

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



Digestát jako zdroj přístupné síry pro zahradní rostliny

Diplomová práce

Autor práce: Bc. Eva Janoušková

Vedoucí práce: Ing. Martin Kulháněk, Ph.D.

© 2014 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Digestát jako zdroj přístupné síry pro zahradní rostliny" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 1. 4. 2014

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala vedoucímu diplomové práce panu Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné vedení mé diplomové práce, za odborné rady, trpělivost a čas, který mi věnoval při konzultacích.

Velké poděkování patří i mé rodině.

Digestát jako zdroj přístupné síry pro zahradní rostliny

Souhrn

Tato diplomová práce řeší aktuální téma dnešní doby, a tím je bioplynová stanice a její produkty. Počet bioplynových stanic stoupá a tím vzniká i více bioplynu, který je využíván v energetice. A dále vzniká anaerobní fermentací odpad - digestát, pro který se hledá správné využití. Jeho vysoký obsah živin je dobrý pro užití jako hnojiva v zemědělství či příměsi do pěstebních substrátů.

Literární rešerše je zpracována z dostupné literatury. Zabývá se historií bioplynových stanic, rozdělením bioplynových stanic, vznikem bioplynu a jeho charakteristikami, technologiemi výroby bioplynu, využitím a skladováním bioplynu. Dále popisuje pojem digestát, jeho legislativu, rozdělení, využití v zemědělství i mimo něj a jeho skladování. Poslední část rešerše je věnována síře v půdě, síře v rostlinách a hnojivům obsahujícím síru.

Pokus probíhal ve skleníkových podmínkách ČZU v Praze u zahradních rostlin gazánie zářivá (*Gazania rigens*, L.), máta peprná (*Mentha piperita*, L.), bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.). Digestát pro pokus byl dodán z bioplynové stanice Krásná Hora nad Vltavou. Byly porovnávány 4 varianty substrátů s kontrolním pěstebním substrátem B. S rašelinou byly použity dvě různé dávky neseparovaného digestátu (5 % a 10 % ND) a dvě různé dávky dolomitického vápence (3 g/l a 6 g/l). Před pokusem byly zjištěny vstupní rozborů substrátů (sušina, objemová hmotnost, pH, elektrická vodivost a obsahy makroprvků). Po sklizni byly provedeny rozborů substrátu (sušina a objemová hmotnost) a nadzemní hmoty (čerstvá hmotnost, sušina, počet rostlin či květů), dále bylo zkoumáno pH, elektrická vodivost, obsah síry v substrátech a obsah síry v nadzemní hmotě.

Z výsledků vyplývá, že větší množství síry v substrátu bylo zjištěno u vzorků s 10 % neseparovaným digestátem než s 5 % neseparovaným digestátem. Dále měl vliv i přídavek dolomitického vápence do substrátu. Obsah síry v nadzemní hmotě byl vyšší tam, kde byla nižší dávka dolomitu 3 g/l. Předpoklad, že aplikace digestátu do rašeliny povede ke zvýšení obsahu přístupné síry ve výsledném substrátu a následně povede i k průkaznému zvýšení obsahu celkové síry v nadzemní hmotě testovaných rostlin se však nepotvrdil. Obsah síry v kontrolním substrátu byl vždy statisticky průkazně vyšší. Mezi obsahem síry v nadzemní hmotě se při srovnání kontrolního substrátu s testovanými nevyskytovaly průkazné rozdíly.

Klíčová slova

Digestát, substráty, síra, zahradní rostliny

Digestate as a source of available sulphur for garden plants

Summary

This thesis addresses the actual topic of today - the biogas plant and its products. Number of biogas plants is increasing and it generates even more biogas, which is used in energetic. During anaerobic fermentation used is produced waste - digestate, the proper utilization of which is searched. Its high content of nutrients is good for use as a fertilizer in agriculture or as ingredient in the growing media.

Literature research draws from available literature. It deals with the history of biogas plants, types of biogas plants, source of biogas and its characteristics, technologies of biogas production, utilization and biogas storage. It also describes the concept of digestate, its legislation, types, agricultural use and storage. The last section of research is focused on sulfur in the soil, sulfur in plants and fertilizers containing sulfur.

The experiment was conducted in greenhouse conditions at CULS with garden plants gazania (*Gazania rigens*, L.), peppermint (*Mentha piperita*, L.), Basil (*Ocimum basilicum* L.). Digestate for experiment was delivered from the biogas plant Krásná Hora nad Vltavou. Four variants of substrate were compared with control, commonly used growing substrate. Two different doses of unseparated digestate (5 % and 10 % ND) and two different doses of dolomitic limestone (3 g /l and 6 g /l) were added to the peat. Before the experiment, input analyzes of the substrates were detected (dry mass, bulk density, pH, electrical conductivity and macronutrients content). After harvesting were performed the substrate (dry and bulk density) and the aboveground biomass (fresh weight, dry, the number of plants or blossoms) analyses, next were estimated pH value, electrical conductivity, sulfur content in the substrates and the sulfur content in the aboveground biomass.

The results show that greater amounts of sulfur were found in the substrates with the rate of 10 % unseparated digestate in comparison to the 5 % of unseparated digestate. Addition of dolomitic limestone into the substrate influenced the S content as well. The sulfur content in the aboveground mass was higher where the lower dose dolomite 3 g/l was applied. The assumption that by the application of digestate to the peat will increase the sulfur content available in the resulting substrate and subsequently lead to a significant increase of the total sulfur content in the aboveground mass of the test plants was not confirmed. The S content in control substrate was always higher in comparison to the tested substrate. Significant

differences in the S content in above ground biomass between tested and control substrate were usually not found.

Keywords

Digestate, substrates, sulfur, garden plants

Obsah

1. Úvod	9
2. Cíl práce	10
3. Hypotéza	11
4. Literární rešerše	12
4.1 Historie	12
4.2 Bioplynová stanice	13
4.2.1 Rozdělení bioplynových stanic	14
4.3 Bioplyn	15
4.3.1. Základní informace o bioplynu	15
4.3.1.1 Pojem bioplyn	15
4.3.1.2 Vznik bioplynu	16
4.3.1.3 Charakteristika bioplynu	16
4.3.1.4 Vlastnosti bioplynu a jeho složení	17
4.3.1.5 Anaerobní fermentace	17
4.3.1.6 Z jakých materiálů se bioplyn tvoří (druh a složení substrátu)	21
4.3.1.7 Vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci	21
4.3.2. Zařízení na výrobu bioplynu	22
4.3.2.1 Rozdělení bioplynových technologií	22
4.3.2.2 Popis zařízení na výrobu bioplynu	23
4.3.2.2.1 Technologie pro výrobu bioplynu z tuhých materiálů (suchá fermentace)	24
4.3.2.2.2 Technologie pro výrobu bioplynu z tekutých materiálů (mokrý fermentace)	25
4.3.3 Skladování bioplynu	26
4.3.4 Zpracování bioplynu	26
4.3.5 Využití bioplynu	27
4.4 Digestát	27
4.4.1 Rozdělení digestátů	28
4.4.2 Zpracování fermentačního zbytku (digestátu)	29
4.4.3 Legislativní předpisy používání digestátu jako hnojiva	30
4.4.4 Digestát jako hnojivo	31
4.4.4.1 Použití digestátu v konvenčním zemědělství	31
4.4.4.2 Použití digestátu v ekologickém zemědělství	33

4.4.6 Skladování digestátu.....	33
4.5 Síra.....	33
4.5.1 Síra v rostlinách	37
4.5.2 Nároky plodin na síru.....	38
4.5.3 Hnojiva obsahující síru	38
4.5.4 Vlivy různého hnojení na síru a další prvky.....	39
5. Metodika a materiál	41
5.1 Metodika práce	41
5.2 Provedené analýzy	42
5.2.1 Stanovení obsahu makroprvků extrakcí CAT	42
5.2.2 Stanovení hodnoty pH, vodivosti a obsahu síry v substrátu ve vodném výluhu.....	43
5.2.3 Obsah síry v nadzemní hmotě rostlin	43
5.3 Vyhodnocení výsledků.....	43
6. Výsledky.....	44
6.1 Vstupní rozbor	44
6.2 Posklizňové rozbor substrátů	47
7. Diskuse	60
8. Závěr.....	64
9. Seznam literatury a použitých zdrojů.....	66
10. Přílohy.....	70

1. Úvod

V současné době se hledá další možnost šetrného odstraňování vzniklých odpadů (organické zbytky, potravinářské odpady, kejdy a další) a následné využití produktů, které při procesu vzniknou. Zjistilo se, že bioplynové stanice (BPS) jsou vhodná velmi moderní ekonomická a ekologická zařízení. Jen počáteční náklady na výstavbu bioplynové stanice jsou poněkud vyšší. V České republice k roku 2013 bylo vystavěno 487 bioplynových stanic různého charakteru. V celé Evropě je vystavěno kolem 13 800 bioplynových stanic. Bioplynové stanice by časem mohly nahradit jaderné a uhelné elektrárny. Ale už teď se pozoruje snižování oxidu uhličitého.

Hlavní význam bioplynových stanic spočívá ve výrobě bioplynu - obnovitelného zdroje, který vzniká procesem anaerobní fermentace. Ten se následně využívá především k energetickým a tepelným účelům. Kromě bioplynu ještě vzniká procesem anaerobní fermentace biologicky stabilizovaný substrát - digestát. Stavba nových bioplynových stanic předznamenává produkci velkého množství digestátu. Jeho použití je závislé na vstupních substrátech. Digestát se používá v zemědělství jako hnojivo s dobrými hnojivými účinky na zemědělskou půdu, ale i při rekultivacích nezemědělských půd. Jako hnojivo ho můžeme aplikovat v tekuté i sušené podobě. Důležité je aplikovat digestát v takovém množství, které rostliny potřebují, a aplikaci provádět správnou technikou a ve správném termínu. Digestát, separát či fugát můžeme dále zpracovávat v kompostárnách za účelem výroby kompostu jako organického hnojiva či ho přidávat do různých pěstebních substrátů. Zkoušením digestátu jako pěstebního substrátu se nyní zabývá široká škála odborníků. Digestát se dále používá jako alternativní palivo. Pokud však obsahuje nadlimitní obsah rizikových prvků, je nutné s ním zacházet jako s odpadem.

Ve své diplomové práci „Digestát jako zdroj přístupné síry pro zahradní rostliny“ zkouším zjistit, zda je opravdu digestát dobrým substrátem pro rostliny s dostatečným obsahem rostlinám přístupné síry.

2. Cíl práce

Cílem práce je vyhodnocení vlivu různého přídatku neseptovaného digestátu k rašelině na obsah přístupné síry ve vzniklém substrátu a celkové síry v pěstovaných rostlinách. Dalším cílem je vyhodnocení vlivu podílu digestátu v substrátech na základní sledované parametry (objemová hmotnost, pH a vodivost substrátů, výnosy a procento sušiny rostlin).

3. Hypotéza

Předpokládá se, že aplikace digestátu do rašeliny povede ke zvýšení obsahu přístupné síry ve výsledném substrátu a následně povede i ke zvýšení obsahu celkové síry v nadzemní hmotě testovaných rostlin. Měl by tedy vzniknout substrát, který je z hlediska obsahu síry srovnatelný s běžnými pěstebními substráty.

