný digestát	12

3.3.3.3	Kokosové vlákno	13
3.3.3.4	Dřevěná vlákna	13
3.3.3.5	Komposty	13
3.3.4	Mikroelementy	13
3.3.4.1	Železo	13
3.3.4.2	Mangan	14
3.3.4.3	Zinek	14
3.3.4.4	Měď	14
3.3.4.5	Bór	15
3.3.4.6	Molybden	15
3.3.4.7	Chlór	15
3.3.4.8	Níkl	15
4	Metodika	16
4.1	Provedené analýzy	17
4.1.1	Stanovení hodnoty pH a vodivosti	17
4.1.1.1	Aktivní pH a vodivost	17
4.1.1.2	výměnné pH	17
4.1.2	Stanovení obsahu okamžitě přístupných mikroprvků vodným výluhem.....	17
4.1.3	Stanovení rychle dostupných mikroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl	17
4.1.4	Stanovení potenciálně přístupných mikroprvků metodou CAD	18
4.1.5	Stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3	18
4.2	Analýzy rostlin	18
4.3	Zpracování výsledků	18
5	Výsledky	19
5.1	Rozbory vstupních substrátů	19
5.1.1	Analýzy vstupních substrátů	19
5.1.2	Trendy mezi výsledky metod substrátů před založením pokusu	22
5.2	Rozbory posklizňových substrátů	22
5.2.1	Srovnání substrátů před založením a po sklizni pokusů	26
5.2.2	Srovnání výsledků rozborů substrátů s rozbory rostlin	27
6	Diskuse	28
7	Závěr	32
8	Literatura	33

1 Úvod

V dnešním moderním světě, kdy jde pokrok kupředu stále rychleji a přichází s ním i nové technologie, se lidé stále více zajímají i o ekologickou stránku věci. Například obnovitelné zdroje energie. Do obnovitelných zdrojů energie se řadí také produkty bioplynových stanic. Bioplyn představuje energetický zdroj s vysoce pozitivními přínosy pro ochranu a tvorbu životního prostředí a oproti fosilním palivům je tento zdroj energie i vysoce perspektivní pro budoucí využití. Nejčastější typ bioplynové stanice nalezneme v zemědělství, kde jsou využívány ke zpracování živočišného odpadu a biomasy z polí. Bioplynová stanice o výkonu 500kW vyrobí ročně asi tolik energie, co spotřebuje tisíc domácností o průměrné spotřebě 4000 kWh/rok. Jejím dalším přínosem je poměrně levné vytápění obce či města u kterého je postavena.

Ovšem i bioplynové stanice mají své problémy. Jedním z nich je nedostatek levně dostupné biomasy v okolí stanice. Zemědělské bioplynové stanice jsou částečně závislé na využívání kukuřice jejíž pěstování je stále dražší a prostor na její pěstování je omezen. Dalším problémem je využití odpadu, tedy digestátu. Digestát lze separovat na fugát, kapalnou složku a separát, složku pevnou. Obojí lze po úpravě využít jako organominerální hnojivo pro zemědělskou půdu i jako příměs do substrátů či kompostů. Separát lze také využít jako podestýlka pro skot.

Protože počet bioplynových stanic bude v budoucnu pravděpodobně stále stoupat, bude potřeba najít i další možné využití digestátu. Já ve své práci řeším drobný příspěvek k tomuto tématu – možnost využití kapalné složky digestátu jako zdroje mikroprvků při pěstování máty.

1.1 Hypotéza:

Rašelina je typická svým nízkým pH a nízkým obsahem mikroprvků. Zatímco fugát má opačné vlastnosti, lze tedy soudit že jejich kombinací bude možné vytvořit vhodný substrát pro pěstování máty.

2 Cíl práce

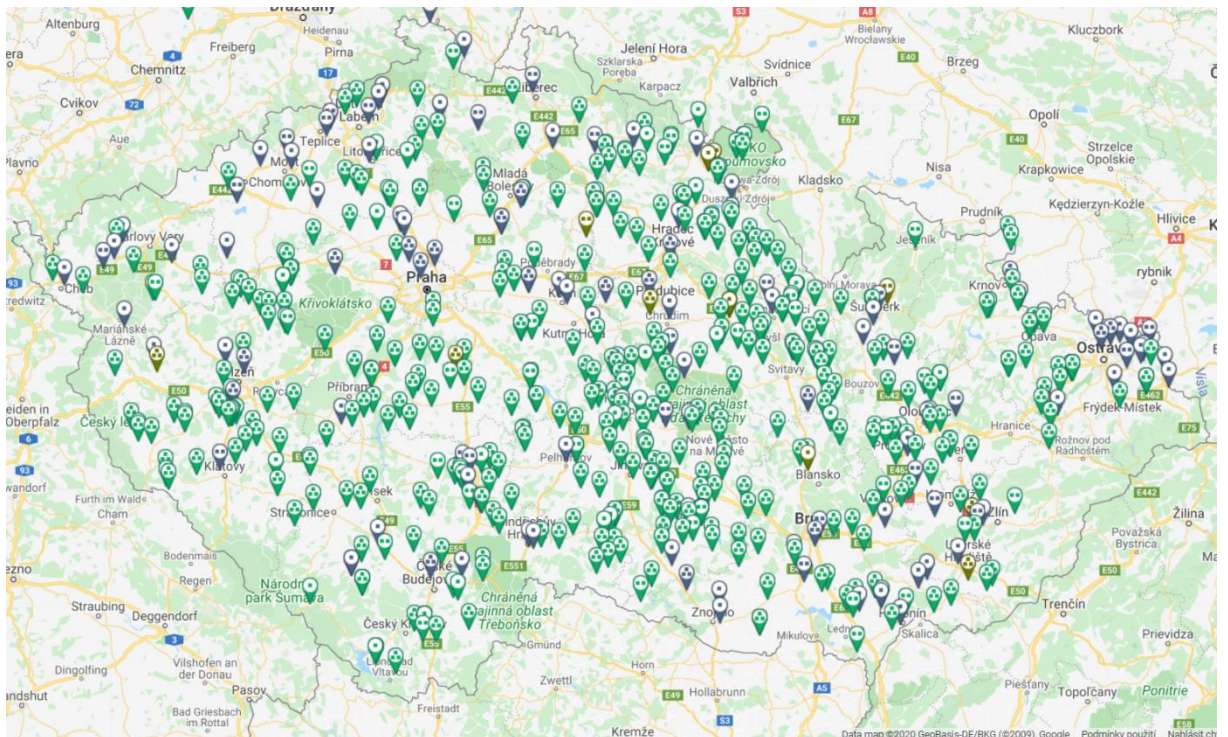
Cílem této práce bylo najít vhodnou kombinaci rašeliny, fugátu a slámy, popřípadě vápence pro pěstování máty z hlediska obsahu přístupných mikroprvků.

3 Literární rešerše

3.1 Bioplynové stanice

Zařízení, ve kterém probíhá řízená anaerobní fermentace organických látek, díky které se látky stabilizují a přemění ve využitelnou složku, bioplyn a fermentační zbytky, se nazývá bioplynová stanice (Váňa, 2010). V ČR je momentálně v provozu 574 bioplynových stanic, (Obrázek č.1) které vyrobí 2526 GWh (czba, 2019).

Obrázek č.1.: Mapa bioplynových stanic v ČR (Biom, 2020).



3.1.1 Současnost bioplynových stanic

Náklady na bezpečnost energie, emise skleníkových plynů a dalších znečišťujících látek ze stávajících způsobů výroby energie jsou dva hlavní problémy, které vedly k mnoha technologickým vývojem alternativního zdroje energie. Jednou z alternativ, která se v poslední době stala celosvětově atraktivní, je využívání biomasy (Mustafa et al., 2016). Přirozený rozklad organické hmoty za pomoci anaerobního prostředí a mikroorganismů vede k produkci bioplynu. Bioplyn je obnovitelný zdroj, který se může využívat při výrobě energie, tepla a automobilového paliva (Scarlat et al., 2018).

Toto využití biomasy jako zdroje energie zaujímá v současné době podíl až 75 % v rámci všech obnovitelných zdrojů. Zajímavým se také jeví využití slámy obilovin, řepky a biologicky rozložitelných odpadů. V současné době lze ve správné směsi prakticky využít všechny plodiny pěstované v ČR, na energetické účely. Problémovější je jejich dostupnost a rentabilita pěstování (Kintl et al., 2016).

3.1.2 Rozdělení bioplynových stanic

Bioplynové stanice dělíme dle několika faktorů. Hlavními faktory jsou vlastnosti zpracovávaných materiálů, vlhkost, dávkování a velikost částic (Jelínek et al., 2001). Váňa, (2010) dále rozděluje bioplynové stanice podle zpracovávaných substrátů do tří typů.

- **Zemědělské** - ve kterých se zpracovávají převážně biomasa z polí s příměsí statkových hnojiv.
- **Čistírenské** - zde se jedná o zpracování kalů z čistíren odpadních vod. Oproti zemědělským zde probíhá „mokrý“ fermentace
- **Ostatní** - v těchto stanicích probíhá zpracování bioodpadu, vedlejších živočišných produktů i vytríděnou biosložkou z komunálního odpadu.

Bioplyn se vyrábí v různých prostředích, jako jsou skládky, čistírny vody, a digestoře biologického odpadu během anaerobní degradace organického materiálu (Rasi et al., 2007).

3.1.3 Zemědělské bioplynové stanice

V zemědělských bioplynových stanicích dochází ke zpracování statkových hnojiv společně s produkty či odpady rostlinné výroby. Tento typ stanic je v ČR nejvíce perspektivní, co se týká výroby bioplynu, a řada farmářů a zemědělských družstev v tom vidí podnikatelskou příležitost. Nahrává tomu i fakt, že tyto stanice mají nižší pořizovací cenu v porovnání s komunálními stanicemi. Zároveň je možné využít fermentovaný substrát jako hnojivo a aplikovat ho na pole (Kučera a Bednář, 2014).

3.1.3.1 Biomasa pro produkci bioplynu.

V současné době je výroba bioplynu v zemědělských stanicích, kromě využívání statkových hnojiv, založená převážně na využívání kukuřice, šlechtí se i speciální odrůdy pro vysoký výnos nadzemní hmoty. Ovšem po novelizaci zemědělského zákona lze kukuřici pěstovat jen na místech se sklonem do 7°, což značně omezilo možnosti jejího pěstování. Důvodem k reformě zákona byla půdní eroze, která probíhala v kukuřičných porostech. Díky erozi však dochází v poslední době k většímu zatravnění svažitých pozemků. Využití luční píče do bioplynové stanice je praktické i účelné, ovšem při porovnání luční píče s kukuřicí je horší jednak kvalita tak i produkce biomasy. Kukuřici lze částečně nahradit krmným šťovíkem, což je víceletá rostlina s produkcí až 3× větší než jiné luční pícniny a zároveň při jeho pěstování nehrozí na svazích vodní eroze. Obsahuje také velké množství dusíkatých látek a cukrů (Petříková, 2012).

3.1.4 Biochemický proces výroby plynu.

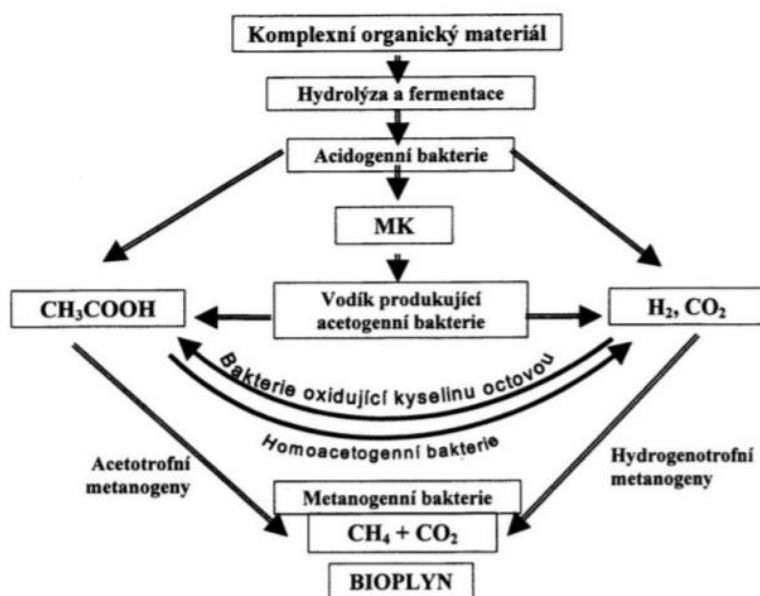
Jedná se o anaerobní digesci, neboli také methanizaci. Je to složitý proces, který probíhá ve čtyřech biologických a chemických fázích. Jsou to hydrolýza, acidogeneze, acetogeneze a methageneze (Obrázek č.2) (Themelis a Ulloa, 2007).

Methanizace je soubor dějů, při kterém směsná kultura mikroorganismů rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu za nepřístupu vzduchu. Konečné produkty jsou plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a stabilizovaná organická hmota (Dohanyos et al., 1982).

Mikroorganismy, tedy bakterie využívané k anaerobní fermentaci rozdělujeme dle jejich optimální teploty růstu do psychrofilních 15-20 °C, mezofilních 35-40 °C, termofilních 55 °C (Kára et al., 2007).

V zemědělských bioplynových stanicích se nejčastěji používají mezofilní bakterie. Psychrofilních teplot je využíváno při jímání plynu z neregulovaných lagun a nádrží. Provozní teplota je závislá na režimu práce fermentoru a musí se dodržovat, neboť bakterie jsou velmi citlivé na teplotní výkyvy (Jelínek et al., 2001).

Obrázek č.2.: Schéma anaerobní digesce (Žídek, 2004).



3.1.4.1 Hydrolyza

Při hydrolyze se pomocí fermentačních bakterií dělí makromolekulární rozpuštěné a nerozpuštěné organické látky – lipidy, polysacharidy a proteiny na látky nízkomolekulární které jsou pomocí hydrolytických enzymů rozpustné ve vodě.

3.1.4.2 Acidogeneze

Během acidogeneze jsou produkty hydrolyzy a biomasa dále rozkládány acidogenními mikroorganismy v kyselém prostředí především na mastné kyseliny CO_2 , H_2 , H_2S .