4. Literární řešerše

4.1 Historie

První systematické výzkumy bioplynu provedl italský přírodovědec Alessandro Volta. Kolem roku 1770 jímál bahenní plyn ze sedimentu hornoitalských jezer a konal pokusy s jeho spalováním. Anglický fyzik Michael Faraday také experimentoval s bahenním plynem a identifikoval ho jako uhlovodík, ale teprve v roce 1821 se panu Amadeu Avogadrovi podařilo sestavit chemický vzorec metanu (CH_4). Také francouzský bakteriolog Luis Pasteur konal roku 1844 pokusy s bioplynem, který získával z hnoje. Anaerobní vyhnívající proces dostal silné podněty na konci 19. století, když se zjistilo, že se touto metodou dají čistit odpadní vody. Teprve v poválečné době bylo jako potenciální producent bioplynu objeveno také zemědělství. V roce 1950 v Dolním Sasku byla zprovozněna první větší bioplynová stanice s metodou střídání nádrží. Walter Eggersglüss, jeden z nejlepších odborníků té doby, zdůraznil význam vyhnílého kalu jako hnojiva (Schulz a Eder, 2001).

V posledních desetiletích v Evropské unii se zvýšila kapacita živočišné výroby, zvýšil se počet jednotek zvířat a tím vzrostly i živočišné odpady a kaly, která mohou způsobovat určitá rizika pro životní prostředí. Mezi potenciální rizika patří emise skleníkových plynů, jako je čpavek, metan a oxid dusný, vyplavování organických látek a živin (zejména dusíku a fosforu) a šíření patogenů v prostředí, jako je např. Salmonella, jsou-li odpady živočišné výroby používány přímo jako hnojivo. A proto alternativní metody, které zlepší hospodaření se zvířecím odpadem. Právě anaerobní digesce představuje jednu z nejúčinnějších biologických metod, které sníží emise skleníkových plynů, zejména amoniaku a metanu a dalším prospěchem je získávání energie prostřednictvím výroby bioplynu. Z anaerobní digesce kromě bioplynu získáme vedlejší produkt - digestát, který má větší agronomické hodnoty než kejda. Digestát obsahuje vyšší podíl minerálního N a méně rozložitelné organické hmoty. Avšak ve většině případů digestát ve své základní formě není vhodný pro přímou aplikaci na zemědělskou půdu, protože má nežádoucí vlastnosti jako je zápach, viskozita, vysoká vlhkost a vysoký obsah těkavých mastných kyselin, které jsou fytotoxické. Tyto aspekty komplikují manipulaci a aplikaci digestátu na půdu. Kromě toho může být digestát zdrojem patogenů. Cílem je, aby digestát získal odpovídající fyzikální vlastnosti podobné kompostu či pěstebním substrátům, např. rašelině (Bustamante, 2012).

Výstavba velkých bioplynových stanic v období 70. a 80. let minulého století u nás byla vyvolána potřebou řešit problémy s produkcí exkrementů v tehdy realizovaných velkochovech hospodářských zvířat. Vysoká koncentrace zemědělských výrob si vynutila

aplikace technologií biomethanizace v poměrně velkých zařízeních, která byla schopna zvládnout lokální nadprodukce zejména tekutých odpadů. Nejstarší bioplynová stanice u nás je v Třeboni (založena v roce 1974) a je nejdéle provozovanou jednotkou anaerobní fermentace zemědělských odpadů (Straka, 2006).

Česká republika stále výrazně zaostává ve využívání anaerobní digesce zbytkové biomasy za většinou států Evropské unie. I za současné situace v České republice však může být investice do bioplynové stanice přínosná. Při vhodném materiálovém složení vsázky, odpovídající skladbě technického vybavení bioplynové stanice, a především při možnosti využití obou produktů procesu může být anaerobní digesce ekonomicky efektivním způsobem zpracování zbytkové biomasy s pozitivními dopady pro životní prostředí. Obzvláště přínosné může být spojení této technologie se zemědělstvím, kde vzniká velké množství vedlejší produkce biologického původu a zároveň poskytuje možnosti využití tuhého zbytku po fermentaci jako organického hnojiva (Mužík a Abrham, 2006).

4.2 Bioplynová stanice

V současné době je v ČR provozováno více než 450 bioplynových stanic a stále přibývají nové. Největší rozmach bioplynových stanic přišel po roce 2000 v souvislosti s příznivou dotační politikou.

Bioplynová stanice je technologické zařízení využívající procesu anaerobní digesce ke zpracování bioodpadu, případně jiného biologicky rozložitelného materiálu. Hlavním produktem anaerobní digesce je bioplyn, který lze využít jako alternativní zdroj energie (Anon., 2012).

Kvalitně realizované bioplynové stanice jsou moderní a ekologická zařízení, která se běžně provozují v celé Evropské unii. Zpracovávají širokou škálu materiálů nebo odpadů organického původu prostřednictvím procesu anaerobní digesce za nepřístupu vzduchu v uzavřených reaktorech. Výsledkem procesu jsou pak bioplyn, který je zatím nejčastěji používán k efektivní výrobě obnovitelné elektřiny a tepla, a dále digestát, který lze používat jako kvalitní hnojivo (obdoba kompostu) (Bačík, 2009).

Technologie anaerobní fermentace je, s ohledem na stavební a technické vybavení, považována za jednu z náročnějších metod zpracování biologicky rozložitelných odpadů, neboť náklady na výstavbu nové bioplynové stanice jsou velmi vysoké. Bioplynovou stanicí lze považovat za dokonalou „kompostárnu“, z níž lze získat energii a stabilizovaný produkt, který je za daných podmínek použitelný jako hnojivo (Altmann a kol., 2010).

4.2.1 Rozdělení bioplynových stanic

Bioplynové stanice lze podle zpracovávaného substrátu rozdělit (suroviny/odpadů) na:

- zemědělské
- čistírenské
- ostatní.

Zemědělské bioplynové stanice jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, respektive podestýlky. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady č. 1774/2002 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu. Zemědělské bioplynové stanice jsou určeny k produkci nejen bioplynu, ale též stabilizovaného fermentovaného hnojiva. Na zemědělských bioplynových stanicích je možno zpracovávat následující materiály: kejdu prasat, hnůj prasat se stelivem, hnůj skotu se stelivem, kejdu skotu, hnůj a stelivo z chovu koní, koz a králíků, drůbeží exkrementy včetně steliva. Z rostlinných materiálů lze zpracovávat např. slámu všech typů obilnin i olejin, plevy a odpad z čištění obilovin, bramborovou nať i slupky z brambor, řepnou nať z krmné i cukrové řepy, kukuřičnou slámu i jádro kukuřice, travní biomasu nebo seno a nezkrmitelné rostlinné materiály aj. Dále můžeme zpracovávat cíleně pěstované plodiny, jako jsou např. obiloviny v mléčné zralosti, kukuřice ve voskové zralosti, kukuřice vyzrálá čerstvá i silážovaná, krmná kapusta, štěpka nebo řezanka z listnatých dřevin aj.

Čistírenské bioplynové stanice zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod a jsou nedílnou součástí čistírny odpadních vod. Technologie anaerobní digesce je využívána za účelem anaerobní stabilizace kalu vznikajícího na čistírnách odpadních vod. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství čistírny odpadních vod jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z čistírny odpadních vod, žump, septiků a odpadní voda. Tyto technologie pracují v režimu čistíren odpadních vod, které mají ve svém provozním řádu zapracovány podmínky nakládání s aktivovaným kalem a anaerobně stabilizovaným kalem (vyhnilým kalem).

Ostatní bioplynové stanice zpracovávají bioodpady, substráty již zmíněné u zemědělských bioplynových stanic a zpracovávají také vedlejší živočišné produkty. Tyto stanice musí splňovat větší nároky na hygienu (Anon., 2008).

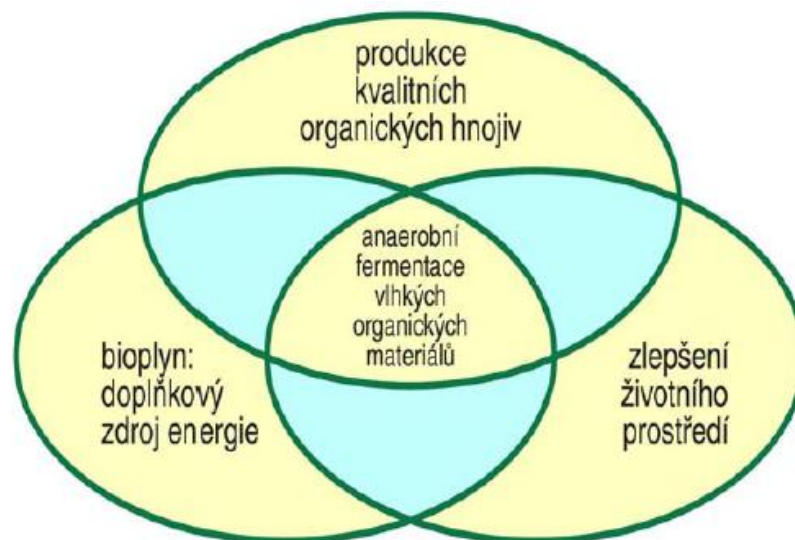
4.3 Bioplyn

4.3.1. Základní informace o bioplynu

Existují tři hlavní důvody pro využití anaerobní fermentace organických materiálů pocházejících ze zemědělství, lesnictví, komunálního hospodářství a venkovské krajiny (Obr. 1).

- Produkce kvalitních organických hnojiv, je významná hlavně pro zemědělské podniky, které si zpracovávají vlastní organický materiál a vyprodukované hnojivo využívají jen ve vlastním podniku.
- Získání doplňkového zdroje energie z bioplynu především pro své vlastní potřeby (př. ohřev teplé užitkové vody, elektrická energie, ...).
- Zlepšení pracovního i životního prostředí (Pastorek a kol., 2004).

Obr. 1: Význam anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů (Kára a kol., 2007)



4.3.1.1 Pojem bioplyn

Obecně lze pojem bioplyn použít pro všechny druhy plyných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynů anaerobního původu vznikají stejným způsobem, ať probíhá metanogenní proces pod povrchem země, v zaživačím traktu živočichů, ve skládkách komunálního odpadu, v lagunách, nebo v řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se ustálil název bioplyn pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (reaktorech, digestorech, lagunách se zařízením na jímání bioplynu atd.) (Pastorek a kol., 2004).

4.3.1.2 Vznik bioplynu

Biologický rozklad organických látek je složitý vícestupňový proces, na jehož konci působením metanogenních, acetotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů vzniká bioplyn. Bioplyn se v ideálním případě skládá z dvou plynných složek, metanu (CH_4) a oxidu uhličitého (CO_2). Průběh tohoto procesu ovlivňuje řada dalších procesních a materiálových parametrů, např. složení materiálu, podíl vlhkosti, teplota prostředí, hodnota pH, anaerobní prostředí, absence inhibičních biochemických látek atd. (Kára a kol., 2007).

Anaerobní mikroorganismy produkující metan jsou považovány za jedny z nejstarších živých organismů na naší planetě. Kyslík i v sebemenší koncentraci je pro ně totéž jako prudký jed pro živé organismy. Jejich přizpůsobivost jim umožnila přežít i poté, co se v atmosféře začal objevovat kyslík. Těsná symbióza s jinými anaerobními organismy, které jim zajišťují energii a anaerobní prostředí, umožnila jejich přežití až do dnešní doby. Všudypřítomné metanogenní kultury proto v přírodě nalzáme zásadně ve směsných kulturách, nikoliv v čistém stavu (Kára a kol., 2007).

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace, biochemická konzervace organických látek atd. Tento proces probíhá za určitých podmínek v přírodě samovolně nebo je vyvolán záměrně v biotechnických zařízeních. Výsledkem metanové fermentace je vždy směs plynů a fermentovaný zbytek organické látky. Výsledná směs plynů vždy obsahuje metan (CH_4), oxid uhličitý (CO_2) a řadu minoritních plynů, které mají názvy podle původu či místa vzniku např. zemní plyn, důlní plyn, kalový plyn, skládkový plyn a bioplyn (Pastorek a kol., 2004).

4.3.1.3 Charakteristika bioplynu

Obsah metanu (CH_4) se obvykle pohybuje od 50 do 75 %. V ideálním případě jej doplní 25 až 50 % oxidu uhličitého (CO_2). Vysoký obsah oxidu uhličitého znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku (O_2), s výjimkou počáteční fáze procesu, může být zapříčiněna zavzdušněním pracovního procesu. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem. V bioplynu se mohou objevit stopy argonu, který je vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného, ale i další nežádoucí příměsi př. halogenuhlohydráty a jejich deriváty. Objeví-li se v bioplynu vodík (H_2), není to na závadu, ale svědčí o narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a metanogenní fáze, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, anebo dochází z různých důvodů k inhibičním účinkům

potlačujícím rozvoj metanogenních organismů. Oxid uhelnatý v bioplynu může indikovat lokální vznik ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. Dále se v bioplynu může vyskytovat sulfan (H_2S), který pochází z biochemických procesů při rozkladu proteinů. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je obsah sulfanu zanedbatelný, u exkrementů z chovu vepřů a drůbeže je naopak velmi vysoký a působí potíže při následném konečném využití bioplynu (Kára a kol., 2007).

4.3.1.4 Vlastnosti bioplynu a jeho složení

Výhřevnost

Hodnota výhřevnosti bioplynu je určena obsahem metanu (CH_4). Ostatní plyny v bioplynu (H_2 , H_2S , ...) mají zanedbatelný energetický význam. Spálené teplo suchého bioplynu má hodnotu stejnou jako výhřevnost.

Hranice zápalnosti

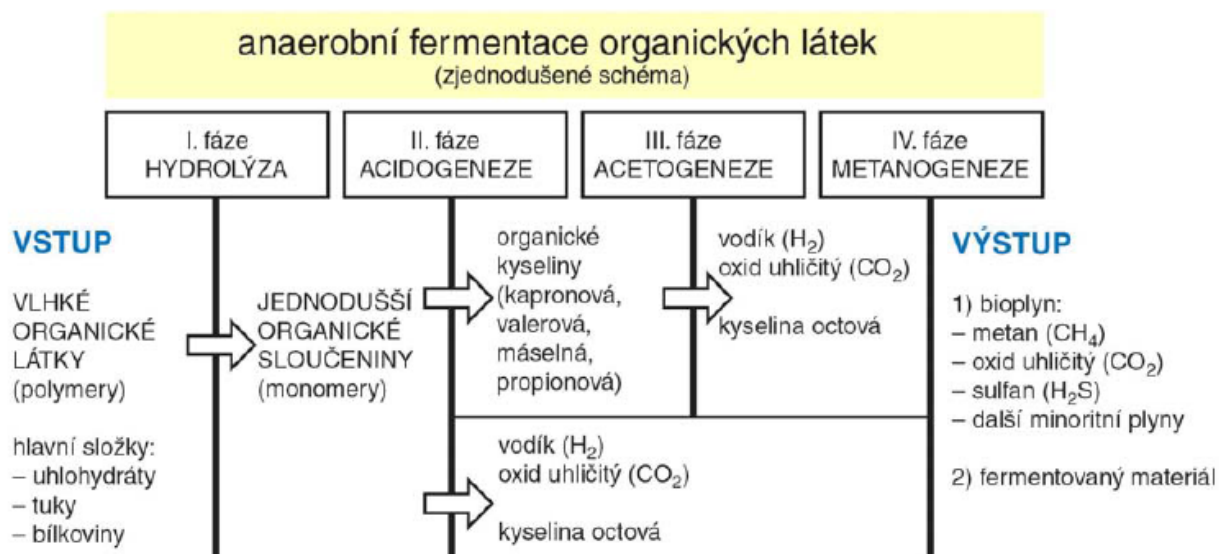
Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je 5 až 15 % objemových. Tato koncentrace již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je stejná jako hodnota pro metan tj. 650 až 750 °C. velmi důležitá je hodnota hustoty metanu a bioplynu s 60 % podílem CH_4 . Bioplyn je těžší než vzduch a vytváří pro živočichy i pro člověka smrtelně nebezpečné prostředí (Pastorek a kol., 2004).

4.3.1.5 Anaerobní fermentace

Řízená anaerobní digesce je perspektivní způsob ekologického zpracování zbytkové biomasy. Tato technologie využívána v bioplynových stanicích je souborem procesů, ve kterých směsná kultura mikroorganismů rozkládá biologicky odbouratelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Výslednými produkty jsou biologicky stabilizovaný substrát s vysokým hnojivým účinkem a bioplyn (Mužík a Abrham, 2006).

Anaerobní fermentace je velmi složitý biochemický proces, který se skládá z mnoha dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Metanogeneze je pouze konečná fáze biochemické konverze biomasy v anaerobních podmínkách na bioplyn a zbytkový fermentovaný materiál (Pastorek a kol., 2004). Schéma procesu anaerobní fermentace je znázorněno v Obr. 2.

Obr. 2: Zjednodušené schéma anaerobní fermentace (Kára a kol., 2007)



Základními faktory ovlivňujícími metanizaci jsou teplota, reakce prostředí, koncentrace nižších mastných kyselin, složení substrátu a přítomnost toxických a inhibičně působících látek (Dvořáček a kol., 2009).

Anaerobní fermentaci vlhkých organických materiálů rozděluje proces do čtyř základních fází.

I. fáze - Hydrolyza - začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti – nad 50% hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě striktně nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy atd.) na jednodušší organické látky (monomery).

II. fáze - Acidogeneze (okyselení) - zpracovávaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích.

Vznik CO₂, H₂ a CH₃COOH umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).

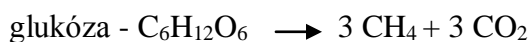
III. fáze - Acetogeneze - je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou (CH₃COOH), vodík (H₂) a oxid uhličitý (CO₂).

IV. fáze - Metanogeneze - metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou (CH₃COOH) na metan CH₄ a oxid uhličitý CO₂, hydrogenotrofní bakterie

produkují metan CH_4 z vodíku H_2 a oxidu uhličitého CO_2 . Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné (Kára a kol., 2007).

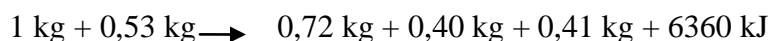
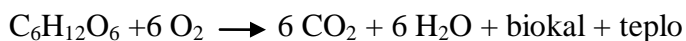
Pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických materiálů je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně 5x pomaleji než zbylé tři fáze. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru s nepříznivými důsledky (Pastorek a kol., 2004).

Zjednodušený popis metanového kvašení je následující:



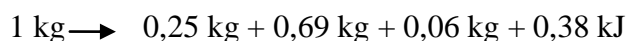
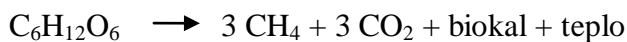
Rozdíl mezi anaerobním a aerobním procesem je zřejmý u příkladu rozkladu glukózy:

aerobní proces



Při aerobním procesu zůstává významné množství stabilizovaného substrátu (př. kompost), který se intenzivně sám zahřívá.

anaerobní proces



V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se sám zahřívá velmi málo, získáváme však bioplyn jako doplňkový zdroj energie (Kára a kol., 2007).

Podle složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro množení určitých kmenů bakterií způsobujících rozklad organické látky. Množství mikroorganismů odpovídá jejich růstové křivce, na níž lze sledovat 6 fází:

1. lagová fáze - mikroorganismy se postupně adaptují na dané podmínky.
2. fáze zrychleného růstu - částečně přizpůsobené mikroorganismy se začínají množit.
3. fáze exponenciálního růstu - zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, protože mají dostatečné množství živin.
4. fáze zpomaleného růstu - rychlost růstu mikroorganismů se zpomaluje.
5. stacionární fáze - vlivem počínajícího nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze.
6. fáze poklesu - absolutní nedostatek živin způsobuje postupné odumírání a rozklad mikroorganismů (Pastorek a kol., 2004).

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látka (inokulum) z fermentoru v ustáleném provozním stavu nebo se používají sušené stimulatory obsahující metanogeny v inaktivovaném stavu (Kára a kol., 2007).

Dnes je známo asi 10 druhů *methanococcus* a *methanobacterium* o velikosti pouze 1/1000 mm. Aby metanové bakterie plnily dobře svoji funkci, je zapotřebí jim poskytnout správné životní podmínky. Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zalaty vodou (alespoň z 50 %). Mezi další důležité životní podmínky patří: zabránění přístupu vzduchu, zabránění přístupu světla a stálá teplota. Hodnota pH by měla být okolo 7,5. U kejdy a hnoje tento stav nastává většinou samovolně a u kyselých substrátů je třeba přidat vápno. Důležitý je také přísun živin, jako jsou rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky. Dále jsou důležité velké dotykové plochy tj. materiál rozdrobit či rozsekat na menší části. Inhibitory (antibiotika, desinfekční prostředky, aj.) mohou proces vyhnívání zcela zbrzdit. Nesmíme opomenout ani zatížení vyhnívacího prostoru, které udává jaké maximální množství organické sušiny na m³ a den může být dodáno do fermentoru, aniž dojde k překrmení bakterií a zastavení procesu. Na 1 m³ obsahu fermentoru je denně dodáno a zpracováno 0,5 až 1,5 kg organické sušiny. Musí být brán i ohled na rovnoměrný přísun substrátu a to v co nejkratších intervalech např. jednou až dvakrát denně. Důležité je také odplynování substrátu. Pro tento účel se osvědčilo materiál několikrát denně promíchat (Schulz a Eder, 2001).

Teplota významně ovlivňuje průběh anaerobních procesů stejně jako u všech biochemických procesů. S rostoucí teplotou tedy vzrůstá rychlost všech reakcí probíhajících při metanizaci. Se změnou teploty může také docházet ke změnám zastoupení jednotlivých druhů organismů, což může způsobit porušení rovnováhy, až úplné zastavení procesu metanizace. Je proto výhodnější provozovat metanizaci za nižší a stabilně udržované teploty, než za teploty vyšší, kterou nemůžeme udržet konstantní (Dvořáček a kol., 2009).

Teplotní pásma, při kterých probíhá metanogenní proces, se dělí na psychofilní (15 °C až 20 °C), mezofilní (35 °C až 40 °C) a termofilní (asi 55 °C). Minimální teplota, při které proces začíná probíhat, jsou 4 °C. Pro každé teplotní pásmo existují různé kmeny metanogenních bakterií aktivizujících svoji činnost podle teploty prostředí. V psychofilní oblasti vzniká bioplyn s vyšším obsahem metanu, avšak s velmi nízkou intenzitou. Nejčastěji používaná provozní teplota v reaktorech patří do mezofilní oblasti. Bioplyn produkovaný v termofilní oblasti je chudší na metan, ale intenzita produkce bioplynu je velmi vysoká (Pastorek a kol., 2004).

4.3.1.6 Z jakých materiálů se bioplyn tvoří (druh a složení substrátu)

Biomasa je obecný pojem pro materiál vhodný pro využití k energetickým účelům formou metanogenní fermentace. Za biomasu je v užším pojetí považována organická hmota rostlinného původu vznikající na bázi fotosyntetické konverze sluneční energie. Pod pojmem biomasa si však můžeme představit substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinnou biomasu pěstovanou na půdě, hydroponicky nebo ve vodě, živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady (Kára a kol., 2007).