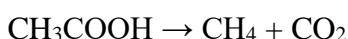
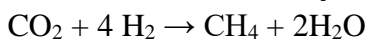
3.1.4.3 Acetogeneze

Acetogeneze je obecně tvorba acetátu, a derivátu kyseliny octové z uhlíkových a energetických zdrojů acetogenů. Při tomto ději mikroorganismy katabolizují většinu z produktů

vytvořené v acidogenezi na kyselinu octovou, CO₂ a H₂. Acetogeny štěpí biomasu do té míry, že methanogeny mohou většinu zbývajících materiálu využít k tvorbě metanu.

3.1.4.4 Methanogeneze

Je to konečná fáze anaerobní digesce, při které methanogeny vytváří methan z konečných produktů acetogeneze a některých meziproduktů hydrolyzy a acidogeneze. Existují dvě obecné cesty zahrnující použití kyseliny octové a oxidu uhličitého, dvou hlavních produktů prvních tří kroků anaerobní digesce, aby došlo k tvorbě methanu. Hlavní cesta k tvorbě methanu ovšem zahrnuje kyselinu octovou (Monnet, 2003).



3.1.4.5 Hodnota pH

Je brána jako indikátor stability procesu anaerobní digesce. Každá z fází vyžaduje jiné optimální hodnoty pH. Methanogenní bakterie jsou obzvláště citlivé a při nízkých hodnotách pH (pod 5) dochází k jejich zániku. Může k tomu dojít, pokud je produkce mastných kyselin produkovaných v acidogenní fázi vyšší než jejich spotřeba. Naopak je také důležité hlídat nadměrný růst methanogenních bakterií, při jejich přemnožení se zvýší i produkce amoniaku a pokud se zvýší hodnota pH k 8, může to negativně ovlivnit acidogenezi. Jako optimum se uvádí pH 6,5-7,5 (Dohányos et al., 1996, Henze, 2002).

3.2 Produkty anaerobní fermentace

Anaerobní digesce je biologický proces, který pohltí a přetransformuje vstupní substrát na požadovaný produkt – bioplyn a na vedlejší produkt v pevném skupenství, který nazýváme digestát (Checchi et al., 1988).

3.2.1 Bioplyn

Jedná se vždy o surovou směs plynů, ve které převládá methan (CH₄) a oxid uhličitý (CO₂). Dále se tu také nachází sulfan, dusík, vodík čpavek, kyslík, siloxany aj. (Tabulka 1.). Výsledný poměr zastoupení plynů závisí na výchozím substrátu a způsobu výroby (Žákovec, 2012).

Tabulka č.1.: Typické složení bioplynu v (%) (Chen et al., 2015).

Component	Agricultural waste	Landfills	Industrial waste
Methane CH ₄	50–80	50–80	50–70
Carbon dioxide CO ₂	30–50	20–50	30–50
Hydrogen sulphide H ₂ S	0.70	0.10	0.80
Hydrogen H ₂	0–2	0–5	0–2
Nitrogen N ₂	0–1	0–3	0–1
Oxygen O ₂	0–1	0–1	0–1
Carbon monoxide CO	0–1	0–1	0–1
Ammonia NH ₃	Traces	Traces	Traces
Siloxanes	Traces	Traces	Traces
Water H ₂ O	Saturation	Saturation	Saturation

3.2.2 Digestát

Společně s rostoucím počtem bioplynových stanic se zvyšuje i množství vyprodukovaného vedlejšího produktu, digestátu. Digestáty obsahují více minerálního dusíku v sušině a méně organického uhlíku než vstupní materiály (Johansen et al., 2013). Podle Tlustoše et al., (2014) lze digestát odseparovat na fugát, tedy kapalnou část a separát čili část pevnou.

Digestát je heterogenní tekutina s obsahem sušiny mezi 7-12 %. Významná část sušiny obsahuje nerozložené pevné organické látky, asi 60-80 % z celkového množství. Ačkoli vyhláška uvádí digestát jako hnojivo organické, svým složením a vlastnostmi se jedná spíše o minerální hnojivo s vysokým zastoupením amonného dusíku (50-75 % z celkového množství). Celkové zastoupení dusíku kolísá mezi 0,25 - 0,7 % (Dostál et al., 2015). Kouřimská et al., (2012) uvádí, že co se týče absorpce prvků rostlinami, tak digestát připomíná minerální hnojiva, protože prvky N, P a K jsou snadno dostupné. Möller a Müller (2012) potvrzují zvýšený obsah živin v půdě, především P a dále uvádí zvýšené hodnoty pH a menší viskozitu v porovnání s nedigestovaným hnojem.

3.2.2.1 Rozdělení digestátu

Podle vyhlášky 131/2014 Sb. se rozděluje „digestát“ na 3 samostatné typy organických hnojiv dle hodnoty sušiny:

1. digestát – obsah sušiny 3 – 13 %, hodnota obsahu dusíku 0,3 % v sušině
2. digestát – fugát – obsah sušiny < 3 %, hodnota obsahu dusíku 0,1 % v sušině
3. separovaný digestát – obsah sušiny > 13 %, hodnota obsahu dusíku 0,5 % v sušině.

Podle Marady et al., (2008) je možné i následující rozdělení podle původu digestátu:

1. Digestát z bioplynových stanic, kde se zpracovávají pouze statková hnojiva a rostlinná biomasa.
2. Digestát z vedlejších živočišných odpadů, zde se zpracovává mléko, masokostní moučky apod.
3. Digestát z odpadů, vstupní surovinou zde mohou být bioodpady, statková hnojiva rostlinné materiály, odpadní vody. Seznam všech využitelných bioodpadů je uveden ve vyhlášce č. 341/2008 Sb.

3.2.3 Využití digestátu.

V organických odpadech se nalézá velké množství živin, kterých se potenciálně nechá využít jako hnojiva a zároveň tak snížit ekonomické a environmentální náklady které jsou spojené s výrobou syntetických hnojiv a likvidací odpadu (Vermaulen et al., 2012). Některé studie ukazují, že digestát má vynikající potenciál a rostliny při jeho použití vykazovaly podobné a v některých případech i vyšší výtěžky než při použití syntetických nebo statkových hnojiv (Nkoa, 2014).

Použití digestátu jako hnojiva je jeho nejlepším využitím, spolu s ním jsou do půdy navraceny snadno přístupné živiny a mikroorganismy (Tabulka č.2.). Kvalita digestátu záleží

na kvalitě vstupních surovin, které byly v bioplynové stanici zpracovávány. Při aplikaci digestátu se hlídá i jeho nezávadnost z hlediska kontaminace chemickými polutanty (Tabulka č.3.) či patogeny (Jeřábková a Duffková, 2019).

Tabulka č.2.: Rozbory digestátu, fugátu a separátu v jednotlivých letech provozování maloparcelkových pokusů, Lukavec 2013-2016 (Duffková a Mühlbachová, 2016).

Parametry	Jednotky	2013			2014			2015			2016			Průměr [%]		
		Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.	Dig.	Fug.	Sep.
Celková sušina	%	7,48	5,14	22,30	5,22	4,84	19,85	7,13	4,83	23,90	11,31	4,71		7,78	4,88	22,02
pH	-	8,00	8,00	9,00	8,20	8,20	8,85	7,90	7,80	8,70	8,00	7,90		8,03	7,98	8,85
Dusík (N)	%	0,49	0,51	0,40	0,39	0,40	0,38	0,52	0,51	0,44	0,37	0,44		0,44	0,46	0,41
N-NH ₄	%	0,27	0,28	0,004	0,36	0,35	0,04	0,35	0,33	0,01	0,20	0,30		0,29	0,32	0,02
N-NH ₄ /N	%	54,64	55,37	1,10	90,43	85,83	10,19	67,68	64,71	3,23	53,41	69,95		66,54	68,96	4,84
Organické látky	%	5,88	3,53	18,82	3,63	3,21	15,05	5,36	3,36	19,05	7,76	3,22		5,66	3,33	17,64
C:N	-	5,95	3,49	23,31	4,61	3,99	19,84	5,17	3,26	21,42	10,53	3,70		6,57	3,61	21,52
Fosfor (P)	%	0,04	0,06	0,20	0,07	0,08	0,18	0,08	0,07	0,24	0,18	0,05		0,09	0,07	0,21
Draslík (K)	%	0,48	0,44	0,48	0,44	0,49	0,54	0,44	0,37	0,40	0,45	0,38		0,45	0,42	0,47
Vápník (Ca)	%	0,09	0,12	0,17	0,14	0,11	0,22	0,16	0,11	0,18	0,37	0,08		0,19	0,11	0,19
Hořčík (Mg)	%	0,02	0,03	0,13	0,04	0,02	0,12	0,07	0,04	0,18	0,15	0,03		0,07	0,03	0,14
Síra (S)	%	0,03	0,03	0,08	0,03	0,04	0,08	0,04	0,04	0,08	0,05	0,03		0,04	0,04	0,08

Tabulka č.3.: Limitní hodnota rizikových prvků (Marada et al.,2008).

mg/kg sušiny								
kadmium	olovo	rtuť	arsen	chrom	měď	molybden	nikl	zinek
2	100	1,0	10	100	100	5	50	400

Při využívání digestátu je také důležité si uvědomit, že organická a přírodní hnojiva nejsou dle zákona stejná. Přírodní (statkové) hnojivo pochází z hospodářských zvířat (hnůj, močůvka...) zatímco organická hnojiva se z organických látek či jejich směsí vyrábí. Rozdíl je v tom že statková hnojiva musí být při aplikaci smíchaná s půdou, zatímco organická nemusí. (Kowalczyk-Juško, 2014). Nicméně Monlau, (2016) uvádí, že pro efektivní využití živin v digestátu, obzvláště N je důležité, aby byl zapraven do půdy co nejdříve pro omezení volatizace.

Je celá řada způsobů aplikace digestátu na povrch půdy. Jejich výběr závisí na metodách zpracování digestátu, druhu hnojených plodin a době hnojení. Rozmetadla tekutých hnojiv slouží k aplikaci digestátu na pole, tažené postřikovače můžeme využít pro digestační kaly s nízkým obsahem sušiny (pod 5 %), nebo fugáty. (Garfi et al., 2011). Ovšem díky stále rostoucímu využívání digestátu namísto statkových hnojiv v praxi je nutné dále sledovat jeho vliv na půdní podmínky a kvalitu úrodnosti (Tambone et al., 2010).

3.2.3.1 Separát

Jako zajímavé se také jeví využití separátu, který vylepšuje půdní podmínky, zejména snižuje půdní hmotnost, zvyšuje vodní retenční kapacitu, propustnost půdy a stabilitu půdních agregátů (Erhart et al., 2014). Monlau, (2016) Potvrzuje potenciál separátu na zvýšení

organické hmoty v půdě, který je vyšší než potenciál hnojivý. Dále považuje separát i za vhodnou náhradu kompostu a rašeliny.

Využití pevné fáze digestátu ze zemědělských stanic je vhodné pro pěstební substráty jen do určité míry. Separát je mírně zásaditý, s vysokým obsahem N-NH₄⁺ a K a je tvořen asi z 20 % sušinou. Vlhký separát obsahuje více živin, proto se musí používat v menších dávkách. Zatímco sušení významně sníží podíl N-NH₄⁺, proto je možné použít vyšší dávky vysušeného separátu (Tabulka č.4.). Z hlediska fyzikálně-chemických vlastností se jedná o dávku, která tvoří 20 % substrátu. U rostlin náročnějších na živiny je možné použít až 40 %. Příjem živin u těchto substrátů záležel především na hodnotách pH (Dubský et al., 2019).

Tabulka č.4.: Chemické vlastnosti a obsah makroprvků ve vlhké (mSD) a suché (dSD) části separátu a substrátech namíchaných na bázi rašeliny s % podílem těchto druhů separátu (Dubský a kol., 2019).

Treatment	pH	EC (mS/cm)	Available nutrients (mg/l substrate)					
			N-NH ₄ ⁺	N-NO ₃ ⁻	P	K	Mg	Ca
Peat	4.3	0.05	14	7	1	8	65	13
mSD	9.2	1.01	539	17	154	1,008	138	71
dSD	8.3	1.08	94	10	462	1,536	549	58
mSD20	5.9	0.12	188	4	84	241	26	20
mSD40	6.7	0.23	374	8	118	465	38	25
dSD20	4.8	0.17	35	6	143	340	224	25
dSD40	5.7	0.27	46	7	242	639	269	30
dSD60	6.7	0.28	31	4	215	510	198	28
dSD80	8.3	0.62	103	8	316	1,174	373	44

3.2.3.2 Fugát

Jeho složení a vlastnosti jsou ovlivněny složením vstupních surovin, stejně jako u digestátu. Obsah sušiny se pohybuje do 4 %, je zde tedy i nižší poměr C:N, proto je doporučována aplikace s posklizňovými zbytky, např. slámou. Fugát má vyšší hodnoty pH, uvádí se běžně 7-9, což je způsobeno vyšším obsahem amonného dusíku, je tedy vhodný k aplikaci na kyselé až neutrální půdy, pozorován je taky vyšší obsah K a P. Většina dusíku je v minerální formě, tudíž rostlinám okamžitě přístupná. Obecně lze předpokládat že více rozpustné formy živin, které jsou rostlinám lépe přístupné obsahuje právě fugát. Fugát je možno aplikovat podobným způsobem jako kejdu, před i během vegetace polních plodin. Pokud se nebude zapravovat do půdy je vhodné použít alespoň hadicové aplikátory pro omezení ztrát dusíku (Vítěz, 2013).

3.3 Pěstební substráty

Z fyzikálního hlediska jsou substráty pevná hmota s dostatečným obsahem dutin a pórů. Má důležité fyzikální funkce, jako je zajištění ukotvení rostliny, regulace příjmu vody, vzduchu a živin. (Bunt, 1988).

Pěstební substráty nejsou primárním zdrojem živin pro pěstované rostliny, je to spíše směs organických látek, které nemají ani vlastnosti hnojiv. Pěstební substráty se tedy skládají z organických z látek a zeminy. Občas jsou doplněny o meliorační komponenty, např. perlit, bentonit aj. pro zajištění vhodných podmínek pro rostliny. Mohou být tedy definovány jako pěstební média. Na substráty je kladena řada požadavků, které musí splňovat:

- Biologické-hygienická nezávadnost (bez škůdců, plevelů a zárodků chorob).
- Fyzikální-sorpce živin, velikost částic, pórovitost atd.
- Chemické-obsah solí a rizikových prvků, vhodný poměr C:N, dostatek přijatelných živin a především optimální hodnota pH.