Energetickou biomasu rozdělujeme do skupin na: fytomasu s vysokým obsahem lignocelulosity, fytomasu olejnatých plodin, fytomasu s vysokým obsahem škrobu a cukru, organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu, směsi různých organických odpadů (Pastorek a kol., 2004).

Pro bioplynovou technologii je optimální materiál s obsahem sušiny mezi 5 až 15 %. Důležitý je i poměr uhlíku a dusíku (poměr C : N), který by měl být v rozmezí 20 : 1 až 40 : 1. Nejčastějším substrátem pro výrobu bioplynu je kejda a hnůj. Jako další substrát se používají tuky, jateční odpad, kuchyňský odpad a zbytky jídla (Schulz a Eder, 2001).

U běžných organických substrátů podrobených metanogenní fermentaci se metan získává rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Při rozkladu jinak dobře rozložitelných proteinů se do bioplynu uvolňují sirnaté složky např. sulfan - H_2S , který je před konečným využitím bioplynu nutné v některých případech odstranit. Rozkladem lipidů je možné dosáhnout nejlepší výtěžnosti, bohužel jejich podíl ve fermentovaném materiálu nebývá vysoký. Rozklad polysacharidů obsažených ve fytomase bývá hlavním zdrojem látek pro tvorbu metanu. Jedna z hlavních stavebních látek fytomasy - lignin - je z hlediska metanogeneze balastním materiálem tvorby metanu se téměř neúčastní, pokud není fyzikálně - chemickými procesy předem zpracován (Pastorek a kol., 2004).

4.3.1.7 Vlastnosti materiálu vhodného pro anaerobní fermentaci

Materiál vhodný pro fermentaci by měl splňovat následující podmínky:

- Nízký obsah anorganického podílu (popelovin).
- Organický materiál s vysokým podílem biologicky rozložitelných látek.
- Optimální obsah sušiny pro zpracování pevných odpadů je 22 až 25 %, v případě tekutých odpadů 8 až 14 %. Tekuté odpady s obsahem sušiny pod 3 % jsou zpracovány anaerobní fermentací s negativní energetickou bilancí. Horní hranice obsahu sušiny, při kterém ještě probíhá anaerobní fermentace, je 50 %.

- Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je hodnota pH (kyselost nebo zásaditost) materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstup do procesu se považuje hodnota pH = 7 až 7,8. V průběhu procesu se tento parametr mění.
- Významným parametrem pro hodnocení vhodnosti materiálu pro anaerobní fermentaci je poměr uhlíkatých a dusíkatých látek. Za optimální se považuje pásmo kolem 30 : 1. Vysoký obsah dusíkatých látek se může projevit negativně na složení bioplynu (obsahuje amoniak, oxid dusný, aj.). Mezi materiály s vysokým obsahem N patří exkrementy všech druhů hospodářských zvířat. Vysoký obsah C tvoří zas materiály rostlinného původu. Optimálního poměru se dosahuje míšením různých materiálů.
- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být významně narušena nežádoucími příměsmi, např. antibiotika používaná jako léčiva zvířat či materiály v hnilobném stavu. Tyto látky potlačují mikrobiální rozvoj.
- Vhodnost materiálu pro anaerobní fermentaci může být narušena jeho předchozím zpracováním nebo manipulací (Kára a kol., 2007).

4.3.2. Zařízení na výrobu bioplynu

4.3.2.1 Rozdělení bioplynových technologií

Podle dávkování surového materiálu rozlišujeme technologie:

Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové, atd.) - doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru, používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu.

Semikontinuální - doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů. Materiál se dávkuje 1x až 4x i vícekrát za den. Materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má malý vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (tepla, homogenita). Technologický proces lze snadno automatizovat. Proces není náročný na obsluhu.

Kontinuální- používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi malým obsahem sušiny

Podle podílu vlhkosti zpracovaného materiálu rozlišujeme:

Bioplynové technologie na zpracování tuhých materiálů (vysokosušivé s podílem sušiny 18 až 30 %, výjimečně až 50 %).

Bioplynové technologie na zpracování tekutých materiálů s nízkým podílem sušiny 0,5 až 3 % a negativní energetickou bilancí, popř. s vyšším podílem sušiny 3 až 14 % a pozitivní energetickou bilancí.

Bioplynové technologie kombinované (Pastorek a kol., 2004).

4.3.2.2 Popis zařízení na výrobu bioplynu

Strojní linka pro anaerobní fermentaci organických materiálů může mít mnoho variant podle toho, jaký materiál a jak je zpracován před vstupem do hlavní části - fermentoru. Lišit se může i podle uspořádání bioplynové koncovky a hlavně podle uspořádání kalové koncovky, včetně způsobu aplikace vyfermentovaných materiálů (Kára a kol., 2007). Schéma zařízení na výrobu bioplynu je zobrazeno v Obr. 3.

Struktura hlavních prvků strojní bioplynové linky je následující:

1. Zdroj organických materiálů - sběr a transport do příjmové nádrže musí s malými výkyvy odpovídat nominální výkonnosti strojní linky, před uskladněním v přijímací nádrži musí být evidován druh, charakter a množství materiálu a odebrány vzorky pro případ reklamací dodávek.
2. Příjem a úprava materiálu - skladovací nádrže mohou být vybaveny zařízeními: na separaci hrubých příměsí, na ředění vodou, zahušťování řídkého materiálu, inokulace neboli aktivace mikroflóry, předehřev materiálu, homogenizace, automatické dávkování fermentoru.
3. Anaerobní reaktory na tekutý materiál. Reaktor je nejdůležitější součástí strojních linek rozhodující o kvalitní funkci celé strojní linky.

Používají se tato provedení reaktorů:

- Laguna - Je to nejjednodušší zařízení a způsob zpracování organického materiálu. Má velmi malou intenzitu výroby metanu. Provozní teploty se pohybují do 20 °C.
- Reaktory pravoúhlé hranolovité - Jsou konstruovány v podobě žlabu nebo zakryté jímky hranolovitého tvaru.
- Reaktory válcové - Pro malé objemy do 150 m³, výjimečně až 600 m³. Používají se válcové reaktory s horizontální osou válce. Pro větší kapacity se z konstrukčních důvodů používají reaktory se svislou osou válce. Za modifikaci těchto reaktorů můžeme považovat válcové reaktory se zakončením ve tvaru kužele na spodním, popř. na obou koncích válce.
- Reaktory kulové nebo polokulové, popř. vejčitého tvaru. Polokulový tvar se často objevuje u primitivních reaktorů realizovaných jako podzemní stavby.

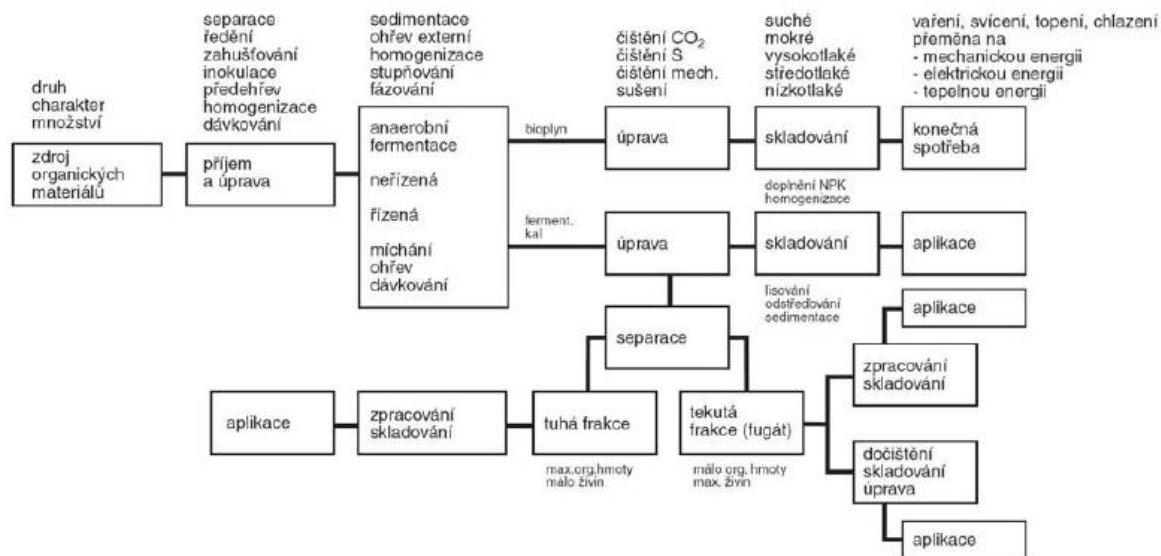
Nejjednodušším zařízením, ve kterém probíhá anaerobní fermentace tekutých materiálů je laguna pro tekuté materiály, respektive reaktivní skládka pro tuhé materiály. Dalším

jednoduchým typem reaktoru je zakrytý zásobník na tekutý materiál (podzemní, polozapuštěný, nadzemní). Většina bioplynových stanic má reaktor válcový s konstrukcí ze stavebních materiálů, kovový a plastový s osou svislou nebo vodorovnou. Řízený metanogenní proces znamená, že reaktor je vybaven míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním zařízením a dávkovacím zařízením.

4. Bioplynová koncovka obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník (plynojem), regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu (čištění od H₂O, CO₂, H₂S, mechanických nečistot atd.) a zařízení na konečné využití bioplynu, hořák zbytkového plynu.

5. Kalová koncovka sestává z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lis). Chemické čištění s biologickým stupněm je účelné tam, kde odvod tekutých frakcí končí v blízké vodoteči. Radikálně však narůstá celková pořizovací cena a je účelné, když toto čištění můžeme vypustit a substrát používat jako hnojivo (Pastorek a kol., 2004).

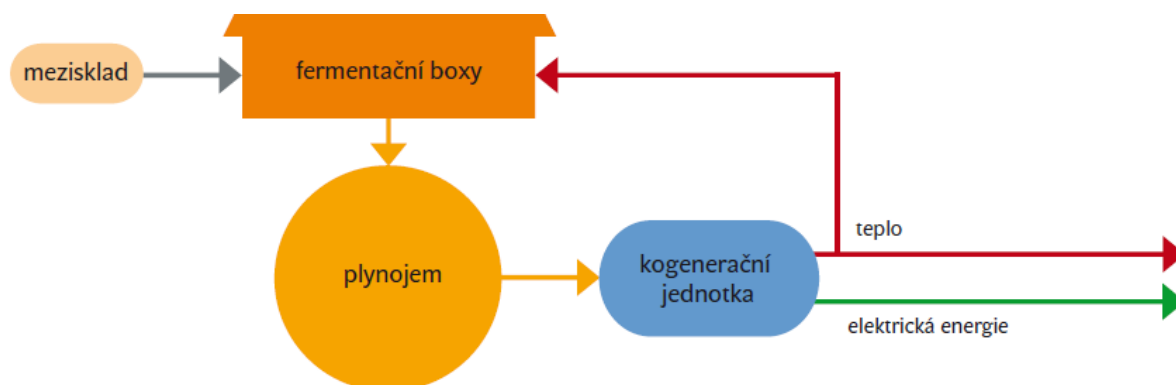
Obr. 3: Schéma zařízení na výrobu bioplynu (Kára a kol., 2007)



4.3.2.2.1 Technologie pro výrobu bioplynu z tuhých materiálů (suchá fermentace)

Technologie suché fermentace vyžaduje výrazně nižší energetické nároky na provoz než mokrá fermentace a menší citlivost na kvalitu vstupů. Technologie pracuje se vstupními materiály bez větší potřeby ředící kapaliny s pracovní sušinou pohybující se v reaktorech v množství kolem 30 % (Dvořáček a kol., 2009). Schéma suché fermentace je znázorněno v Obr. 4.