Jako základ substrátů se stále nejvíce využívá rašelina. Většinou se ale substrát skládá z mixu mnoha komponentů (Vaněk, 2012). Soukup et al., (1979) uvádějí, že pro pěstování skleníkových rostlin se používají dva typy směsí.

1. Směsi těžké: Tato směs se skládá převážně z minerálních komponentů v určitém poměru (uvedený v závorce za složkou). Pro přípravu se používá: Kompostovaná zemina(3), drnovka nebo těžká zemina(1), rašelina(2), kompostovaný hnůj(2), písek(1). Výsledná směs má neutrální pH.
2. Směsi lehké: převažují zde organické materiály, například: listovka(4), rašelina(1), pařeništní zemina(1), kompost (1), písek(1). Výsledkem je kyprá směs, dobře propustná pro vodu s pH mezi 5,5-6,5.

3.3.1 Komponenty substrátů.

3.3.1.1 Organické

Organické složky substrátů příznivě ovlivňují jejich fyzikální vlastnosti. Nejvyužívanější je rašelina, která slouží jako provzdušňovací složka substrátů. Pomalu se rozkládá a často obsahuje složky s významnou sorpční funkcí. Pokud není rašelina nahrazena jiným komponentem, dosahuje její podíl v substrátu běžně okolo 50 %. Rašelina má velmi kyselé pH, proto se musí upravovat na požadovanou hodnotu (např. dolomitickým vápencem). Běžně využívané komponenty jsou: kokosová vlákna, rašelina, kůra, rýžové slupky, piliny i jiné snadno dostupné materiály. U některých komponentů je nutné určité ošetření před použitím, např. kompostování (Vaněk et al., 2012, Wilkinson et al., 2014).

3.3.1.2 Minerální

Do minerálních komponentů patří především zeminy. Zvyšují sorpční kapacitu a zároveň i stabilitu pH. Vhodnější jsou zeminy s vyšším obsahem jílnatých částic např. bentonit. Také se běžně využívá písek. Písek je inertní a má především provzdušňovací funkci. Hojně se tedy využívá v substrátech pro travní porosty – sportovní hřiště.

3.3.1.3 Meliorační

Mají speciální vlastnosti jako je vysoká pórovitost-pemza, pěnový polystyren, perlit, keramzit. Zlepšují jímavost vody-hydrosorbenty, či sorpci živin. Jedná se o materiály přírodní i syntetické.

3.3.1.4 Hnojiva

Pro úpravu pH se běžně používá vápenec či dolomitický vápenec. Další hnojiva využíváme podle potřeby a účelu použití daného substrátu (Vaněk et al., 2007, 2012).

3.3.2 Rašelina

Rašelina je sedimentací akumulovaný organický materiál, který se přeměňuje za nepřístupu kyslíku ve vlhkém prostředí. Obsahuje vysoký podíl vláknité organické hmoty (nejméně 65 %), a méně než 35 % minerálních látek. Rašelina je charakteristická tmavým zbarvením (Huat et al., 2011).

Mezi společné vlastnosti rašelin patří velká schopnost vázat a zadržovat vodu, a to díky pórům ve struktuře. Menší nasákavost vykazuje pouze slatinná rašelina. Rašelina je tedy obecně organická hydrofilní koloidní substance vytvořená v procesu rašelinění, obsahující kolísavý podíl částí vyšších rostlin v různém stupni rozložení, dále minerální příměs a více než 75 % vody. Prvkové složení rašeliny se pohybuje okolo: C 50-60 %, O 33-40 %, H 4,5-6 %, N 0,9-3,5 %, S 0,1-2 %. Rašelina obsahuje do 20 % bitumenu, do 40 % huminových látek, do 40 % ligninu a až 40 % látek kerogenové příslušnosti (Jirásek et al., 2016).

3.3.2.1 Druhy rašelinišť (rašelin)

3.3.2.1.1 Slatinná

Vznikají většinou v eutrofním prostředí – voda obsahuje minerální látky. Vyskytují se ve všech nadmořských výškách. Tyto rašeliniště mají vyšší pH, a obsahují více živin i mikroorganismů. Vstupní organický materiál tvoří především ostřice, rákos a přesličky.

3.3.2.1.2 Vrchovištní

Vznikají v oligotrofním prostředí, voda neobsahuje vysoké množství minerálních látek, pH dosahuje nízkých hodnot a činnost mikroorganismů je menší. Rašelina tedy bývá i méně rozložená. Tato rašeliniště jsou na nepropustném podkladu a voda tudíž pochází pouze ze srážek. Vstupní organický materiál je zde mech rašeliník (*Sphagnum sp.*).

3.3.2.1.3 Přečhodová

Jsou smíšeného původu, rostou zde jak mechy, tak i vlhkomilné rostliny (Spitzer a Bufková, 2008, Bunt, 1988).

3.3.2.2 Klasifikační systém

Jednou z možností, jak rozdělovat rašelinu je podle obsahu vlákniny a vstupního materiálu. Dělí se do pěti skupin

1. Rašelina mechová (*Spaghnum sp.*) Tato rašelina musí obsahovat 75 % mechového vlákna z rašeliníku, obsah organických látek zde tvoří min. 90 %.
2. Rašelina mechová (*Hypnum sp.*) Rašelina tohoto typu obsahuje v sušině 50 % mechových vláken mechů rodu *Hypnum*. Obsah organické hmoty je 90 % a více.
3. Rašelina rákosová – suchý vzorek obsahuje nejméně 33 % vláken rákosu, ostřice a dalších vlhkomilných travin.
4. Rašelinový humus – celkový obsah vlákniny v sušině je nižší než 33 %.
5. Jiné – rašelina která není klasifikována předchozími skupinami.

3.3.2.2.1 Von Postova klasifikace

Při této klasifikaci rozdělujeme rašeliny do tříd H1-H10. V závislosti na barvě a obsahu huminových a fulvokyselin. Nejméně rozložené jsou světlé rašeliny. Tmavé rašeliny jsou rozložené nejvíce a obsahují i více huminových a fulvokyselin (Bunt, 1988).

3.3.3 Nejčastější náhrady rašeliny

V posledních letech je kladen důraz na hledání alternativních, a především obnovitelných zdrojů. Týká se to i rašeliny která sice je obnovitelná ale její využití v takovém množství jako se to děje nyní je dlouhodobě neudržitelné. Ochrana rašeliníšť zde hraje také roli, nicméně výhledově zde přetrvává obava z postupného zvyšování její ceny (Schmilewski, 2008).

3.3.3.1 Kůra

Dříve byla považována za odpadní produkt a využívána ve spalovnách a elektrárnách. Nyní už je běžně akceptována i jako součást substrátů. Někdy je její primární úkol pouze provzdušnit substrát, jindy může nahrazovat rašelinu, především pokud kůru zkompostujeme. Při správném využití dosáhneme skvělých výsledků při jejím používání, ale je to přirozeně variabilní materiál. Liší se podle druhu stromu, jeho věku a půdních podmínek. Hlavními problémy v čerstvém stavu je nedostatek dusíku nebo jeho chemicko-fyzikální fixace v kůře a přítomnost škodlivých látek jako jsou např. fenoly a mangan (Bunt, 1988, Vaněk et al., 2012).

3.3.3.2 Separovaný digestát

Jedná se pevnou složku digestátu, využívá se při kompostování se slámou, kde zlepšuje půdní vlastnosti, především provzdušňuje půdu (Tlustoš et al., 2014). Separát vylepšuje půdní podmínky, důležitá je především vodní retenční kapacita, propustnost a stabilita půdních agregátů (Erhart et al., 2014). Separát po procesu anaerobní digesce obsahuje stabilní organické látky pohybující se v rozmezí 55 – 85 % v suché hmotě (Kaplan et al., 2011). Dubský et al.,

(2019) uvádějí že separát obsahuje dostatek organických látek a může tvořit až 40 % pěstebního substrátu v závislosti na jeho vysušení, obsahu živin a potřebách rostlin.

3.3.3.3 Kokosové vlákno

Je vyráběno z plev a krátkých vláken mezokarpu rostliny (*Cocos nucifera*). Je třetím nejčastěji používaným pěstebním médiem po rašelině a minerálních substrátech jako je perlit, minerální vlna aj. Jedná se o odpadní produkt kokosového průmyslu a je to obnovitelný zdroj. Kokosová vlákna pocházejí především z Filipín, Srí lanky, Malajsie a Thajska. Jejich vlastnosti jsou velice podobné rašelině, nicméně mají vyšší pH (6-6,5) a nižší kationtovou výměnnou kapacitu. Dále musí být vlákna upravována pro snížení vysokých hodnot K a Na. Stále více se využívají v Nizozemsku a Itálii (Mariotti et al., 2020).

3.3.3.4 Dřevěná vlákna

Zájem o dřevěné vlákno a jeho používání se v posledních letech významně zvýšil. Existuje řada způsobů výroby dřevěných vláken, ale většina zahrnuje průchod dřevního materiálu skrz drtiče, výsledkem je vlně podobný materiál. Dřevo na výrobu vlákna obvykle je obvykle klasifikováno jako odpadní a stavitelsky nevyužitelné. Co se týče vlastností tak pH je se pohybuje od 6-7, obsah makroživin je podobný rašelině, ale obecně závisí na druhu stromu a podmínkách, ze kterých pochází. Obsah mikroživin je obecně velmi nízký. Dosud se nevyskytly problémy s fytotoxicitou (Alexander, 2014).

3.3.3.5 Komposty

Komposty mají určité příznivé vlastnosti pro růst rostlin, například vysoký obsah živin a dobrou retenci vody, a především je velmi dobře dostupný. Jejich využití v pěstebních médiích je však omezeno vysokým pH, koncentrací chloridů a draslíku a také velkou objemovou hmotností. Obvykle se používá ve směsích do 25 % objemu z celkové směsi (Alexander, 2014).

3.3.4 Mikroelementy

Obsah mikroelementů bývá menší než 0,05 % (Fe, Mn, Zn, Cu, B, Mo, Cl, Ni) (Vaněk et al. 2012). Rostliny obecně potřebují mikroelementy v malém množství, Je proto potřeba udržovat a vytvářet v půdě jejich přiměřené obsahy. Jak nadbytek, tak nedostatek může způsobit poruchu růstu. Odběr mikroživin z jednoho hektaru se pohybuje v desítkách až stech gramů. Jsou důležité pro inhibici a katalýzu enzymů a ovlivňují i základní procesy rostlin jako je příjem dalších živin, produkce složitějších látek a fotosyntézu. V současné době je větší odběr mikroelementů z půdy než jejich přísun s výjimkou Cl (Vaněk et al., 2018).

3.3.4.1 Železo

Je poměrně vysoce zastoupené v půdách, až okolo 2 %. Pouze v půdách organogenního původu je ho méně. Vysoký podíl železa je v oxidové formě, kde je značně stabilní, proto se v půdách hromadí i přes zvětrávání. Velká část Fe se v půdě vyskytuje v anorganické formě a

v menším pak ve sloučeninách s humusovými látkami. Anorganické sloučeniny Fe se vyznačují špatnou rozpustností, která je závislá na nižších hodnotách pH. V závislosti na stavu půdy rostliny přijímají železo ve formě Fe^{2+} nebo Fe^{3+} . Železo je rostlinou přijímáno převážně kořeny ve formě Fe^{2+} nebo Fe^{3+} . V rostlině přechází až 80 % do organických vazeb, tzn. do chloroplastů a mitochondrií. Dále se váže na zásobní látku – fosfoproteiny. Důležité je také pro tvorbu ferredoxinu, který je důležitý pro průběh fotosyntézy. Nedostatek železa se projevuje chlorózou mladých částí rostlin, objevuje se na alkalických půdách nebo na půdách s vysokým obsahem Cu (Vaněk, 2012).

3.3.4.2 Mangan

Obsah Mn v půdách může velice lišit. V lehkých, kyselých a propustných půdách je obsah manganu nižší. Vyskytuje se v různých oxidačních stupních, rostliny ovšem přijímají pouze Mn^{2+} . Hlavní část přijatelného manganu se nachází v sorpčním výměnném komplexu. Opatření, které podporují oxidační procesy vedou k tvorbě vícemocných sloučenin Mn, tudíž snižují jeho přijatelnost (Schulte a Kelling, 1999). Mangan hraje důležitou roli při aktivaci enzymů, které zahrnují oxidační reakce, karboxylaci, metabolismus sacharidů a cyklus kyseliny citronové. Důležitý je i pro produkci chlorofylu. Při nedostatku manganu klesá i obsah ligninu v rostlině což vede k snazšímu napadení kořenů houbovými chorobami. S nedostatkem Mn se setkáváme především na vápnatých, suchých půdách, případně i na půdách ovlivněných půdní erozí. Projevuje se mozaikovými nekrózami. Naopak nadbytek manganu nastává na výrazně kyselých půdách, projevuje se podobně jako jeho nedostatek (Marschner, 2012).

3.3.4.3 Zinek

Vyskytuje se v dostatečném množství téměř ve všech půdách. Stejně jako předešlé mikroprvky je lépe přístupný na půdách s nižším pH. Roli také hraje mikrobiální aktivita a podíl organické hmoty. Nedostatek zinku v kyselých půdách indikuje jeho absenci v matečné hornině půdy. S nedostatkem Zn se potýkáme také na lehkých-promyvných půdách. Rostlinou je přijímán ve formě Zn^{2+} a mezi druhy rostlin jsou značné rozdíly v potřebě příjmu zinku. Zn je rostlinami využíván při syntéze bílkovin. Jeho nedostatek provází problémy s dělením vrcholových pletiv a nižší počty chloroplastů. Nedostatek může být vyvolán vysokým obsahem Cu, P či Fe v půdě. Nadbytek může naopak blokovat příjem těchto prvků (Kulhánek et al., 2018).