Obr. 4: Schéma bioplynové stanice využívající suché fermentace (Dvořáček a kol., 2009)



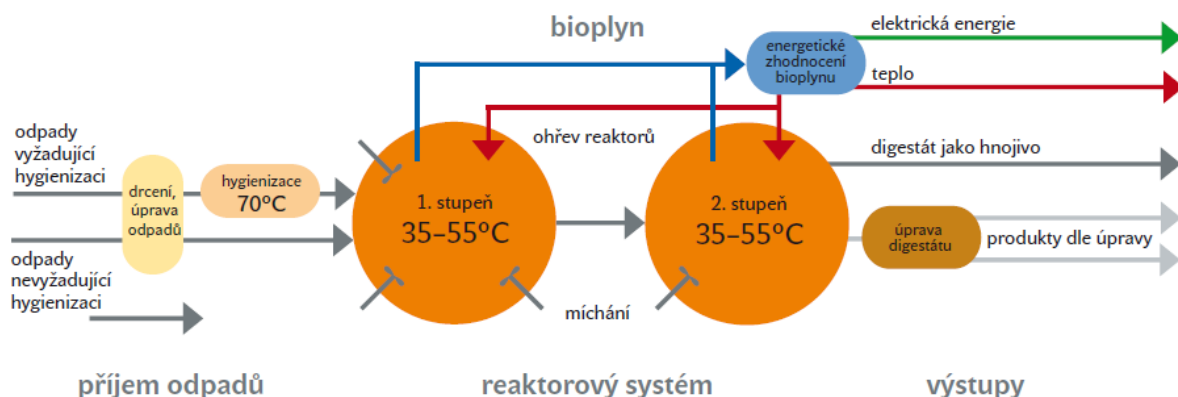
4.3.2.2.2 Technologie pro výrobu bioplynu z tekutých materiálů (mokrý fermentace)

Mokrý fermentace je nejběžnější metodou anaerobního zpracování bioodpadů a biologicky rozložitelného komunálního odpadu, přičemž materiál je výsledně zpracován jako kapalina s průměrnou sušinou v reaktorech do cca 12 % tak, aby byl čerpatelný. Jedná se o kontinuální biologický proces provozovaný ve velkých vzduchotěsných míchaných nádobách - fermentorech. Do těchto nádob je prakticky neustále dávkován substrát a v nádobách je udržována stálá teplota 35 °C nebo 55 °C. Pro eliminaci možných negativních vlivů technologie (především zápach digestátu na výstupu) je často využíváno vícestupňových systémů se sériově zařazenými fermentory a dofermentory (dohnivací nádrže, viz Obr. 5) (Dvořáček a kol., 2009).

Při mokré fermentaci je vždy nutná předúprava zpracovaného bioodpadu drcením či tříděním (separace anorganických částí, separace plastů, ...) eliminujícím podíly nežádoucích příměsí. Tyto materiály mohou způsobovat ucpávání a nadměrné opotřebení čerpacích systémů nebo vytváření plovoucích vrstev v nádržích a znečištění výstupních digestátů. Dalším rizikem je kontaminace digestátu některými rizikovými prvky např. mědí, rtutí, arsenem a další (Dvořáček a kol., 2009).

Základními výhodami technologie mokré fermentace je možnost zpracovávat tekuté materiály, dobře zvládnutý a mnoha aplikacemi ověřený proces, stálá produkce bioplynu, homogenita výstupního digestátu a především je (s výjimkou vstupního objektu bioplynové stanice) celou dobu pracováno s aktivním materiálem výhradně v uzavřeném systému. Nevýhodami jsou pak nutnost zabezpečení stálého přísunu substrátu, nutnost náročné předúpravy bioodpadů a především produkce velkého množství kapalného výstupního digestátu. Tento výstup je však možné separovat na tekutou část (fugát) a pevnou část (tuhý digestát) (Dvořáček a kol., 2009).

Obr. 5: Schéma bioplynové stanice využívající 2 stupňovou mokrou fermentaci (Dvořáček a kol., 2009)



4.3.3 Skladování bioplynu

Rozdělujeme bioplynové stanice bez vyrovnávacího zásobníku a s vyrovnávacím zásobníkem. Pro stanice bez zásobníku je typické, že spotřebiče jsou zapínány nepravidelně podle množství vyrobeného bioplynu. Bioplynové stanice s vyrovnávacím zásobníkem vyžadují vyšší pořizovací náklady. Velikost vyrovnávacího zásobníku je doporučena alespoň na úroveň jednodenní produkce bioplynu (Pastorek a kol., 2004).

Plynojemy používané u bioplynových stanic dělíme podle konstrukčního materiálu na: kovové, plastové, gumotextilní a kombinované. Nebo je možno dělení podle tlaku na: nízkotlaké (< 50 kPa), středotlaké (1 až 2 MPa) a vysokotlaké (15 až 35 MPa) (Kára a kol., 2007).

U současných bioplynových stanic v zemědělském sektoru se používají hlavně kovové válce s vodorovnou osou, mokré plovoucí plastové plynojemy, gumotextilní dvouplášťové plynojemy, suché kovové plynojemy s gumotextilní membránou (Pastorek a kol., 2004).

4.3.4 Zpracování bioplynu

Pokud surový bioplyn neobsahuje nadměrnou koncentraci sloučenin síry nebo mechanických příměsí či vodní páry, lze ho spalovat přímo v plynovém kotli s hořákem seřízeným na toto médium. Pro jiné způsoby využití je nezbytné provést sušení bioplynu (snížení obsahu páry), odsíření (síra se v surovém bioplynu vyskytuje v podobě sulfanu), kalorické zhodnocení (odstraněním oxidu uhličitého a jiných balastních plynů), stlačení, zkapalnění. Bioplyn se zpravidla suší ochlazením pod rosný bod vodní páry a zpětným ohřevem. Mechanické nečistoty spolehlivě odplaví kondenzát nebo se zachytí ve vodní

pojistce. Odsíření bývá nejčastěji založeno na profukování plynu granulovanými materiály na bázi oxidů železa nebo v jednodušším případě vrstvou železnatých třísek, vznikajících při obrábění materiálů. Technicky nejjednodušším způsobem odsíření bioplynu je směšování bioplynu ve fermentorech s 2 až 4 % objemových vzduchu. Oxid uhličitý bývá nejčastěji absorbován do vody při protiproudém sprchování (Kára a kol., 2007).

Účelem celé úpravy bioplynu je: zamezit zamrznání kondenzátu v potrubí, zamezit tvorbě tzv. kapalných zátek v plynovém potrubí, maximálně eliminovat korozní účinky surového bioplynu, snížit toxicitu bioplynu a zplodin jeho spalování, zvýšit energetický obsah bioplynu na úroveň zemního plynu, zvýšit hustotu bioplynu v zásobnících mobilních energetických prostředků (Pastorek a kol., 2004).

4.3.5 Využití bioplynu

Bioplyn lze využívat v různých odvětvích např. k energetickým účelům (spalování v kotlích, palivové články, pohon spalovacích motorů či turbín, výroba elektrické energie, ...), ale i v zemědělství (Pastorek a kol., 2004).

4.4 Digestát

Digestát je zbytek po fermentačním procesu, který vzniká anaerobní fermentací při výrobě bioplynu v bioplynových stanicích. Oddělená tuhá část z digestátu se nazývá separát a kapalná část z digestátu se nazývá fugát. Na digestáty jsou kladeny přísné hygienické požadavky. Jedná se hlavně o splnění procesních hygienizačních parametrů, splnění limitních hodnot rizikových prvků a indikátorových organismů (Marada a kol., 2008).

Podle vyhlášky č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, je digestát organické hnojivo (typ 18.1 e), které má minimálně 25 % spalitelných látek a 0,6 % celkového obsahu anorganického dusíku v sušině. Je vyrobeno výhradně ze statkových hnojiv a objemných krmiv anaerobní fermentací (Anon., 2000). Zařazení digestátu jako hnojiva je znázorněno na Obr. 6.

Obr. 6: Typy hnojiv z vyhlášky č. 474/2000 Sb.

Druh hnojiva: 5. Organická a organominerální hnojiva

typ	označení typu	minimální obsah živin	součástí určující typ, formy a rozpustnost živin	hodnocené součásti a další požadavky	složení, způsob výroby	zvláštní ustanovení
1	2	3	4	5	6	7
18.1	organické hnojivo					
		e) 25 % spalitelných látek 0,6 % N	spalitelné látky	spalitelné látky v sušině hodnocené jako ztráta žháním;	výhradně ze statkových hnojiv a objemných krmiv anaerobní fermentací	digestát (organické hnojivo vzniklé anaerobní fermentací při výrobě bioplynu)

V kontrastu k vyhnilému kalu a kompostu nejsou vlastnosti digestátu dobře známy a digestát zůstává v zemědělství nevyužit. Anaerobní digesce umožnila získat finální produkt (digestát) s velice dobrými hnojivými účinky, protože má vysoký výživový obsah (N, P, K) v dostupné formě. Na základě toho digestát se zdá být velmi dobrým kandidátem na nahrazení anorganických hnojiv a také přispívá ke krátkodobému nárůstu půdní organické hmoty (Tambone et al., 2010).

4.4.1 Rozdělení digestátů

1. podle použitých vstupních surovin

Existuje velká řada materiálů, které mohou být použity jako vstupní surovina do bioplynových stanic, jako např. hnůj, kejda, rostlinné suroviny, biomasa, kaly, biologicky rozložitelné odpady a vedlejší živočišné produkty. Právě podle druhu vstupních surovin je zapotřebí bioplynové stanice a digestáty důsledně rozlišovat a stanovovat na ně i různé požadavky v rámci povoloovacího procesu (Marada a kol., 2008).

Digestáty je podle vstupních surovin možné rozdělit do následujících skupin:

Digestáty, kde vstupními surovinami jsou statková hnojiva a materiály rostlinného charakteru. Tyto digestáty vznikají na bioplynových stanicích, které zpracovávají statková hnojiva a materiály rostlinného charakteru (např. sláma všech typů obilovin i olejnin, bramborová nať, travní biomasa a kukuřičná siláž). Pro tento typ digestátů není možné použít jako vstupní surovinu odpady a ani vedlejší živočišné produkty.

Digestáty, kde jednou ze vstupních surovin jsou odpady. Pro vznik těchto digestátů mohou být použity jako vstupní suroviny bioodpady, dále statková hnojiva a materiály rostlinného charakteru. Vstupní suroviny musí být v souladu se zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech.

Digestáty z BPS, kde jednou ze vstupních surovin jsou vedlejší živočišné produkty. Tento digestát vzniká v bioplynových stanicích, kde se zpracovávají vedlejší živočišné produkty. Bioplynové stanice spadají pod působnost Nařízení ES č. 1774/2002 o hygienických pravidlech pro vedlejší produkty živočišného původu, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu a musí plnit podmínky tohoto ustanovení jako je např. hygienizace suroviny/odpadů (pasterizace, vysokoteplotní hygienizace). S digestáty z této bioplynové stanice musí být při uskladnění manipulováno tak, aby se zabránilo rekontaminaci.

2. Rozdělení digestátů podle obsahu sušiny zatím nikde v právních předpisech není. Bylo by dobré rozdělovat digestáty na tuhé a tekuté.