3.3.4.4 Měď

V půdě se nachází v organických i anorganických sloučeninách. Je obvykle silně vázaná na sorpční komplex, a proto je i méně pohyblivá. Větší část Cu v půdě se nachází v humusovém horizontu. Cu je lépe uvolnitelná na půdách s nižším pH. Rostlina přijímá Cu jako kationt Cu^{2+} . Bývá vázána převážně v kořenech, které vykazují její nejvyšší koncentraci. Také se účastní přeměn dusíku a ovlivňuje i stabilitu chlorofylu. Při nedostatku Cu je omezena tvorba generativních orgánů. Nedostatek Cu je možno sledovat na lehkých půdách, půdách s vysokým obsahem organické hmoty a po silném vápnění (Vaněk, 2012).

3.3.4.5 Bór

Bór je v půdě zastoupen především v boritanech a také jako součást křemičitanů. Uvolňuje se pozvolna, nicméně, hned poté je ve formě H_3BO_3 v půdě velmi pohyblivý a často je srážkami vyplavován, obzvláště na lehkých kyselých půdách. Rychlost uvolňování záleží na pH. Pro rostliny je dobře přijatelný do pH 6,3 (Marschner, 2012). Přijímán je ve formě H_3BO_3 . V rostlině je důležitý pro stabilitu buněčných stěn, dělení a diferenciaci vrcholových pletiv, transport asimilátů do zásobných orgánů, vstřebávání vápníku aj. Projevy jeho nedostatku se liší v závislosti na druhu rostliny. Společné ovšem mají zpomalení růstu vegetačního vrcholu až jeho odumření (Bunt, 1988).

3.3.4.6 Molybden

V půdě pouze v malém množství. Nedostatek bývá pozorován zvláště v kyselých, písčitých půdách. Bývá sorbován na koloidní micely s kladným nábojem. Přístupnost Mo se zvyšuje společně se stoupajícím pH. Přijímán je jako aniont MoO_4^{2-} . V rostlině je málo až středně pohyblivý a je využíván k zajištění funkcí enzymatických systémů, především metabolismus N. Může se však v rostlinách hromadit bez jakýchkoliv známek a při následné konzumaci plodin živočichy je karcinogenní (Vaněk, 2012).

3.3.4.7 Chlór

V přírodě se vyskytuje jako aniont Cl^- , je vysoce pohyblivý a v půdě je ho dostatek díky rozpadu minerálů a srážkám. Nedostatek se běžně nevyskytuje. Rostliny přijímají chlór jako Cl^- . Stejně jako v půdě je i v rostlinách dobře pohyblivý. Potřeba Cl se liší podle druhu rostliny. Jeho úloha v rostlinách je rozmanitá, nejvýznamnější je ovšem ovlivňování osmotického tlaku a regulace otevírání a zavírání průduchů (Pavlíková et al., 2018).

3.3.4.8 Nikl

Obsah Ni v půdě závisí na přítomnosti minerálů jejichž je součástí, lépe je přijímán v kyselém pH a na většině půd ČR se s nedostatkem Ni nesetkáme. V orničním horizontu je vázán převážně na organické sloučeniny. Jeho úloha u některých skupin rostlin ještě není objasněna. Podílí se však na metabolismu dusíku a hraje i roli v klíčivosti osiva, především u bobovitých (Vaněk, 2012).

4 Metodika

V rámci této bakalářské práce byl v pokusných sklenících katedry agroenvironmentální chemie (ČZU v Praze) založen nádobový pokus s mátou peprnou (*Mentha piperita*). Harmonogram pokusu byl následující:

- 14.6.2020 - řízkování máty. Řízky byly zasazeny do perlitu a předpěstovány.
- 23.6.2020 – namíchání pokusných substrátů a předpřípravení do květináčů
- 30.6.2020 – zasazení zakořeněných řízků do pokusných substrátů
- 22.7.2020 – přihnojení pokusu dusíkem
- 29. a 30.7.2020 – postřik proti molicím
- 7.8.2020 – sklizeň pokusů

Cílem pokusu bylo vytvoření vhodného pěstebního substrátu za pomoci kombinace fugátu, slámy a rašeliny. Hodnota pH byla upravena vápnitým dolomitem. Varianty pokusu jsou uvedeny v tabulce 5.

Tabulka 5. Přehled variant substrátů pro pokusy s mátou peprnou

č.	Typ varianty	Substrát	OH* (g/l)
1	Kontrola	Běžný pěstební substrát	327
2	Kontrola	Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g vápnitého dolomitu/l	211
3	Testovaný substrát	Rašelina + 5 % slámy s fugátem, + 12 g vápnitého dolomitu/l	259
4	Testovaný substrát	Rašelina + 10 % slámy s fugátem + 10 g vápnitého dolomitu/l	269
5	Testovaný substrát	Rašelina + 15 % slámy s fugátem + 8 g vápnitého dolomitu/l	278
6	Testovaný substrát	Rašelina + 20 % slámy s fugátem + 6 g vápnitého dolomitu/l	301

* OH – objemová hmotnost

Kapalná složka digestátu (fugát; 70 kg) pocházela ze zemědělské bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Fugát byl důkladně homogenizován se slámou (*Miscanthus* (52,8 kg), sója (17,5 kg)) a vodou (200 kg). Následná tepelná úprava probíhala po dobu 7 dnů při teplotě 82 °C, s dvěma cykly propařování. Jako běžný pěstební substrát byl využit Zahradnický substrát s aktivním humusem (AGRO CS, Česká Skalice). Jako druhý kontrolní substrát byla využita bílá rašelina (Profi Peat White, AGRO CS, Česká Skalice) s hnojivem PG MIX - 14 % N, 7 % P, 15 % K, 0,42 % Mg, 7 % S, 0,09 % Fe, 0,12 % Cu, 0,04 % Zn, 0,16 % Mn, 0,03 % B, 0,2 % Mo (YARA Agri, Praha) a vápnitým dolomitem – 18 % Ca a 10 % Mg (AGRO CS, Česká Skalice). Testované substráty byly namíchány objemově tak, že ve variantách 3-6 bylo do rašeliny namícháno 5, 10, 15 a 20 % směsi fugátu se slámou. Hmotnostně bylo přidáno 6, 8, 10 a 12 g vápnitého dolomitu. Substráty byly homogenizovány a rozděleny do dvoulitrových pokusných nádob tak aby v každé nádobě bylo stejné množství substrátu (500 g) a zality na přibližně 60 % vodní kapacity. Sazenice máty byly do nádob zasazeny po 9 dnech, kdy bylo očekáváno ustálení poměrů v namíchaných substrátech. Všechny varianty byly 4x opakovány. Zalévání probíhalo každý týden, a to vždy na stejnou hmotnost jednotlivých variant. Cílem bylo udržovat přibližně 60 % vodní kapacity substrátu. Rostliny v testovaných substrátech vykazovaly projevy nedostatku dusíku, což bylo již dříve potvrzeno i analýzou vstupních substrátů. Proto bylo provedeno přihnojení dusičnanem vápenatým (15 % N, Lovochemie,

Lovosice) v dávkách 50, 100, 150 a 200 mg N na nádobu k variantám 3 – 6. Ve dnech 29. a 30.7. bylo provedeno ošetření 0,03% roztokem přípravku Mospilan (AgroBio, Opava) proti molicím.

4.1 Provedené analýzy

U všech pokusů byly provedeny následující analýzy

- podíl sušiny substrátů před i po sklizni
- hmotnost čerstvé nadzemní hmoty sklizených rostlin
- podíl sušiny nadzemní hmoty sklizených rostlin
- měření hodnoty aktivního a výměnného pH a elektrické vodivosti v substrátech před i po sklizni
- obsah mikroprvků v substrátech před i po sklizni
- obsah mikroprvků ve sklizených rostlinách máty (metody stanovení pH, vodivosti a mikroprvků jsou uvedeny níže).

4.1.1 Stanovení hodnoty pH a vodivosti

4.1.1.1 Aktivní pH a vodivost

Pro stanovení hodnoty pH byly naváženy 4 g suchého substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1 hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 40 ml demineralizované vody v 50 ml plastových kvetách. Po ustálení proběhlo měření aktivního pH a současně i vodivosti.

4.1.1.2 výměnné pH

Pro stanovení hodnoty výměnného pH byly naváženy 4 g čerstvého substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (horizontální třepání) s 40 ml 0,01 mol/l CaCl₂ v 50 ml plastových kvetách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH. Metoda byla adaptována dle (Minasny et al., 2011) a je rovněž běžně používána laboratořemi ÚKZÚZ pro stanovení hodnoty výměnného pH. Aktivní pH, výměnné pH i vodivost byly měřeny přímo v suspenzi přístrojem HANNA Instruments (HI 991 301, Rhode Island, USA).

4.1.2 Stanovení obsahu okamžitě přístupných mikroprvků vodným výluhem

Extrakty byly zhotoveny dle Luscombe et al. (1979). Ke 3 g usušeného vzorku bylo doplněno 30 ml demineralizované vody. Vzorky byly třepány 1 hodinu a následně odstředěny (5 min. při 8000 g). Odstředěné vzorky byly dále filtrovány. Vzniklé extrakty byly analyzovány na obsah přístupných mikroprvků pomocí optického emisního spektrometru s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES, Varian VistaPro, Austrálie).

4.1.3 Stanovení rychle dostupných mikroprvků výluhem v 0,01 mol/l CaCl

Ke stanovení rychle dostupných mikroprvků byl využit výluh v 0,01 mol/l CaCl₂, který je někdy uváděn jako přesnější z hlediska vypovídací schopnosti o obsahu živin v půdním roztoku. Byla využita mírně modifikovaná metoda dle Houba et al. (1990). Extrakce proběhla v poměru 1:10 (3 g substrátu, 30 ml vyluhovacího roztoku). Po dvou hodinách třepání byly

vzorky odstředěny 5 min. při 9000 g a následně ještě zfiltrovány pro odstranění neodstředěných nečistot. Pro měření přístupných mikroprvků byl využit ICP-OES.

4.1.4 Stanovení potenciálně přístupných mikroprvků metodou CAD

Dostupnost či obsah vybraných půdních živin a prvků byla stanovena dle normy EN 13651. Tato evropská norma je určena pro stanovení živin a prvků extrahovatelných chloridem vápenatým aDTPA (diethylentriaminpentaoctová kyselina). Čerstvý vzorek substrátu byl extrahován roztokem 0,01 mol/l CaCl_2 a 0,002 mol/l DTPA v poměru (pevná látka/kapalina) 1:10 (3 g/30 ml). Po 1 hodině třepání byly vzorky zfiltrovány a v získaných extraktech měřen obsah mikroprvků pomocí ICP-OES.

4.1.5 Stanovení vybraných mikroprvků metodou Mehlich 3

Pro analýzy usušených vzorků substrátů byl použit extrakční roztok dle Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složený z CH_3COOH ($c=0,2$ mol/l), NH_4F ($c=0,015$ mol/l), HNO_3 ($c=0,013$ mol/l), NH_4NO_3 ($c=0,25$ mol/l) a EDTA ($c=0,001$ mol/l). Poměr substrátu a vyluhovadla činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 5 min. Ve vyluzích byl rovněž měřen obsah mikroprvků pomocí ICP-OES.

4.2 Analýzy rostlin

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,5 g ($\pm 0,005$ g) namletého materiálu. Ten byl převeden do roztoku rozkladem na mokré cestě s pomocí mikrovlonné digesce v prostředí kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek byl poté kvantitativně převeden do roztoku (finální objem 50 ml) a analyzován ICP-OES pro změření obsahů mikroprvků.

4.3 Zpracování výsledků

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky vypočtené v programu Microsoft Excel (Excel, 2003) a pokročilé statistické vyhodnocení (A-NOVA) bylo realizováno prostřednictvím programu Statistica 12.

5 Výsledky

5.1 Rozbory vstupních substrátů

V této části je popsáno zhodnocení výsledků analýz, u jednotlivých variant substrátů. Varianty jsou pro větší přehlednost označeny čísly 1-6 a vstupní komponenty písmeny R (rašelina) a FS (fugát se slámou) viz. **Tabulka č. 6.** (Testované varianty jsou navíc zdůrazněny tučným písmem).

Tabulka č.6.: Zkrácené označení variant

R	Rašelina
FS	Fugát + sláma
1	Univerzální substrát
2	Rašelina + 1,5 g PG MIX/l + 12 g Vápenitého dolomitu/l
3	Rašelina + 5 % Slámy s fugátem + 12 g vápenitého dolomitu/l
4	Rašelina + 10 % Slámy s fugátem + 10 g vápenitého dolomitu/l
5	Rašelina + 15 % Slámy s fugátem + 8 g vápenitého dolomitu/l
6	Rašelina + 20 % Slámy s fugátem + 6 g vápenitého dolomitu/l

5.1.1 Analýzy vstupních substrátů

Rašelina vykazovala, s výjimkou podílu sušiny, nejnižší naměřené hodnoty. Můžeme si tak povšimnout podle předpokladu se zvyšujících hodnot objemové hmotnosti (OH), pH a vodivosti (EC) u testovaných variant **3-6** což je způsobeno vyšším obsahem fugátu. Naopak obsah sušiny se s přidáním fugátu snižoval. Částečnou výjimkou pak byla varianta **6** kde došlo k poklesu pH, což bylo pravděpodobně v důsledku snižujícího se množství přidaného vápenitého dolomitu. Vysoká EC varianty 2 byla způsobena hnojivem PG-Mix. Z výsledků uvedených v **Tabulce č. 7.** lze usoudit, že by z hlediska těchto parametrů bylo možné využít i vyšší dávky fugátu se slámou.

Tabulka č.7.: Základní charakteristika substrátů

Varianta	Objemová hmotnost (g/l) (OH)	Sušina substrátu %	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	EC mS/cm
R	211	50,7	3,70	2,80	0,12
FS	474	25,8	9,30	8,10	1,35
1	327	52,0	5,66	5,08	0,79
2	211	43,9	4,09	3,89	1,95
3	259	41,5	4,41	4,12	0,30
4	269	37,1	4,41	4,00	0,36
5	278	32,8	4,63	4,25	0,31
6	301	30,5	4,51	4,03	0,33

Nejvyšší obsah Fe změřený ve vodném výluhu byl ve variantě 1 kde dosáhl až 26,5 mg/kg (**Tabulka č.8.**). O polovinu nižší obsah byl naměřen ve variantě 2. V testovaných variantách **3-6** dosáhly hodnoty nejvíce 6,95 mg/kg, a to ve variantě **5**. Obsah Fe se zvyšoval s přidávkou FS. Obsah mědi se pohyboval mezi 0,24 a 0,349 mg/kg z čehož nejvíce bylo obsaženo v substrátech **6** a 2. Varianta č. 2 obsahovala také nejvíce Zn a to 1,36 mg/kg, zatímco

testované varianty dosahovaly necelé poloviny tohoto obsahu, ač se obsah Zn zvyšoval s obsahem FS.