3. Rozdělení digestátů podle možností použití

Způsob použití digestátu může být různý v závislosti na konkrétních podmínkách a jeho kvalitě. Jednak je možné digestát (nebo i jeho jednotlivé separované složky) aplikovat jako hnojivo na zemědělskou půdu nebo je možné digestát, separát či fugát zpracovávat v kompostárnách za účelem výroby kompostu. Výsledný kompost může být také využit nejen přímo jako organické hnojivo, ale také k dalšímu zpracování na různé substráty. Dalším možným způsobem je použití digestátu jako rekultivačního materiálu mimo zemědělskou a lesní půdu. V případě, že by digestát obsahoval nadlimitní obsah rizikových prvků, musel by být likvidován jako odpad. Další alternativou použití digestátů je separace a usušení tuhého podílu s následným využitím pro výrobu tuhých alternativních paliv (Marada a kol., 2008).

4.4.2 Zpracování fermentačního zbytku (digestátu)

Zpracování fermentačního zbytku může u bioplynových stanic bez vazby na zemědělský sektor představovat zcela zásadní provozní otázku. Digestát tak, jak opouští reaktor, a to v případě mokré i suché fermentace, je možné uplatnit dle zákona č. 156/1998 Sb. o hnojivech a Vyhlášky 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady, a to především jako hnojivo na zemědělské půdě s následným zapravením. V tomto případě je nezbytná registrace dle zákona o hnojivech. Zde je nezbytné sledovat zejména obsahy některých prvků, jako je např. zinek, kadmium, rtuť, olovo, chrom, molybden, nikl, měď a arsen, které mohou mnohdy překračovat platné limity. Pokud není zemědělská půda k dispozici, je uplatnění digestátu mnohdy problematické a často je vázáno na hnojení parkových ploch, provozy kompostáren, rekultivaci skládek apod. Zpracování

digestátu obvykle zahrnuje jeho odvodnění (separaci) prováděné odstředivkou (zde je problém vysoké spotřeby flokulantu v návaznosti na vlastnosti kalu) nebo šnekovým separátorem, který ovšem poskytuje horší kvalitu kapalně části s ohledem na další zpracování. Vzniklá pevná část (tuhý digestát) má většinou více než 20 % sušiny, kapalná část (fugát) má mezi 2 - 8 % (Dvořáček a kol., 2009).

Kapalně fugát ze separace je možné také fyzikálně - chemickými nebo biologickými procesy čistit od zvýšeného obsahu dusíku. Jedná se např. o technologie stripování, reverzní osmózy, intenzifikované nitrifikace a denitrifikaci, podtlakového odpařování apod. Investiční i provozní náklady na čištění jsou velmi vysoké a také existuje málo provozních zařízení (Dvořáček a kol., 2009).

Tuhý digestát je možné např. sušit a poté využívat jako palivo nebo sušené hnojivo. Proces sušení zbytkovým teplem bývá na zemědělských bioplynových stanicích dobře zvládnut a nevyžaduje vysoké provozní náklady (Dvořáček a kol., 2009).

4.4.3 Legislativní předpisy používání digestátu jako hnojiva

Používání a registrace hnojiv se řídí ustanoveními zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd.

Organická hnojiva vzniklá anaerobní fermentací při výrobě bioplynu smějí být používána na zemědělské půdě a lesních pozemcích pouze pokud jsou registrována podle tohoto zákona; to neplatí, jsou-li vyrobena výhradně ze statkových hnojiv nebo krmiv. Tento zákon se nevztahuje na hnojiva, pomocné půdní látky, pomocné rostlinné přípravky a substráty poskytované v množství nezbytném pro účely výzkumu, vývoje a pokusnictví (Anon., 2013b).

Digestát tuhý i tekutý je jako organické hnojivo zařazen podle zákona č. 254/2001 Sb., o vodách, mezi tzv. závadné látky. Ten, kdo zachází se závadnými látkami je povinen učinit přiměřená opatření, aby neunikaly do podzemních nebo povrchových vod a neohrožily životní prostředí (Marada a kol., 2008).

Při aplikaci digestátu musíme dodržovat následující opatření, které jsou v souladu s nařízením vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programem (Anon., 2013a).

Digestáty i BPS při běžném provozu musí dodržovat přípustnou míru obtěžování zápachem podle vyhlášky č. 362/2006 Sb., o způsobu stanovení koncentrace pachových látek, přípustné míry obtěžování zápachem a způsobu jejího zjišťování (Marada a kol., 2008).

4.4.4 Digestát jako hnojivo

Používání digestátu ke hnojení znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv a to zejména dusíku. Obsah snadno rozložitelného uhlíku je sice redukován, ale digestát obsahuje žádoucí prekursory huminových látek. Aplikace digestátu má výrazně pozitivní vliv na úrodnost půdy a je jedním z důvodů, proč budování bioplynových stanic posiluje udržitelnost zemědělství a venkova (Marada a kol., 2008).

4.4.4.1 Použití digestátu v konvenčním zemědělství

Ke hnojení je možné používat pouze stabilizované digestáty produkované při dosažení správného technologického postupu a přiměřeného organického zatížení fermentorů. Hlavním zdrojem problému jsou substráty s vysokými obsahy organicky vázaného dusíku, a proto je nutné věnovat velkou pozornost skladbě vstupních surovin a především celkovému poměru C : N (Marada a kol., 2008).

K hnojení jsou povoleny jen ty digestáty, které jsou registrovány podle zákona o hnojivech, neohrožují úrodnost půd ani zdraví lidí nebo zvířat, nepoškozují životní prostředí, nejsou znehodnoceny a splňují požadavky na označení, balení a skladování. Nesmí se používat digestáty neoznačené a digestáty, které mají vyšší obsah rizikových prvků než stanovuje vyhláška č. 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva (Marada a kol., 2008).

Digestát není hnojivo organické, protože proces anaerobní digesce zanechal v surovině jen stabilní organické látky. Znakem organického hnojiva je schopnost rychlého rozkladu, aby hnojivo mohlo poskytnout energii půdním mikroorganismům. Je to jen slabé hnojivo minerální, protože obsahuje jen málo minerálních živin (dusík a draslík) a to v přebytku vody. Praxe je mystifikována údaji o obsahu dusíku v sušině, a považuje tento údaj za obsah v reálném odpadu. V jeho pevné části (separátu) je organický dusík, rostlinám nepřístupný. Jestliže se separát v půdě hydrolyzuje velmi pomalu, může i tento dusík mineralizovat jen pomalu a v zimě se zpravidla vyplaví. V kapalně části digestátu (fugátu) je sice dusík minerální, rostlinám přístupný. V sušině fugátu ho může být až 10 %. Ale obsah sušiny fugátu je jen 1 až 3 %, tj. obsah dusíku v kapalném fugátu je jen 0,15 - 0,30 % (Kolář a kol., 2009).

Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivy má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2 ale až i 1 % ve hmotě), vyšší hodnotu

pH (7 - 8), nižší obsah uhlíku a sušina se pohybuje v rozmezí od 2 do 13 %. Při průměrném obsahu 0,5 % celkového dusíku v hnojivu se dodá při dávce 1 t (m³) digestátu 5 kg dusíku na ha. Kvalitní digestát je hnojivo, které obsahuje hodnotné organické látky a minerální živiny. Digestát, separát i fugát o sušině vyšší než 2 % jsou vhodnými prostředky pro udržení půdní úrodnosti a pro zabezpečení výživy rostlin (Marada a kol., 2008).

Digestát používaný jako listové hnojivo působí méně žíravě než surová kejda. Dalším cílem je zlepšení jeho tekutosti, což přináší výhody v míchání, čerpání a rozvážení. Rovněž se snižují ztráty na živinách, zvláště dusíku. Díky zmenšení žíravých účinků se zvyšuje odolnost rostlin. Zlepší se i zdravotní stav, takže se zmenší potřeba použití ochranných prostředků. Náleží sem i omezení klíčivosti semen plevelu (Schulz a Eder, 2001).

Při použití digestátu na zemědělské půdě nesmí dojít k jinému vniknutí či ke splachu hnojiva do povrchových vod a na sousední pozemky. Digestát je nutno zapracovat do půdy a zabránit tak úniku amoniaku. Při aplikaci digestátu, případně fugátu na povrch orné půdy je nutné jejich zapravení do 24 hodin s výjimkou řádkového přihnojování porostů. Při aplikaci tuhých digestátů je nutné jejich zapravení do 48 hodin. Při aplikaci digestátu na půdu jako hnojivo se doporučuje využívání hadicových aplikátorů s dosahem až k zemi, neboť tento způsob aplikace zaručuje lepší a rychlejší vsakování digestátu do půdy a tím výrazně snižuje emise dusíku a případného zápachu do ovzduší. Hnojivo nepoužíváme, když je půda není schopna přijmout (zamokřené půdy, půdy pokryté sněhem aj.). Použití i dávkování digestátu jako hnojiva se podobá použití a dávkování kejdy. Výši dávky hnojiva stanovujeme podle potřeby živin jednotlivých plodin (Marada a kol., 2008).

Rozkladem pevných organických látek se zmenšuje obsah sušiny, zvyšuje se homogenita a snižuje se velikost jednotlivých částic substrátu. Pro využití digestátu jako hnojiva mají velký význam následující změny fermentačního zbytku: zlepšená tekutost, snížení agresivity vůči rostlinám (popálení) rozkladem organických kyselin, zmenšení poměru uhlíku k dusíku a rychlejší působení především dusíku. Dobrá tekutost způsobuje méně problémů při přečerpávání, homogenizaci a vyvážení digestátu. Toto má využití obzvláště při náročné aplikační technice kejdy (vlečné hadice), potřebné ke snižování emisí amoniaku. Fermentační zbytek, popřípadě kejda, obzvláště kejda s obsahem sušiny pod 4 až 5 %, odtéká lépe z porostu do půdy. Anaerobní digesce snižuje riziko popálení rostlin, které se projevuje většinou tehdy, když je aplikovaná čerstvá kejda, neboť obsahuje velké množství organických kyselin (Kratochvílová a kol., 2009).

Poměr uhlíku a dusíku ve fermentačním zbytku se ztenčí následkem metanového kvašení - odpovídající stupni vyhnití od asi 9 : 1 na cca 5 - 6 : 1 u kejdy, popříp. z 15 : 1 na 7 :

l u pevného hnoje. Toto způsobí menší (snížené) vázání dusíku v organické hmotě, ale také v půdě a následně o něco lepší okamžitou dostupnost dusíku rostlinám, při použití fermentačního zbytku v pěstování rostlin. Při používání kejdy, ať neošetřené nebo fermentované v bioplynové stanici, můžeme vycházet z toho, že fosfor a draslík mají obdobnou přístupnost jako minerální hnojiva. Správná aplikace fermentačního zbytku vyžaduje vhodný termín, rovnoměrnou dávku a v případě aplikace do porostu co možno nejmenší zasažení rostlin (Kratochvílová a kol., 2009).

4.4.4.2 Použití digestátu v ekologickém zemědělství

Obecně platí podle Nařízení Rady č. 834/2007 o ekologické produkci a označování ekologických produktů, že digestát lze v ekologickém zemědělství použít pouze v případě, že by bioplynová stanice pracovala v režimu platném pro ekologicky hospodařící farmu, a potom by i vstupní suroviny musely splňovat podmínku organického hnojiva použitelného pro produkci ekologických výrobků (Marada a kol., 2008).