Mangan byl podobně jako zinek nejhojněji obsažen v substrátu 2, u testovaných variant zde byla pozorována mírná tendence jeho poklesu s přidávkou FS. Bór byl v dostatečném obsahu naměřen u varianty 2 a 1, až 2,424 mg/kg. U variant **3-6** dosáhl B nejvíce 0,681 mg/kg. Molybden byl díky nízkému obsahu přístroji neměřitelný. Obsah niklu byl nejvyšší u substrátu č. 1, a to 0,398mg/kg. Ostatní varianty vykazovaly několikanásobně nižší hodnoty.

Tabulka č.8.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený vodným výluhem (mg/kg sušiny)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
R	11,5	0,398	0,241	0,259	0,711	0	0,04
FS	33,5	5,85	6,72	3,74	9,78	0	0,52
1	26,5	0,259	0,970	0,790	1,803	0	0,398
2	12,9	0,337	1,360	6,298	2,424	0	0,120
3	5,32	0,279	0,406	0,576	0,238	0	0,079
4	5,37	0,240	0,435	0,562	0,410	0	0,075
5	6,95	0,362	0,630	0,647	0,537	0	0,078
6	6,65	0,349	0,619	0,544	0,681	0	0,097

Obsah rychle přístupných živin je uveden v **Tabulce č. 9**. Obsah Fe dosahoval nejvyšších hodnot u kontrolních substrátů 1 a 2 a to 5,5 a 6,4 mg/kg. U substrátů **3-6** se podíl Fe zvyšoval s přidávkou FS, avšak nedosáhl hodnot kontrolních substrátů. Výsledky naměřené u mědi dosahovaly podobných hodnot u kontrolních substrátů i u testovaných substrátů, v průměru kolem 0,15 mg/kg, pouze u varianty **5** a **6** došlo ke značnému navýšení na 0,28 a 1,4 mg/kg. V případě Zn bylo naměřeno nejvíce u var. 2, tj. 2 mg/kg. U testovaných substrátů **3-6** obsah Zn klesal s přidávkou FS, nicméně byl stále vyšší než u substrátu č. 1. Nejvíce manganu bylo obsaženo v substrátu 2 - 10,7 mg/kg. Také byl hojně obsažen v substrátech **3-6** kde opět s přidávkou FS klesal. Nejvyšší obsah B byl opět v kontrolních substrátech 1 a 2 a to okolo 1 mg/kg. U substrátů **3-6** byl měřitelný jen u var. **4**, tj. 0,3 mg/kg. Obsahy Mo se pohybovaly pod mezemi detekce přístroje. Obsah Ni byl detekovatelný pouze u var. 1., tj. 0,2 mg/kg a v nepatrném množství i u var. **3**.

Tabulka č. 9.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený výluhem 0,01 mol/l CaCl₂ v (mg/kg sušiny)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
R	4,32	0,82	6,64	12,8	0,19	0	0,381
FS	20,1	4,33	4,97	2,32	8,22	0	0,53
1	6,49	0,19	0,64	3,5	1,11	0	0,206
2	5,57	0,14	2,06	10,7	1,53	0	0
3	0,97	0,12	1,21	6,75	0	0	0,046
4	0,88	0,147	1,38	6,17	0,31	0	0
5	1,36	0,281	1,27	5,81	0	0	0
6	2,00	1,429	0,98	5,71	0	0	0

Hodnoty potenciálně dostupných živin stanovených metodou CAD jsou uvedeny v **Tabulce č.10.** Nejvíce potenciálně dostupného Fe měl univerzální substrát (var. 1) s obsahem 396 mg/kg. Zbylé varianty 2-6 dosáhly velmi podobných výsledků. Tj. 236-279 mg/kg. Nejvíce Cu bylo naměřeno u kontrolního substrátu s hnojivem PG-MIX, a to 16,1 mg/kg. U testovaných variant **3-6** se zvyšoval obsah Cu s přidavkem FS od 1,2 do 2,9 mg/kg. Obsah Zn u kontrolních substrátů činil 18 mg/kg. U testovaných variant se jeho obsah zvyšoval s přidavkem FS, ve var. č. **6** dosáhl stejných hodnot jako u var. 1 a 2. Nejvyšší obsah manganu byl zjištěn u kontrolních substrátů 1 a 2, a to v hodnotách téměř 50, respektive 40 mg/kg, u kontrolních substrátů **3-6** byla tendence mírného růstu obsahu Mn se zvyšujícím se obsahem FS, substráty nicméně stále vykazovaly přibližně poloviční hodnoty ve srovnání s variantami 1 a 2. Obsah B byl nejvyšší v kontrolní var. 2. Všechny ostatní varianty vykazovaly podobný obsah až na č. **3** kde byl obsah B pouze v 0,77 mg/kg. Obsah B se se s přidavkem FS opět zvyšoval. Molybden byl detekovatelný pouze u var. 2. Obsahy Ni byly ve všech var. velmi podobné.

Tabulka č.10.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený metodou CAD (v mg/kg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
R	558	1,81	30,4	33,5	1,52	0	1,09
FS	10,1	1,53	14,5	16,0	6,82	0	0,240
1	396	1,68	18,3	49,1	1,97	0	0,511
2	277	16,1	17,4	38,4	3,26	1,87	0,527
3	236	1,22	11,6	21,0	0,77	0	0,389
4	276	1,89	15,4	25,0	1,27	0	0,511
5	250	2,08	15,1	23,4	1,85	0	0,570
6	236	2,97	18	24,4	2,72	0	0,615

Při měření obsahu živin pomocí metody Mehlich 3 bylo zjištěno podobné rozložení hodnot jako při metodě CAD (**Tabulka č.11.**). Při měření obsahu Fe bylo zjištěno že výrazněji více Fe obsahoval pouze univerzální substrát (1), u ostatních bylo naměřeno rozmezí 178-263 mg/kg. Nejvíce Cu bylo naměřeno v substrátu 2, pravděpodobně díky přidavku Cu hnojivem PG-MIX. U var. 1 činily hodnoty 1,6 mg/kg a u testovaných substrátů **3-6** se hodnoty pohybovaly okolo 1,4 mg/kg. Mangan byl nejvíce obsažen v univerzálním substrátu (1) a to 28 mg/kg, následovně ve var. 2 bylo naměřeno 24 mg/kg. U variant **3-6** se zvyšoval obsah spolu s přidávaným FS až na 20,6 mg/kg. Bór byl naměřen u variant 1 a 2 v podobných hodnotách okolo 1,3 mg/kg. U testovaných substrátů bylo jen stopové množství, max. 0,1 mg/kg. Obsah molybdenu nebyl přístrojem ICP-OES detekovatelný. Obsah niklu byl u všech variant nalezen ve velmi podobném množství, cca 0,4 mg/kg.

Tabulka č.11.: Obsah mikroprvků substrátu stanovený metodou Mehlich 3 (v mg/kg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
R	232	0,69	5,3	12,3	0	0	0,401
FS	49	4,85	17,3	29	0	0	0,608
1	360	1,64	16,3	27	1,35	0	0,426
2	233	10,86	11,9	24,2	1,29	0	0,358
3	178	1,65	7,39	11,2	0	0	0,514
4	248	1,33	10,1	14,5	0,04	0	0,581
5	256	1,4	11,8	18,4	0,04	0	0,374
6	263	1,45	13,8	20,6	0,11	0	0,476

5.1.2 Trendy mezi výsledky metod substrátů před založením pokusu

Nejvyšší hodnoty železa byly opakovaně naměřeny ve všech metodách u univerzálního substrátu (1) Obsah Fe se u variant **3-6** zvyšoval s přidavky fugátu, s výjimkou metody CAD, kde se naopak snižoval. Měď dosahovala nejvyšších hodnot ve variantě rašelina s hnojivem PG-MIX (2), a to v měření metodou CAD a Mehlich 3. Naopak při měření rychle dostupných živin (vodný výluh) zde byl obsah značně nižší ve srovnání s variantami s fugátem **5 a 6**.

Obsah potenciálně přístupné mědi (výluhy CAD a Mehlich 3) se zvyšoval se stoupajícím podílem FS, přičemž hodnoty u substrátu č. **6** byly vždy statisticky srovnatelné s kontrolním substrátem č. 1. Při měření obsahu všech forem zinku byly hodnoty u substrátů s vyšším přidavkem FS (**5 a 6**) zpravidla srovnatelné s kontrolním substrátem 1. U kontrolního substrátu 2 však byly obsahy Zn většinou průkazně vyšší. S přidavkem FS se obsah Zn zpravidla zvyšoval.

Nejvyšší obsah manganu byl naměřen u varianty 1 všemi metodami, s výjimkou měření rychle dostupných prvků (vodný výluh), kde dosáhla největších hodnot varianta 2. S přidavkem FS se zpravidla zvyšoval i obsah Manganu v testovaných substrátech, a to v případě všech použitých extrakčních metod.

Bór dosahoval vyšších hodnot pouze ve variantách 1 a 2. Zatímco u variant **3 až 6** byl obsah bóru prokazatelně nižší. Molybden byl díky velmi nízkému obsahu zpravidla neměřitelný. Nikl se vyznačoval velmi podobným obsahem u všech variant a dosahoval srovnatelných hodnot v rámci jednotlivých extrakčních metod. Vyšší hodnoty však byly zaznamenány vždy u kontrolních substrátů 1 a 2.

5.2 Rozbory posklizňových substrátů

V této části je popsáno zhodnocení analýz substrátů, uvedených v metodice, provedených po sklizni rostliny *Mentha sp.* Jsou zde i výsledky o odběru mikroprvků rostlinami, jejich obsah v sušině, i výnos nadzemní hmoty rostlin. Jednotlivé varianty byly založeny ve čtyřech opakováních, proto bylo možné provést statistickou analýzu ANOVA. Jako test pro určení průkazného rozdílu mezi variantami byl zvolen Tukey test při hladině významnosti $p < 0,05$. Pokud se u v následujících tabulkách ve sloupci za jednotlivými variantami vyskytují rozdílná písmenka, jedná se o průkazný rozdíl mezi variantami.

Podíl sušiny substrátů se výrazně nelišil od vstupních vzorků. Větší změny byly naměřeny u pH, kde se zvýšila hodnota až o 2 jednotky (**Tabulka č. 12**). Nejvyšší pH měly varianty **3-6**, které se od ostatních prokazatelně liší. Vodivost (EC) dosáhla u variant **5 a 6** téměř dvojnásobku oproti vstupním výsledkům. U varianty **6**. bylo dosaženo podobnosti s univerzálním substrátem (1). Nejvyšší vodivost byla naměřena u varianty s hnojivem PG-MIX (2).

Tabulka č.12.: Základní charakteristika substrátů po sklizni

Varianta	Sušina substrátu %	pH H ₂ O	pH CaCl ₂	EC mS/cm
1	55,5 ^d	4,98 ^c	4,58 ^c	0,863 ^c
2	47,0 ^c	5,30 ^b	5,21 ^d	1,240 ^d
3	41,5 ^{bc}	6,42 ^a	6,20 ^{ab}	0,278 ^a
4	36,7 ^{ab}	6,41 ^a	6,21 ^{ab}	0,388 ^a
5	33,2 ^a	6,49 ^a	6,32 ^b	0,610 ^b
6	33,5 ^a	6,38 ^a	6,16 ^a	0,773 ^{bc}

Obsahy mikroprvků stanovené vodným výluhem (okamžitě přístupných forem) jsou uvedeny v **Tabulce č. 13**. Nejvíce Fe bylo naměřeno ve variantě s univerzálním substrátem (1), dále ve variantě 2. Testované varianty **3-6** vykazovaly až 3,5× nižší hodnoty. Obsah Fe lehce klesal s množstvím FS. V případě mědi a zinku se průkazně lišila pouze varianta 2, ostatní hodnoty vykazovaly prokazatelnou podobnost. Obsahy Cu a Zn u testovaných substrátů **3-6** byly podobné, nehledě na množství fugátu. Nejvyšší obsah manganu byl naměřen u varianty 2, a to 1,5 mg/kg. Mírně nižších hodnot dosáhla varianta 1. U vzorků **3-6** bylo naměřeno 4× méně než u varianty 1. V případě bóru byly nejvyšší hodnoty naměřeny u variant 1 a 2, u ostatních pouze bylo zaznamenáno pouze malé množství, s maximem 0,373 mg/kg u varianty **6**. Obsah molybdenu byl měřitelný pouze u vzorku 2. Hodnoty Ni byly nejvyšší u kontrolních substrátů 1 a 2.

Tabulka č.13.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený vodným výluhem (mg/kg sušiny)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	11,016 ^c	0,219 ^a	0,555 ^a	1,199 ^b	1,810 ^e	0 ^a	0,259 ^b
2	9,173 ^b	0,846 ^b	2,455 ^b	1,559 ^c	0,739 ^d	0,392 ^b	0,262 ^b
3	4,075 ^a	0,249 ^a	0,457 ^a	0,388 ^a	0,031 ^a	0 ^a	0,093 ^a
4	3,197 ^a	0,241 ^a	0,392 ^a	0,296 ^a	0,059 ^{ab}	0 ^a	0,095 ^a
5	3,409 ^a	0,235 ^a	0,446 ^a	0,329 ^a	0,188 ^b	0 ^a	0,090 ^a
6	3,076 ^a	0,243 ^a	0,450 ^a	0,338 ^a	0,373 ^c	0 ^a	0,097 ^a

Obsah dobře dostupných mikroprvků stanovených v 0,01 mol/l CaCl₂ je uveden v **Tabulce č.14**. Obsah Fe dosahoval nejvyšších hodnot u kontrolních substrátů 1 a 2. Testované varianty **3-6** se průkazně lišily a obsah Fe zde byl nižší. U mědi nebyly nalezeny statistické rozdíly v obsahu prvků u žádné z variant. Nejvíce zinku bylo naměřeno u varianty 2, a to 1,2

mg/kg. U variant 1,4,5,6 byla potvrzena podobnost substrátů z hlediska obsahu tohoto prvku. V případě obsahu manganu byly zaznamenány výrazné rozdíly, především mezi kontrolními a testovanými substráty. U kontrolních substrátů činil obsah Mn 3,23 mg/kg (var. 1) a 5,03 mg/kg (var. 2), zatímco v případě testovaných substrátů se hodnoty pohybovaly pouze v rozmezí 0,31-0,48 mg/kg. Obsah Zn i Mn se přitom zvyšoval s přidávkou fugátu. Obsah bóru byl měřitelný pouze u variant 1 a 2. Molybden nebyl přístrojem měřitelný vůbec. Průkazně více niklu bylo naměřeno v kontrolních variantách.

Tabulka č.14.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený výluhem 0,01 mol/l CaCl₂ v (mg/kg sušiny)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	3,05 ^b	0,040 ^a	0,535 ^b	3,231 ^b	1,058 ^c	0 ^a	0,057 ^a
2	5,30 ^c	0,065 ^a	1,251 ^c	5,031 ^c	0,599 ^b	0 ^a	0,047 ^a
3	0,72 ^a	0,000 ^a	0,025 ^a	0,359 ^a	0 ^a	0 ^a	0,004 ^a
4	0,88 ^a	0,039 ^a	0,081 ^{ab}	0,317 ^a	0 ^a	0 ^a	0,000 ^a
5	0,60 ^a	0,001 ^a	0,108 ^{ab}	0,480 ^a	0 ^a	0 ^a	0,000 ^a
6	0,89 ^a	0,061 ^a	0,242 ^{ab}	0,467 ^a	0 ^a	0 ^a	0,001 ^a

Nejvíce potenciálně dostupného železa stanoveného metodou CAD (**Tabulka č.15.**) obsahoval univerzální substrát (1). Mezi tímto substrátem a zbylými variantami byl statisticky prokázán rozdíl. Vzorky 2-6 naopak vykazovaly podobnost v obsahu. Nejvyšší hodnoty mědi měla varianta 2, ostatní varianty vykazovaly prokazatelnou podobnost v obsahu, a to s hodnotami kolem 2-3 mg/kg. U zinku byla kontrolním substrátům 1 a 2 průkazně podobná pouze testovaná varianta 6. Varianty 4 a 5 vykazovaly statistickou podobnost pouze s variantou 2. Nejvyšší obsah manganu byl naměřen v kontrolních substrátech 1 a 2. Varianty 3-6 zde vykazovaly průkazně nižší hodnoty. V případě bóru byl nejvyšší obsah naměřen ve vzorku 1, a to 3,6 mg/kg. Prokazatelnou shodu zde vykazovaly varianta 2 a 6. Obsah molybdenu byl měřitelný opět pouze u varianty 2. Nejvyšší obsah Ni byl u vzorku 1. Statisticky podobné hodnoty vykazovaly vzorky 2, 5 a 6.

Tabulka č.15.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený metodou CAD (v mg/kg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	760 ^b	2,83 ^a	38,22 ^c	103,27 ^c	3,64 ^d	0 ^a	1,01 ^c
2	376 ^a	15,06 ^b	32,27 ^{bc}	76,57 ^b	2,34 ^c	1,81 ^b	0,80 ^{bc}
3	374 ^a	2,18 ^a	19,34 ^a	45,18 ^a	0,66 ^a	0 ^a	0,56 ^a
4	365 ^a	2,71 ^a	21,67 ^{ab}	48,30 ^a	0,96 ^{ab}	0 ^a	0,55 ^a
5	403 ^a	3,11 ^a	26,17 ^{ab}	50,46 ^a	1,80 ^b	0 ^a	0,64 ^{ab}
6	398 ^a	2,62 ^a	28,33 ^{abc}	53,38 ^a	2,69 ^c	0 ^a	0,76 ^{ab}

Metodou Mehlich 3, viz. **Tabulka č. 16.**, bylo zjištěno že průkazně nejvíce Fe obsahovala varianta s univerzálním substrátem (1); ostatní varianty vykazovaly statistickou podobnost. Obsah mědi byl průkazně nejvyšší u varianty s hnojivem PG-MIX (2), statistickou podobnost měly varianty 1 a 6. Obsahy zinku se pohybovaly v rozmezí 8,7 – 16 mg/kg. Oba kontrolní substráty vykazovaly hodnotu okolo 16 mg/kg, přičemž varianty 5 a 6 s nimi vykazovaly statistickou shodu. Se stoupající dávkou FS stoupal i obsah zinku. Nejvyšší obsah manganu byl naměřen ve variantě č. 2. Poměrně vysokých hodnot také dosáhly varianty 1 a 6 se statistickou podobností. Bór dosáhl nejvyššího obsahu u varianty 1. U variant 3 a 4 nebyl detekovatelný. Varianty 2, 5 a 6 byly obsahem B statisticky podobné. Molybden byl přístroji měřitelný pouze u variant 1 a 2. Nikl vykazoval statistickou podobnost u všech variant. Obsah všech mikroprvků stoupal společně s přidavkem fugátu.

Tabulka č.16.: Obsah mikroprvků v substrátu stanovený metodou Mehlich 3(v mg/kg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	320 ^b	0,93 ^b	15,5 ^{ab}	22,2 ^b	1,489 ^c	0,068 ^a	0,378 ^{ab}
2	241 ^a	7,56 ^c	16,0 ^b	26,9 ^c	0,725 ^b	0,099 ^a	0,408 ^b
3	211 ^a	0,35 ^a	8,7 ^c	16,3 ^a	0 ^a	0 ^a	0,256 ^a
4	227 ^a	0,45 ^a	10,2 ^{ac}	17,9 ^a	0 ^a	0 ^a	0,284 ^{ab}
5	207 ^a	0,51 ^a	11,6 ^{abc}	16,5 ^a	0,111 ^{ab}	0 ^a	0,260 ^{ab}
6	221 ^a	0,66 ^{ab}	15,9 ^{ab}	18,0 ^{ab}	0,353 ^{ab}	0 ^a	0,396 ^{ab}

Výnos sušiny nadzemní hmoty máty byl prokazatelně vyšší u variant 1 a 2 a to s rozdílem okolo 4-5 g (**Tabulka č. 17**). Nejvyšší procentuální obsah sušiny rostlin měla varianta 1, která byla statisticky podobná i variantám 2 a 3.

Tabulka č.17.: Výnos sušiny

Varianta	Výnos sušiny rostlin (g)	% Sušiny rostlin
1	6,20 ^b	24,0 ^c
2	7,50 ^b	20,8 ^{bc}
3	2,85 ^a	21,3 ^{bc}
4	2,33 ^a	16,0 ^a
5	2,35 ^a	16,3 ^a
6	2,45 ^a	17,2 ^{ab}

Při měření obsahu mikroprvků v sušině rostlin, **Tabulka č. 18.**, bylo zjištěno, že nejvíce železa obsahovala varianta 2. Průkazně podobné byly varianty 1, 2, 3 a 5. Měď dosahovala nejvyšších hodnot u varianty 2, která byla zároveň podobná s variantou 4. Nejvyšší hodnoty zinku byly naměřeny u testovaných substrátů 3-6. Nejvíce manganu byl obsaženo u varianty 2 která dosáhla 159 mg/kg. Varianty 3-6 naopak dosahovaly statisticky průkazně nejnižších hodnot. Obsah bóru a molybdenu nebyl přístrojem ICP-OES detekovatelný. Nikl dosáhl průkazné podobnosti u všech variant.

Tabulka č.19.: Obsah prvků v sušině nadzemní hmoty rostlin (mg/kg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	83,4 ^{ab}	2,54 ^a	27,4 ^{bc}	102 ^b	0 ^a	0 ^a	0,573 ^a
2	110 ^b	6,16 ^b	25,6 ^c	159 ^c	0 ^a	0 ^a	1,539 ^a
3	75,4a ^b	3,23 ^a	36,2 ^{ab}	51,9 ^a	0 ^a	0 ^a	0,357 ^a
4	71,8 ^a	2,83 ^a	36 ^{ab}	37,6 ^a	0 ^a	0 ^a	0,193 ^a
5	79,1 ^{ab}	4,1 ^{ab}	41,2 ^a	39,0 ^a	0 ^a	0 ^a	1,302 ^a
6	68 ^a	3,75 ^a	39,5 ^a	40 ^a	0 ^a	0 ^a	0,572 ^a

Na základě výnosu sušiny a obsahu mikroprvků byl vypočten i odběr mikroprvků nadzemní hmotou máty, **Tabulka č. 20.** Zde bylo v případě Cu a Zn dosaženo nejvyšších hodnot u varianty 2. Všechny ostatní varianty dosahovaly statistické podobnosti, ačkoliv odběr byl mírně vyšší u varianty 1. Nejvyšší odběr manganu by zaznamenán u varianty 2. Varianta 1 dosáhla přibližně polovičního množství, tzn. 0,65 mg/kg. Odběr Mn u variant **3-6** byl průkazně nejnižší. Obsah bóru ani molybdenu nebyl měřitelný. Odběr Ni byl opět statisticky podobný u všech variant.

Tabulka č.20.: Odběry prvků nadzemní hmotou (mg)

	Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
1	0,518 ^a	0,017 ^a	0,166 ^b	0,654 ^b	0 ^a	0 ^a	0,004 ^a
2	0,963 ^b	0,056 ^b	0,192 ^b	1,193 ^c	0 ^a	0 ^a	0,011 ^a
3	0,206 ^a	0,009 ^a	0,102 ^a	0,147 ^a	0 ^a	0 ^a	0,001 ^a
4	0,187 ^a	0,006 ^a	0,077 ^a	0,072 ^a	0 ^a	0 ^a	0 ^a
5	0,209 ^a	0,009 ^a	0,086 ^a	0,091 ^a	0 ^a	0 ^a	0,003 ^a
6	0,14 ^a	0,009 ^a	0,108 ^a	0,098 ^a	0 ^a	0 ^a	0,001 ^a

5.2.1 Srovnání substrátů před založením a po sklizni pokusů

Při srovnání substrátů před a po sklizni bylo zjištěno že aktivní pH u kontrolní varianty univerzálního substrátu kleslo z 5,66 na nevyhovujících 4,98. U varianty 2 se pH zvýšilo z 4,09 na 5,30 a zůstalo tak nadále poněkud nízké pro optimální příjem prvků. Naopak u testovaných variant **3-6** se pH zvýšilo z průměrných 4,41 na 6,42, které je v příjmovém optimu.

Při porovnání výsledků vodného výluhu je patrné, že po sklizni došlo k mírnému poklesu obsahu Fe, pravděpodobně v důsledku odběru rostlinami u všech variant, přičemž nejvíce Fe ztratila varianta 1. Pokles obsahu vykazovala i Cu až na variantu č. 2, kde došlo k jejímu uvolnění (pravděpodobně v důsledku nižšího pH této varianty) a variantu **4** kde byl zaznamenán zanedbatelný nárůst o 0,001 mg/kg. Obsah Zn po sklizni byl také nižší u většiny variant, kromě varianty 2 a **3**. U manganu došlo u variant **3-6** k poklesu jeho obsahu o necelou polovinu. U varianty 2 došlo k poklesu o téměř 5 mg/kg. Naopak varianta 1 zaznamenala nárůst obsahu o 0,409 mg/kg. Obsah bóru se snížil u všech variant, až na variantu 1 kde bylo naměřeno jeho mírné zvýšení. Nikl prošel díky již původně nízkému obsahu pouze nepatrnou změnou.

Obsah rychle přístupných živin, měřených výluhem 0,01 mol/l CaCl₂, se u Fe snížil anebo zůstal stejný (viz. varianta č.4). Ke snížení obsahu ostatních mikroelementů, ve všech testovaných substrátech došlo pravděpodobně v důsledku odběru rostlinami.

Výsledky měření pomocí metody CAD ukázaly, že po sklizni došlo převážně k nárůstu obsahu potenciálně dostupných mikroelementů. To znamená že se mikroelementy uvolňovaly ze sorpčního komplexu, což může souviset s optimalizovanou hodnotou pH. Obsah Fe se zvýšil u variant 2-6 v rozmezí 100-150 mg/kg, zatímco u varianty 1 došlo k nárůstu dokonce o 364 mg/kg. U mědi byl zaznamenán mírný pokles u variant 2 a 6. U všech ostatních se obsah zvýšil o cca 1 mg/kg. Obsah manganu se zvýšil o přibližně dvojnásobek u všech testovaných substrátů. Bór vykazoval pokles u variant 2-6, pouze v univerzálním substrátu (1) došlo ke zvýšení obsahu o 1,67 mg/kg. Molybden byl přístroji měřitelný pouze u varianty 2, kde jeho obsah mírně poklesl. Obsah Ni se ve všech variantách mírně zvýšil.

Při srovnání měření metodou Mehlich 3 před a po sklizni bylo zjištěno, že obsah železa klesl u většiny variant kromě varianty 2 a 3 kde se nepatrně zvýšil. Obsah mědi se snížil u všech variant v pravděpodobně důsledku odběru rostlinami. U zinku došlo naopak k uvolnění, tudíž se jeho obsah zvýšil u všech variant kromě varianty 1 a 5 (zde se snížil pouze nepatrně). Obsah manganu klesal u variant 1,5 a 6, a naopak se zvýšil u variant 2,3 a 4. Obsah bóru se snížil kromě variant 1 a 6 kde došlo naopak k jeho nárůstu. Obsah molybdenu se zvýšil pouze v obou kontrolních substrátech 1 a 2. U niklu došlo k poklesu obsahu u všech variant.

5.2.2 Srovnání výsledků rozborů substrátů s rozborů rostlin

Při hodnocení výnosů rostlin máty bylo zjištěno, že největší výnosy měla varianta č. 2, zřejmě díky hnojivu PG-MIX. Následoval univerzální substrát (1). U obou kontrolních substrátů přitom byly zaznamenány až 3× vyšší výnosy nadzemní hmoty ve srovnání s testovanými variantami s přidavkem FS. U variant 4-6 bylo i nižší procentuální zastoupení sušiny, výjimku tvořila pouze varianta 3.