4.4.6 Skladování digestátu

Mimo vegetační období platí omezení pro použití digestátu na půdu, proto je nutné vyřešit jeho skladování. Skladování a způsob používání hnojiv musí být v souladu se zákonem o hnojivech. Digestát, případně fugát se musí skladovat v nepropustných nadzemních, popřípadě částečně zapuštěných nádrží nebo v zemních jímkách. Musí být zamezen přítok povrchových nebo srážkových vod do jímky či nádrže. Tuhý digestát se musí skladovat ve stavbách zabezpečených stejným způsobem jako stavby pro skladování tuhých statkových hnojiv s vyloučením přítoku povrchových nebo srážkových vod, jejichž součástí je sběrná jímka tekutého podílu. Tuhý digestát připravený pro vlastní účely ze statkových hnojiv může být před jeho použitím uložen na zemědělské půdě nejdéle po dobu 24 měsíců. Kapacita skladovacích prostor pro digestát musí odpovídat skutečné produkci digestátu (Marada a kol., 2008).

4.5 Síra

Optimální hnojení zesiluje a podporuje tvorbu a kvalitu biomasy rostlin. Je třeba zdůraznit, že jak nedostatek, tak i přebytek určitých živin může způsobit poruchy v metabolismu daného systému rostlin, a v důsledku toho se sníží obsah biologicky aktivních látek. Z 92 prvků, které přirozeně existují v přírodním prostředí, je jen několik, které jsou považovány pro rostliny za nezbytné (Dzida, 2010).

Síra je jednou ze základních živin, které rostliny potřebují pro svůj růst. Nedostatek síry může ovlivnit výnos i kvalitu plodin. Síra je nepostradatelnou součástí bílkovin, enzymů a aminokyselin (methioninu a cysteinu) (Scherer, 2001).

Síra je důležitým makroelementem ve výživě rostlin. V současné době dochází k poklesu obsahu síry v půdě. Proto se hnojení sírou stává stále více aktuálním problémem v České republice, ale i v ostatních evropských zemích. Hlavní příčinou nutnosti hnojení sírou je pokles atmosférických depozic. Vstupy síry do půdy prostřednictvím atmosférických emisí jsou v současnosti 8x nižší než před 20 lety (Kulhánek a kol., 2013).

Dalšími příčinami poklesů obsahů síry v půdě je méně časté použití hnojiv obsahujících síru a rovněž častější zařazení plodin náročných na síru do osevních postupů (Scherer, 2001).

V mnoha zemích světa byl nedostatek síry uznán jako limitující faktor pro rostlinnou výrobu. V posledním desetiletí v západní Evropě se výskyt nedostatku síry objevil u čeledi brukvovitých (Brassicaceae). Rostliny z čeledi brukvovité mají zvláště vysoké nároky na síru. Předvídání požadavků síry u rostlin má v evropském zemědělství stále vyšší význam a proto je dobré u půd provádět rozbory půd i rostlin, při kterých zjistíme skutečné obsahy živin. Na nízký obsah síry je velmi citlivá řepka olejná. Podle výsledků měření a nároků plodin na síru určíme přesnou dávku hnojení (Scherer, 2001).

Balík (2009) uvádí, že celkový obsah síry v půdě se obvykle pohybuje v rozmezí 0,01 a 0,1 %.

Obsah síry ve většině zemědělských půd kolísá v širokém rozsahu, běžně od 50 do 500 mg S/kg. Převažující složkou je síra v organických sloučeninách (až 98 % celkové síry). Organické sloučeniny síry lze rozdělit do dvou skupin:

Síra vázaná na organické sloučeniny v oxidované formě - jako estery s lipidy, polysacharidy i glukosinoláty. Tato forma organické síry tvoří větší část organicky vázané síry v půdě. Síra je z těchto sloučenin poměrně snadno uvolňována při jejich mineralizaci, a proto je považována za hlavní potenciální zdroj pro rostliny. Uvolnění SO_4^{2-} z esterů působí enzymy (sulfatázy) různých typů s vysokou specifitou k organickému zbytku molekuly.

Síra vázaná na organické sloučeniny v redukované formě - hlavními představiteli těchto sloučenin jsou aminokyseliny, jako je methionin a cystein, které jsou součástí bílkovin, ale i dalších sloučenin. Síra je v nich vázána přes uhlík a jejich mineralizace je již složitější. Probíhá v několika krocích - rozložení složitých látek na jednodušší - až na aminokyseliny, následné odštěpení sulfanu (H_2S) a jeho postupná oxidace na síran (Vaněk a kol., 2007).

Malý podíl síry je vázán v biomase mikrobu (1 - 3 %). Je to však nejdynamičtější část organických sloučenin v půdě, které se mohou významně podílet na výživě rostlin sírou (po mineralizaci) (Vaněk a kol., 2012).

Síra v anorganických sloučeninách je představována sírany, které jsou přítomny v půdním roztoku, ale část se jich nachází v pevné fázi půdy. Je to hlavně nerozpustná část síranů, ale také síra sorbovaná na koloidy s kladným nábojem, která je významnější v kyselých půdách (Vaněk a kol., 2007).

Hlavním zdrojem organické síry jsou v podstatě kořeny rostlin a posklizňové zbytky a také statková hnojiva. Také minerální hnojiva mohou dodávat významné množství síry do půdy. Jsou to především některá draselná hnojiva a síran amonný. V koloběhu síry hrají významnou roli i sloučeniny, které se dostávají do půdy z ovzduší ve formě oxidu siřičitého. Zdrojem oxidu siřičitého v ovzduší je průmyslová činnost, doprava a s nimi spojená spotřeba fosilních paliv a v některých oblastech i sopečná činnost, případně srážky poblíž moří (Vaněk a kol., 2012).

Česká republika byla známá jako síru emitující země od roku 1950 až do počátku roku 1990. Například v roce 1991, byla v Praze naměřena emise 394 kg S/ha, na severu Čech 484 kg S/ha z důvodu neodsířených tepelných elektráren a ve zbytku České republiky dosáhly emise téměř 100 kg S/ha. Nové technologie podniků emise síry snížily. V současné době se emise pohybují přibližně 15 - 30 kg S/ha. Je možné z toho odvodit, že tato změna by mohla výrazně ovlivnit celkový obsah S v půdě. Tyto závěry pochází z výzkumu, kde bylo cílem práce odhadnout změny v obsahu různých frakcí síry (S) v půdě za podmínek snížení vstupů síry emisemi spolu s vlivem chlévského hnoje a minerálních hnojiv. Půdní vzorky byly odebrány v letech 1981 a 2007 na deseti různých místech v České republice. Během 26 let bylo pozorováno v ornici hodnocených půd snížení celkového množství síry o cca 3 - 8 %, ve vodě rozpustné síry o 65 až 68 %, a sorbované síry o 39 - 44 %. Dále bylo pozorováno mírné zvýšení obsahu organické síry. Odhadovaný poměr organické síry dosáhl 78,7 - 80,9 % z celkového množství síry v roce 1981 a 87,7 až 89,8 % v roce 2007. Chlévský hnůj (40 t / ha) aplikovaný každé 4 roky neměl významný vliv na frakce síry a celkový obsah síry v půdě, intenzivní hnojení anorganickou sírou zvýšilo celkové množství síry v půdě. Velmi úzká korelace byla získána zejména mezi celkovým množstvím síry a rozpustnou formou síry a organickou sírou (Balík a kol., 2009).

Dnes (v roce 2012) je již obsah síry z ovzduší pod 10 kg S/ha/rok, a proto musí být věnována pozornost dodání síry do půdy ve formě hnojiv jako v řadě jiných zemí, kde je hnojení sírou již považováno za běžné agrotechnické opatření. Existují však ještě rozdíly

v zatížení měřenými emisemi v jednotlivých oblastech České republiky. Jakmile hodnota síry z ovzduší v humidnějších oblastech klesne pod 15 kg S/ha/rok, je nutné sírou hnojit. Rozhodujícím hlediskem pro množství hnojení sírou je přísun síry z ovzduší a množství dešťových srážek (Vaněk a kol., 2012).

Broadbalský experiment ukázal, že množství mineralizace síry v půdě je primárně řízeno množstvím uhlíku. Jak změny ve využívání půdy, tak dlouhodobé organické hnojení má značný vliv na koloběh organického uhlíku, což má velký vliv i na koloběh síry. Přestože podíl SO_4^{2-} z anorganických hnojiv a z atmosférické depozice byl začleněn do půdní organické síry v orné půdě, roční aplikace síranu po více než 150 let měla jen malý vliv na krátkodobé množství síry. Transformace síry byla monitorována v souboru ornice, travní půdy a lesní půdy v Broadbalském dlouhodobém experimentu, který byl založený v roce 1843. V otevřeném inkubačním pokusu s periodickým louhováním bylo mineralizováno 14 - 35 mg SO_4^{2-} S/kg po 28 týdnech při 25 °C, to odpovídá ekvivalentu 4,4 - 8,3 % půdní organické síry. Kumulativní množství mineralizované síry vzrostlo lineárně během 28 týdnů, poté byla indikována konstantní míra mineralizace. Míra mineralizace byla největší v lesní půdě následována travní půdou a ornou půdou s chlévským hnojem. Tři vzorky půdy hnojené pouze minerálními hnojivy vykazovaly podobnou míru mineralizace síry. V inkubačním pokusu s SO_4^{2-} přidání glukózy velice obohatilo imobilizaci síry. Za 132 dní, lesní půda a travní půda imobilizovaly více síry než orná půda, a to s nebo i bez přídavku glukózy. Imobilizace a mineralizace síry probíhaly současně a obě byly stimulovány přidáním glukózy. Výsledky ukazují, že mineralizace a imobilizace síry byly silně ovlivněny způsobem zpracování půdy a intervalu organického hnojení, zatímco každoroční aplikace minerálních hnojiv se síranovou formou S po více než 150 let měla na krátkodobou transformaci síry menší vliv (Knights et al., 2001).

V horizontu posledních 30 let došlo k výraznému poklesu obsahu minerálních forem síry v půdě, a to o více než 50 %. To se týká především síry v půdním roztoku, která je rozhodující formou pro příjem rostlinami. Proto se v porostech plodin náročných na síru stále častěji projevují nedostatky tohoto prvku a hnojení sírou se stává stále aktuálnější problémem. Pro optimalizaci hnojení sírou je důležité získat přehled o různých frakcích síry v půdě i v rostlině. K základním analýzám patří stanovení síry ve vodném výluhu, které udává přehled o mobilních síranech v půdě. Hodnoty obsahu síry v půdě stanovené vodným výluhem do 8 mg S/kg lze považovat za nízké. Naopak vzhledem k tomu, že pro rostlinu nejsou toxické ani hodnoty přesahující stovky mg/kg mobilní síry v půdě, je výskyt nadbytku síry v rostlině v aktuálních podmínkách České republiky nepravděpodobný. K odstranění

nedostatků síry je v současné době k dispozici celá řada hnojiv. Částečně je možné ztráty síry eliminovat i použitím organických hnojiv, jako je hnůj, rostlinné zbytky nebo čistírenské kaly. Jen aplikace samotných organických hnojiv nestačí k eliminaci ztrát síry z půdy, a proto je v současné době nutné přikročit k aplikaci síry v minerálních hnojivech. Aplikace hnojiva se sírou ve formě CaSO_4 se pozitivně projevila na zvýšení obsahu mobilní S v půdě i na výnosech (Kulhánek a kol., 2013).

4.5.1 Síra v rostlinách

Požadavek na obsah síry pro optimální růst rostlin se pohybuje mezi 0,1 až 0,5 procenty z hmotnosti sušiny rostlin (Kulhánek a kol., 2013).