Při porovnání obsahu prvků v sušině nadzemní hmoty s obsahem prvků ve vodném výluhu a výluhu 0,01 mol/CaCl₂ bylo zjištěno, že nejvyšší obsah Fe byl vždy ve variantě 1 či 2. Z výsledků rozborů nadzemní hmoty však vyplývá, že zásoby Fe byly dostatečné i v substrátech 3-6. Vysoký obsah Cu u variant 3-6 se promítl i do jejich vyššího obsahu v sušině nadzemní hmoty, kde dosahovaly vyšších hodnot než varianta 1. Podobně na tom byly i zásoby Zn. Rostliny z testovaných substrátů vykazovaly vyšší podíl Zn než varianty 1 a 2. Nejvíce manganu obsahoval substrát č.2, poté až varianty 3-6. Varianta 1 v přitom v nadzemní hmotě vykazovala až 2× více Mn ve srovnání s rostlinami z variant 3-6. Bór ani molybden nebyl díky nízkému obsahu přístroji ve většině případů detekovatelný. Nejvíce niklu bylo obsaženo v substrátu varianty 1, nicméně v rostlině to bylo u varianty č. 2.

Varianta 2 měla nejvyšší odběr živin, následována variantou č. 1. Z testovaných substrátů měla největší odběr varianta 3. Všechny varianty měly adekvátní odběr živin vzhledem k vytvořené nadzemní hmotě. Odběr některých mikroelementů mohl být o něco nižší v důsledku vyššího pH testovaných variant, než u variant 1 a 2. Výnos nadzemní hmoty však byl s největší pravděpodobností ovlivněn deficitem některého z makroelementů, především dusíku. Vyhodnocení obsahu makroelementů však nebylo předmětem této práce.

6 Diskuse

Až v posledních letech se více dostává do povědomí využití digestátu jako hnojiva, zejména širší možnosti využití jeho kapalné frakce nejsou zatím příliš prozkoumány. Tato studie měla za úkol zjistit, zdali je možné využít směsi fugátu se slámou jako alternativního zdroje mikroelementů pro pěstování máty peprné a dokázat pozitivní účinky této směsi na její výnos, obsah a odběr mikroelementů. Cílem tedy bylo dosáhnout lepších, anebo alespoň srovnatelných výsledků jako u kontrolních (běžně používaných) substrátů.

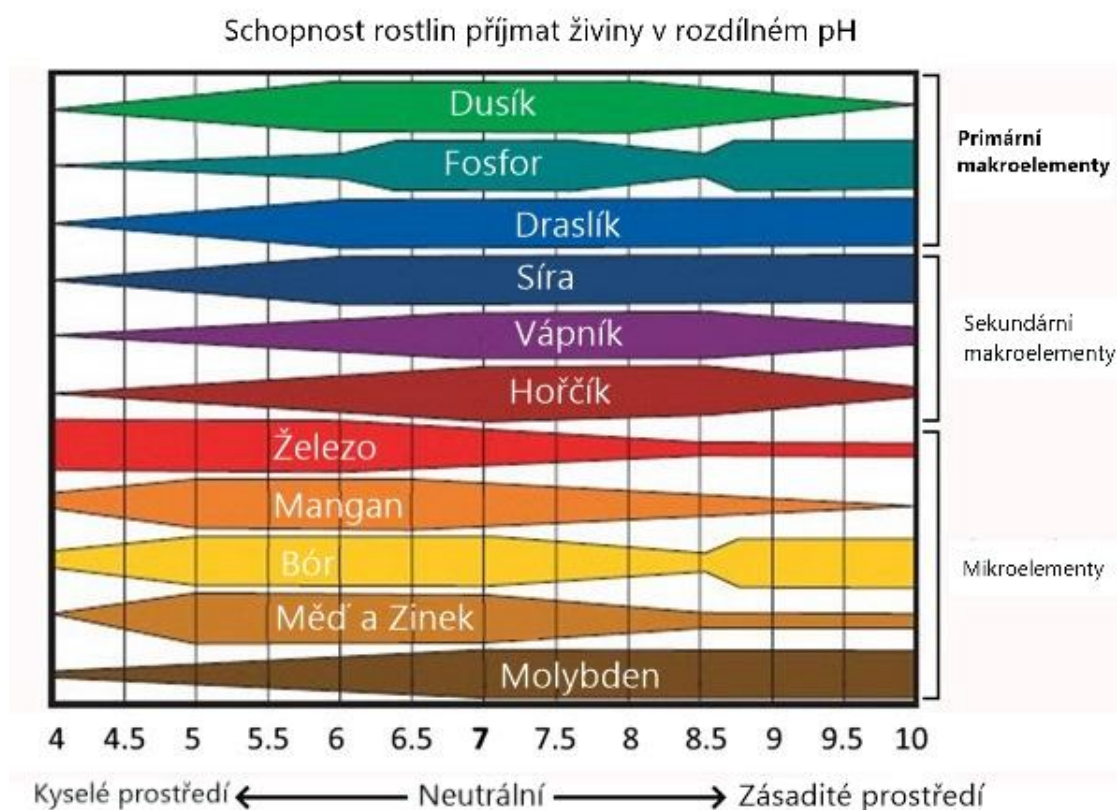
Tato práce o využití fugátu v kombinaci se slámou jako zdroje mikroelementů pro pěstování určitého druhu rostliny je jedna z prvních svého druhu, proto se v následující části diskuze (zaměřené na hodnocení obsahu mikroelementů) jedná spíše o srovnání s různými pokusy zaměřenými na aplikaci samotného fugátu nebo digestátu, popřípadě na běžné složení rostlin z hlediska mikroprvků. Dále jsou řešeny pravděpodobné příčiny nižších výnosů máty, které byly zřejmě způsobeny nevhodným zastoupením některých makroprvků. Na hodnocení obsahu přístupných makroprvků však byla zaměřena jiná bakalářská práce.

Předpokladem tohoto pokusu bylo, že rašelina má přirozeně nízké pH, naměřeno bylo 3,7 v H₂O, zatímco fugát je dostatečně zásobený živinami a má vysoké pH, v našem měření dosáhl v H₂O 9,3. Vítěz, (2013) uvádí jeho běžné rozmezí pH fugátu mezi 7-9, tím pádem měl jejich smícháním vzniknout živinami dostatečně zásobený substrát s minimálními požadavky na úpravu pH.

V této práci posloužily jako kontrolní varianty univerzální substrát a rašelina s 1,5 g hnojiva PG-MIX a 12 g vápenitého dolomitu. Kontrolní varianty byly porovnávány se čtyřmi variantami testovaných substrátů s obsahem FS 5, 10, 15 a 20 %. Do každého z testovaných substrátů byl přidán i vápenitý dolomit v množství 12, 10, 8 a 6 g pro další stabilizaci a optimalizaci pH. Jeho přídavky klesaly se zvyšujícím se množstvím přidaného fugátu. Ve své studii, Dvořák, (2016) uvádí, že digestát zvyšuje pH pouze krátkodobě a podkládají to i výsledky dalších autorů jako jsou Albuquerque et al., (2012). Pomalu uvolňující se vápenitý dolomit byl tedy vybrán s předpokladem, že fugát se bude v tomto ohledu chovat podobně jako digestát.

Hodnota pH je důležitým faktorem, který zásadně ovlivňuje příjem prvků (**Obrázek č. 3**), při extrémně nízkých hodnotách se tvoří těžce rozpustné sloučeniny a zvyšuje příjem potenciálně nebezpečných prvků, a při velmi vysokých se naopak nerozpouští kovy (Vaněk et al., 2012). Jako optimální pH je obecně nejčastěji uváděno 6-7. Bunt, (1988) však uvádí že v lehčích organických substrátech je vhodné pH 5,5-6,5 pro lepší příjem Fe a B. To potvrzuje i Vaněk et al., (2012), kteří uvádějí, že v substrátech s vyšším podílem organické hmoty je příjmové optimum pH o něco nižší, a nevádí ani hodnoty okolo 5,8. Hned po založení pokusů dosahovaly naše testované varianty s FS hodnot pH v rozmezí 4,41-4,63, je tedy zřejmé že bez přídavku dolomitického vápence by bylo pH příliš nízké. Po sklizni bylo zjištěno pH 6,38-6,49 (v H₂O), tedy více než oba kontrolní substráty, které dosáhly nízkých hodnot pH 4,98 a 5,3. Naopak varianty s FS byly za hlediska hodnoty pH navrženy optimálně, jak podle Bunta, (1988) tak i Vaňka et al., (2012). Ke zvyšování hodnot pH u variant s přídavkem FS v průběhu pokusu docházelo díky postupnému rozpouštění přidaného vápenitého dolomitu.

Obrázek č.3.: Schopnost rostlin přijmat živiny v různém pH, upraveno dle Eliades, (2009).



Albuquerque et al., (2012) ve svém výzkumu prokázali, že digestát může být velmi vhodným hnojivem, jelikož obsahuje vysoké množství amonného a nitrátového dusíku. Tambone et al. (2012) zaznamenali kromě zvýšení dusíku i značné navýšení draslíku a fosforu. Příznivé hodnoty obsahu N, P, K potvrzuje i Haraldsen et al., (2011), kteří ve své studii zjistili, že pole hnojené fugátem vykazovalo prokazatelně podobné výnosy jako pole hnojené minerálním hnojivem. Proto lze předpokládat, že i z hlediska klíčových makroelementů je použití fugátu jako součásti substrátu vhodné.

K využívání fugátu jako zdroje mikroelementů pak vybízí hodnoty naměřené Andruschkewitsch et al., (2013), kteří naměřili hodnoty Fe 2311–2924 mg/kg, Mn 192–283 mg/kg, B 38–46 mg/kg a Zn 234–377 mg/kg. Pro porovnání, Tlustoš, (2014) uvádí následující obsahy mikroprvků ve fugátu z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou: Fe - 1411±916, Mn - 223±14, Mo - 1,34±0,94, B - 37,2±1,2. Jakkoliv vysoký se bude obsah zdát, nesmíme zapomínat, že fugát obsahuje pouze okolo 4% sušiny. Klír, (2013). Proto je nutné aplikovat ho v dostatečném množství.

Pozitivní vliv fugátu na obsah mikroelementů jsme zaznamenali i během naší studie, kde se po přidání fugátu se slámou zvýšil obsah všech mikroelementů (Mehlich 3) a v mnoha případech pak dosahovaly tyto varianty podobných hodnot jako varianta 1 s univerzálním substrátem, nicméně druhá kontrolní varianta s přidavkem minerálních hnojiv a vápenného dolomitu dosahovala stále nejvyšších hodnot.

Obsah mikroelementů v digestátech závisí na kvalitě, původu a zpracování vstupních materiálů. Albuquerque et al. (2012), kteří ve své studii zkoumali obsah prvků u 6 digestátů, jejichž základem byla kejda skotu a prasat, zjistili, že digestáty na bázi prasečí kejdy dosahují často toxických hodnot obsahu Cu a Zn, dále uvádějí že nejvyššího obsahu dosahovalo Fe. Nejvyšších hodnot těchto prvků dosahovala v našem pokusu varianta s minerálním hnojivem. V předsklizňových variantách FS bylo naměřeno (až na výjimku ve výluhu CaCl₂, kde dosáhla 20% varianta FS 10× většího obsahu Cu než univerzální substrát) obdobných hodnot obsahu Cu a Zn jako v univerzálním substrátu. Lze tedy obecně soudit že žádná z variant nedosahovala toxických hodnot.

Vysoký obsah Fe ve fugátu se potvrdil i v našem pokusu kde v předsklizňovém měření dosáhly substráty FS pomocí metody CAD a Mehlich 3 hodnot Fe okolo 240 mg/kg a mají tak podobné, ne však vyšší hodnoty jako rašelina s hnojivem PG-MIX.

Nepotvrdilo se ovšem tvrzení Haraldsena et al. (2011) o prokazatelně podobné výši výnosu při hnojení fugátem a hnojení NPK, a tím i naše očekávání podobného výnosu sušiny nadzemní hmoty jako u kontrolních variant. Kontrolní varianty průkazně dosáhly vyššího výnosu, a to až o 4-5 g.

Vaněk et al., (2012) tvrdí, že výrazný vliv na příjem kationtů vykazuje draslík a amonný kationt. Při vysokém obsahu živin v živném prostředí se zvyšuje jeho obsah v rostlině a současně se omezuje příjem ostatních kationtů, nejvíce Na, dále Mg a Ca. Bunt, (1988) také uvádí, že při velké koncentraci P může dojít ke snížení příjmu B. U manganu může být příjem snížen vysokou hladinou K, Fe, Cu a Zn.

K antagonistickému působení prvků došlo zřejmě i v našem pokusu, kde fugát obsahuje ve velkém množství všechny z výše jmenovaných prvků (výsledky jsou součástí jiné bakalářské práce), a zároveň tomu odpovídá i odběr manganu rostlinami který je u variant s fugátem o mnoho nižší navzdory dostatečné zásobenosti tímto prvkem. Při srovnání odběru prvků bylo zjištěno, že univerzální substrát měl až 2× vyšší odběr Cu, a varianta s hnojivem PG-MIX až 6× větší odběr Cu než varianty FS. V důsledku vyššího obsahu amoného N (Albuquerque et al., 2012) došlo s největší pravděpodobností u variant s FS i ke snížení odběru Cu.

Tabulka č.21.: Průměrné koncentrace mikroelementů v sušině rostlin pro adekvátní růst. (upraveno dle Marschner 2012)

Prvek	Chemická značka	mg/kg
Molybden	Mo	0,1
Nikl	Ni	0,1
Měď	Cu	6
Zinek	Zn	20
Mangan	Mn	50
Železo	Fe	100
Bór	B	20

Marschner, (2012) upozorňuje, že se hodnoty mohou mírně lišit od druhu rostlin. V porovnání s touto tabulkou naše hodnoty mikroelementů u substrátů s fugátem nedosahují daných hodnot u Fe,Cu, B, a Mn. Nutno podotknout že těchto hodnot nedosáhla ani kontrolní varianta s univerzálním substrátem v případě Fe a Cu. Z našich testovaných variant s vyšla nejlépe varianta s 15% obsahem FS kde byly naměřené hodnoty uvedené v **Tabulce č.22.**

Tabulka č.22.: Obsah prvků v 15 % FS (mg/kg sušiny)

Fe	Cu	Zn	Mn	B	Mo	Ni
79,1	4,1	41,2	39	0	0	1,301

Nicméně naše naměřené hodnoty obsahu prvků v sušině nejsou příliš odlišné od hodnot udávaných Marschner, (2012).

Huxley, (1992) uvádí, že máta je snadno pěstovatelná rostlina ve většině půd, bez velkých nároků na živiny. Pro rostlinu s nízkými nároky jako je *Mentha sp.* lze tedy naměřené hodnoty považovat za zcela dostačující.

7 Závěr

Cílem této práce bylo najít vhodnou kombinaci rašeliny, směsi fugátu se slámou (FS) a s přídavkem vápenitého dolomitu pro pěstování máty z hlediska obsahu přístupných mikroprvků.

Obecně lze říci, že ačkoliv s přídavky FS klesal obsah sušiny substrátu, obsah živin se zvyšoval s množstvím přidaného FS. Už po analýze vstupních vzorků bylo zřejmé že z hlediska mikroelementů je fugát vhodným hnojivem. Zvýšení hodnot dosahovaly testované substráty (tj. varianty s 15 a 20% obsahem fugátu) zpravidla v případě Cu, Zn a Mn, ale i Fe.

Při rozboru posklizňových vzorků bylo zjištěno že pH testovaných variant dosáhlo optimální hodnoty díky postupnému rozpouštění dolomitického vápence. Výnosy sušiny rostlin byl však v testovaných substrátech několikanásobně nižší, například varianta č.2 (PG-MIX) dosáhla výnosu 7,50 g sušiny a varianta č 6. s 20 % FS pouze 2,45 g. Nicméně obsah mikroelementů byl srovnatelný s kontrolami.

Nižší výnos testovaných substrátů způsobil pravděpodobně deficit některého z makroprvků a nižší obsah okamžitě přístupných živin stanovených ve vodném výluhu na začátku vegetace. Příjem některých mikroelementů mohl být negativně ovlivněn vysokým množstvím amonného N, který se ve fugátu nachází. Tato hypotéza byla částečně potvrzena i nižšími odběry mikroelementů u testovaných variant. Rostliny pěstované ve směsi rašeliny a FS vykazovaly vyšší obsah Zn než kontrolní substráty a vyšší obsah Cu než v kontrolní variantě č.1. Naopak obsah Mn dosahoval pouze 1/3 množství ve srovnání s kontrolními substráty.

Přídavek FS do rašeliny jako zdroje přístupných mikroelementů je tedy ve většině případů vhodným řešením. Otázkou zůstává příčina nižších výnosů rostlin.

8 Literatura

- Albuquerque JA., De la Fuente C., Campoy M., Carrasco L., Nájera I., Baixauli C., Bernal MP. 2012. Agricultural use of digestate for horticultural crop production and improvement of soil properties. *European Journal of Agronomy*. **43**. 119-128.
- Alexander P. 2014. Potential replacement for peat in horticulture. Royal Horticultural Society. Dostupné z: http://wlgf.org/linked/replacements_for_peat_in_horticulture.pdf.
- Andruschkewitsch M., Wachendorf C., Wachendorf M. 2013. Effects of digestates from different biogas production systems on above and belowground grass growth and the nitrogen status of the plant-soil-system. *Soil Biology and Plant Nutrition* **4**:183-195.
- Biom.cz. 2020. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynové-stanice> [cit. 6.11.,2020].
- Bunt AC. 1988. Principles of nutrition. In *Media and Mixes for Container-Grown Plants*. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Checchi F., Traverso PG., Mata-Alvarez J., Clancy J., Zaror C. 1988. State-of-the-art of R&D in the anaerobic digestion process of municipal solid waste in Europe. *Biomass* **16**, 257-284.
- Chen XY., Vinh H., Ramirez AA., Rodrigue D., Kaliaguine S. 2015. Membrane gas separation technologies for biogas upgrading. RSC Dostupné z: <https://doi.org/10.1039/C5RA00666J>
- Dohányos M., Jeníček P., Záborská J. 1996. Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí. Ostrava: VŠB-Technická univerzita.
- Dohanyos M., Kosová B., Grau P. 1982. Možnosti intenzifikace metanizačního procesu. *Vodní hospodářství*. B **32**, 179-186.
- Dostál J., Lošák T., Hlušek J. 2015. Digestát – mýty a skutečnost ve vztahu k půdní úrodnosti. *Kukuřice v praxi 2015*. Brno: Mendelova univerzita v Brně a KWS Osiva.
- Dvořák M. 2016. Vývoj pěstebního substrátu pro mateřský pepř s použitím neseparovaného digestátu. Praha 2016. Diplomová práce. Česká zemědělská univerzita v Praze, Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů, Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin. Vedoucí práce: doc. Ing. Martin Kulhánek, Ph.D.
- Eliades A. 2009. *Soil Chemistry Fundamentals, Part 1 – Understanding Soil pH and How it Affects Plant Nutrient Availability*. Deep Green Permaculture. Dostupné z: <https://deepgreenpermaculture.com/2020/05/26/soil-chemistry-fundamentals-part-1-understanding-soil-ph-and-how-it-affects-plant-nutrient-availability> [cit. 4.12., 2021]
- Erhart E., Siegl T., Bonell M., Unterfrauner H., Peticzka R., Ableidinger Chr., Haas D., Hartl W. 2014. Fertilization with liquid digestate in organic farming—effects on humusbalance, soil potassium contents and soil physical properties. In *EGU General Assembly Conference Abstracts* **16**:4419.
- Garfi M., Gelman P., Comas J., Carrasco W., Ferrer I., 2011. Agricultural reuse of the digestate from low-cost tubular digesters in rural Andean communities. *Waste Management* **31**, 2584-2589.

- Haraldsen TK, Andersen U., Krostad T., Sorheim R., 2011. Liquid digestate from anaerobic treatment of source-separated household waste as fertilizer to barley. *Waste Management & Research*. Dostupné z: DOI: 10.1177/0734242X11411975
- Henze M. 2002. *Wastewater treatment: Biological and chemical processes*. Berlin: Springer.
- Houba VJG., Novozamsky I., Lexmond TM., Van der Lee JJ. 1990. Applicability of 0.01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 21:2281-2290.
- Huat BBK., Kazemian S., Prasad A., Barghchi M. 2011. State of an art review of peat: General perspective. *International Journal of the Physical Sciences* vol. 6:1988–1996.
- Huxley A. 1992. *The New RHS Dictionary of Gardening*. MacMillan Press 1992.
- Jelínek, A., Altman V., Andrt M., Černík B., Plíva P., Jakešová H. 2001. Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel. Agrospoj. Praha.
- Jeřábková J., Duffková R. 2019. Využití digestátu jako hnojiva. *Biom.cz*. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-hnojiva>. [cit. 2020-11-19]
- Jirásek J., Sivek M., Lázníčka P. 2016. Ložiska nerostů. Dostupné z: http://geologie.vsb.cz/loziska/loziska/loziska_energetickych_surov.html
- Johansen A., Carter MS., Jensen ES., Hauggard-Nielsen H., Ambus P. 2013. Effects of digestate from anaerobically digested cattle slurry and plant materials on soil microbial community and emission of CO₂ and N₂O. *Applied Soil Ecology*, **63**, 36–44.
- Kaplan L., Tlustoš P., Száková J., Najmanová J. 2011. Vliv pevné fáze digestátu z bioplynové stanice na růst a kvetení chryzantém. *Racionální použití hnojiv*. 102–106.
- Kára J., Pastorek Z., Příbyl E., Hanzlíková I., Andert D. et al. 2007. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. VÚZT Praha. Ruzyně.
- Kintl A., Knotová D., Elbl J. 2016.: Komonice bílá - palivo do bioplynové stanice? *Úroda*. 64 (2).
- Klír J. 2013. Průměrný přívod živin ve statkových a organických hnojivech. Praha.
- Kouřimská L., Poustková I., Babička L. 2012. The use of digestate as a replacement of mineral fertilizers for vegetables growing. *Scientia Agriculturae Bohemica* **43** (4), 121 – 126.
- Kowalczyk-Juško A. 2014. Wykorzystanie masy pofermentacyjnej – krok po kroku. *Czysta Energia*, **3** (115), 38-40.
- Kučera L., Bednář P. 2014. Biogas system and possibilities of control and use of digestate in Czech Republic: A review. *Waste fórum*. **3**. 123 – 135.
- Kulhánek M., Černý J., Balík J., Sedlář O. 2018. Úloha železa, manganu, mědi a zinku ve výživě rostlin. In: *Sborník z konference Racionální použití hnojiv*, ČZU, Praha, s. 23-32
- Luscombe PC., Syers JK., Gregg PEH. 1979. Water extraction as a soil testing procedure for phosphate. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **10**, 1361-1369.
- Marada P., Večeřová V., Kamarád L., Dundálková P., Mareček J. 2008. *Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem*. Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně Institut celoživotního vzdělávání ve spolupráci s Ústavem zemědělské, potravinářské a environmentální techniky. Brno.
- Mariotti B., Martini S., Raddi S., Tani A., Jacobs DF., Oliet JA., Maltoni A. 2020. Coconut Coir as a Sustainable Nursery Growing Media for Seedling Production of the Ecologically Diverse *Quercus* Species. *Forests*, **11**(5). Dostupné z: doi:10.3390/f11050522

- Marschner P. 2012. Marchner's mineral nutrition of higher plants. Elsevier Academic Press. Amsterdam.
- Mehlich A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **15**: 1409-1416.
- Microsoft Corporation, 2018. Microsoft Excel,
- Minasny B., McBratney AB., Brough DM., Jacquier D. 2011. Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration, University of Sydney, Australia.
- Möller K., Müller T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, **12**: 242–257.
- Monlau F., Francavilla M., Sambusiti C., Antoniou N., Solhy A., Libutti A., Zabaniotou A., Barakat A., Monteleone M. 2016. Toward a functional integration of anaerobic digestion and pyrolysis for a sustainable resource management. Comparison between solid-digestate and its derived pyrochar as soil amendment *Applied Energy* **169**: Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.02.084>
- Monnet F. 2003. An introduction to anaerobic digestion of organic wastes, Final Report, Remade Scotland. Dostupné z: http://www.biogasmax.co.uk/media/introanaerobicdigestion__073323000_1011_24042007.pdf
- Mustafa MY., Calay RK. a Román E. 2016.: Biogas from Organic Waste - A Case Study. *Procedia Engineering*. **146**, Dostupné z: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.06.397>
- Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 ze dne 3. října 2002 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu
- Nkoa R. 2014.: Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agron. Sustain. Dev.* **34**, Dostupné z: <https://doi: 10.1007/s13593-013-0196-z>
- Pavlíková D., Pavlík M., Vaněk V. 2018. Úloha chlóru, niklu a kobaltu ve vyživě rostlin. In: Sborník z konference Racionální použití hnojiv, ČZU, Praha, s. 33-39.
- Petříková V. 2012.: Plodiny pro zemědělské bioplynové stanice. *Biom.cz*. Dostupné z <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/plodiny-pro-zemedelske-bioplynove-stanice>. [cit. 2020-11-06].
- Rasi S., Veijanen A., Rintala J., 2007. Trace compounds of biogas from different biogas production plants, *Energy*, **32** (8) pp. 1375-1380
- Scarlat N., Dallemand JF., a Fahl F. 2018.: Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. **129**, Dostupné z: <https://doi:10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Schulte EE., Kelling KA. 1999. Soil and applied manganese. *Understanding Plant Nutrients*, A2526.
- Soukup J., Matouš J., Nachlinger Z., Bowe R. 1979. Výživa rostlin – substráty – voda v okrasném zahradnictví. Státní zemědělské nakladatelství. Praha.
- Spitzer K., Bufková I. 2008. Šumavská rašeliniště. Vimperk: Správa Národního parku a CHKO Šumava, 2008.
- Statistica 14.0, 2020. TIBCO Software.

- Tambone F., Scaglia B., D'Imporzano G., Schievano A., Orzi V., Salati S., Adani F. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost. *Chemosphere*, **81**: 577–583
- Themelis N.J., and Ulloa P.A. 2007. Methane generation in landfills, *Renewable Energy*, **32**, Dostupné z <https://10.1016/j.renene.2006.04.020>
- Tlustoš P., Kaplan L., Dubský M., Bazalová M., Száková J. 2014. Stanovení fyzikálních a chemických vlastností pevných a kapalných složek digestátu bioplynových stanic. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha.
- Tlustoš P., Kaplan L., Dubský M. 2014. Možnosti uplatnění upravených složek digestátu. Sborník z 20. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv. Česká zemědělská univerzita. Praha. 36 – 42.
- Váňa J., Bioplynové stanice na využití bioodpadů. *Biom.cz* 10. 5. 2010. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-na-vyuzitibioodpadu>. [cit. 2020-11-05].
- Vaněk V. 2012. Výživa zahradních rostlin. Praha: Academia.
- Vaněk V., Balík J., Pavlíková D., Kolář L. 2018. Role mikroprvků ve výživě rostlin. In: Sborník z konference Racionální použití hnojiv, ČZU, Praha, s. 9-15
- Vaněk V. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Pro Press, s.r.o., Praha.
- Vermeulen S.J., Campbell B.M., Ingram J.S.I. 2012. Climate change and food systems. *Annu. Rev. Environ. Resour.* **37**. Dostupné z: <https://doi:10.1146/annurev-environ-020411-130608>
- Vítěz T. 2013. Mineralogicko-chemická charakteristika fermentačních zbytků při výrobě bioplynu a možnosti jejich využití pro zlepšení vlastností půd.
- Vyhláška č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv
- Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady, (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady)
- Wilkinson K.M., Landis T.D., Haase D.L., Daley B.F., Dumroese R.K. 2014. Tropical Nursery Manual: A guide to starting and operating a nursery for native and traditional plants. *Agriculture Handbook 732*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Žákovec J. 2012. Biometan: hospodárné užití obnovitelných zdrojů energie. Praha: GAS, c2012. GAS.
- Židek M. 2004. Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství Dostupné z: https://eu.fme.vutbr.cz/file/Sbornik-EnBio/2004/06_Zidek.pdf