Síra je přijímána rostlinami převážně jako síranový aniont (SO_4^{2-}) z půdy. Vlastní příjem je poměrně málo ovlivňován ostatními ionty v půdním roztoku i půdními vlastnostmi. Rozhodující je obsah síranového aniontu v půdě, kam se dostává hnojivy, z ovzduší spadem a z půdních zásob. Síra se v půdě postupně uvolňuje z méně rozpustných sloučenin, včetně organických, a je oxidována až na sírany, které jsou hlavním zdrojem síry pro rostliny (Vaněk a kol., 2007).

Síra je přijímána nejčastěji kořeny rostlin z půdního roztoku jako dvojmocný aniont SO_4^{2-} . Příjem síry je nejrychlejší při pH 4,0 a snižuje se s rostoucím pH (Scherer, 2001).

Síra je aplikována zpravidla do půdy. Může však být aplikován i foliárně. Foliárně aplikovaná síranová forma síry se do listů dostává velmi rychle. K listové aplikaci je možné využít např. hořkou sůl. Lepších výsledků je však dosahováno s listově aplikovanou elementární sírou (Kulhánek a kol., 2013).

Rostliny jsou schopny využívat i SO_2 z ovzduší, ovšem jen určitou část své potřeby (asi do 30 % celkové potřeby). Při malé koncentraci SO_2 v ovzduší a nedostatku SO_4^{2-} v půdě je využití vyšší a působí příznivě, ale od koncentrací 1 - 1,5 mg SO_2 v 1 m³ působí již poškození rostlin. Vzhledem k tomu, že k poškození rostlin přispívají i další složky emisí, které se do ovzduší dostávají s SO_2 , může k poškození dojít i při podstatně nižší koncentraci (Vaněk a kol., 2007).

Síra je v rostlinách poměrně dobře pohyblivá, je transportována hlavně do mladých listů a meristémů. V rostlinách se hromadí ve formě síranu, které slouží jako zásobní látka. Podle potřeby rostliny síran redukují (na H_2S) a zabudovávají do organických sloučenin. Bylo zjištěno, že obsah SO_4^{2-} v rostlinách je dobrým ukazatelem zásobenosti rostlin sírou - nedostatek síry se projevuje většinou, když obsah síry klesne pod 100 mg/kg v sušině (0,01

%). Celkový obsah síry v pletivech rostlin se pohybuje kolem hodnot 0,2 - 0,5 % v sušině. Počínající nedostatek síry u většiny plodin je kolem 0,2 % (Vaněk a kol., 2012).

4.5.2 Nároky plodin na síru

Požadavky a celková potřeba síry je rozdílná podle jednotlivých skupin rostlin. Odpovídá tomu i obsah tohoto prvku v rostlinách, který se pohybuje v rozmezí 0,1 - 0,5 % síry v sušině. Lze konstatovat, že nejvyšší nároky na síru mají rostliny produkující více bílkovin, silic a pryskyřice - tedy řepka a brukvovité zeleniny, chmel, jeteloviny, cibule a česnek a nejnižší obilniny. Těmto nárokům odpovídá i obsah síry v jejich semenech, který se pohybuje u brukvovitých mezi 1,1 - 1,7 %, u bobovitých 0,25 - 0,3 % a u obilnin 0,18 - 0,19 % v sušině (Vaněk a kol., 2007).

Scherer (2001) uvádí, že celkový požadavek rostlin na síru se liší především v závislosti na druhu plodin a jejich vývojovém stadiu.

U rostlin náročných na síru, jako je řepka a zelí, činí odběr 40 až 70 kg S/ha, u krmných leguminóz 15 - 25 kg S/ha, a u obilnin se pohybuje mezi 12 - 15 kg S/ha. K těmto požadavkům je nutné přihlížet, a pokud stanoviště neposkytuje dostatek síry, je žádoucí dodat chybějící síru v minerálních hnojivech (Vaněk a kol., 2012).

4.5.3 Hnojiva obsahující síru

V současnosti je na trhu nabízeno velké množství hnojiv obsahujících síru. Síra se v těchto hnojivech obvykle vyskytuje jako síran, elementární síra nebo sulfid. Mezi celosvětově nejčastěji používaná hnojiva patří síran amonný, síran draselný, síran hořečnatý, sádrovec a elementární síra.

Síran amonný je N - S hnojivo, které obsahuje kromě 21 % dusíku také 24 % síry. Význam přímé aplikace síranu amonného vzrostl s jeho granulací a možností jeho současné aplikace s dalšími granulovanými jednosložkovými hnojivy. Granulačním pojivem je přídavek 14 % ledku vápenatého. Granulovaný síran amonný pak obsahuje 1,4 % nitrátového dusíku a kolem 2,5 % vápníku, což má příznivý vliv na počáteční růstové fáze, popřípadě na výměnnou půdní reakci.

Síran draselný - hnojivo obsahující kromě 42 % draslíku přibližně 17 % síry je rovněž hnojivo vhodné pro doplnění síry do půdy. Zároveň je možné ho využít k doplnění draslíku k plodinám nesnášejícím chlór z draselných solí, kamexu či kainitu. Dostupný je běžně v práškové nebo i granulované formě.

Elementární síra je v současné době intenzivně testována jako perspektivní vysoce koncentrované minerální hnojivo, doporučené především pro hnojení sírou na alkalických půdách. Udává se, že při aplikaci tohoto hnojiva dochází ke snížení pH půdy a tím uvolnění vápníku vázaného ve fosforečnanech, a tedy i zpřístupnění fosforu pro rostliny. Další výhodou používání elementární síry je její pozvolná oxidace, a tím i minimalizace rizik spojených s vyplavováním SO_4^{2-} iontů do spodních vrstev půdy. Čím je částice elementární síry v půdě menší, tím rychleji dochází k její oxidaci. Rychlost oxidace však záleží i na dalších faktorech jako je např. mikrobiální aktivita sirných bakterií, úroveň kontaktu hnojiva s půdou, pH a stupeň aerace půdy. Nezanedbatelnou výhodou elementární síry jsou menší náklady na manipulaci a transport vycházející z vysoké koncentrace síry v tomto hnojivu.

Hořká sůl je hnojivo, které obsahuje 10 % hořčíku (Mg) a kolem 12 % S. Je to hnojivo snadno rozpustné a je tedy ho možno použít k foliární aplikaci.

Jednoduchý superfosfát byl dříve hojně používaným hnojivem obsahujícím kromě přibližně 8 % fosforu (P) i stejný podíl síry (8 až 12 %). Ta je zde obsažena v hůře přístupné formě síranu vápenatého.

Síran vápenatý - sádra obsahuje kolem 17 % síry. Jedná se však o síru poměrně špatně dostupnou rostlinám. Dá se tedy z hlediska síry považovat za hnojivo spíše dlouhodobě působící.

Kieserit obsahuje 14 až 15 % Mg a 18 % S. Jedná se o velmi dobrý zdroj síry a hořčíku. Obsahuje síru ve formě síranu hořečnatého, a proto je vhodný pro většinu půd České republiky, kde je běžný i nedostatek hořčíku. Jedná se o hnojivo velmi vhodné do půd středních až těžších s vyšším pH a s nízkou zásobou hořčíku a dobrou zásobou draslíku.

Ostatní dusíkatá hnojiva se sírou - jejich základ zpravidla tvoří dusičnan amonný, obsahují přídavek síranu amonného nebo vápenatého např. DASA obsahující 13 % síry v síranu amonném, nebo LAS se 6 % síry síranu vápenatém. V praxi hojně používaným hnojivem je roztok síranu amonného s močovinou, který obsahuje 24 % dusíku a 6 - 8 % S. Dále existují hnojiva s pomalým uvolňováním živin (Kulhánka kol., 2013).

4.5.4 Vlivy různého hnojení na síru a další prvky

Statková hnojiva (chlévkový hnůj) a aplikace minerálních hnojiv jsou důležitými opatřeními, používanými ke zlepšení stavu živin a organické hmoty v půdě, a tím zvyšujícími produktivitu plodin a sekvestraci uhlíku. Celkové množství C a N v půdách se zvýšilo při přidání statkových hnojiv, tento nárůst však nebyl zaznamenán u aplikace minerálních hnojiv.

Nárůst celkového množství S byl zjištěn jen při vysoké dávce statkového hnojiva (60 t/ha). Lze tedy říci, že dlouhodobé používání velkého množství statkových hnojiv má za následek akumulaci C, N a S v půdě (Yang et al., 2006).

Vysoké dávky hnoje vyústily ve vyšší podíl mikrobiální biomasy v půdě ve srovnání s aplikací minerálních hnojiv (NK). Aplikace vyšší dávky statkových hnojiv měla vliv na akumulaci celkové síry, celkové organické S a síry přímo vázané na uhlík v půdě, zatímco minerální hnojiva (NPKS), (NK) a střední dávka statkových hnojiv nezvýšila akumulaci celkové S ani organické S. Akumulace síry byla závislá na typu minerálního hnojení a dávce statkových hnojiv (Yang et al., 2007).

Dzida (2010) popisuje vliv dávky 6 a 12 g/dm³ CaCO₃ v rašelině na rostliny bazalky. Uhličitan vápenatý měl vliv na obsah celkového dusíku v substrátu, ale neměl vliv na obsah dusíku v rostlině. CaCO₃ měl vliv na obsah vápníku a draslíku v rostlině. Dvojitá dávka způsobila pokles Ca a K v rostlině. Rozdíly v obsahu síry v závislosti na množství dodaného CaCO₃ byly pouze malé.

Vyšší průměrná koncentrace soli 2,37 mS/cm byla získána při nižší dávce CaCO₃, kdy byly nalezeny následující hodnoty v substrátu: 186 mg N - NO₃⁻/dm⁻³, 540 mg K/dm⁻³, 813 mg S - SO₄⁻²/dm⁻³ a 187 mg Cl/dm⁻³. Nižší koncentrace soli (2,08 mS/cm) byla zjištěna v substrátu s vyšší dávkou CaCO₃, kdy byly naměřeny následující hodnoty v substrátu: nižší obsah dusičnanů (177 mg/dm⁻³), K (396 mg/dm⁻³), S (738 mg/dm⁻³) a Cl (178 mg/dm⁻³). Po analýze substrátu byl zjištěn významný vliv CaCO₃ dávky na koncentrace draslíku a vápníku. Nižší obsah draslíku byl získán u variant s vyšší dávkou uhličitanu vápenatého. Vyšší množství vápníku bylo stanoveno tam, kde byla použita nižší dávka CaCO₃. Dávka uhličitanu vápenatého výrazně vedla k výrazné diferenciaci obsahů N-NO₃⁻, P, K v bazalce. Koncentrace soli ve sledovaném substrátu byly obecně diferencovány v závislosti na koncentraci jednotlivých živin v substrátu (Dzida, 2010).

5. Metodika a materiál

5.1 Metodika práce

Metodika navazuje na pokusy z let 2011 a 2012, kde byly používány různé poměry digestátu s rašelinou u různých zahradních rostlin. Nejvhodnější parametry v letech 2011 a 2012 vykazovala zpravidla rašelina s 5 a 10 % digestátu, hodnota pH zde však byla stále nízká. Proto byl v těchto pokusech přidáván v různých poměrech dolomitický vápenc. Hodnoceny byly varianty uvedené v následující tabulce 1. Nádobové pokusy ve sklenících ČZU byly založeny a sklizeny v termínech uvedených v tabulce 2. Rostliny byly vždy zasazeny do nádob se substrátem o objemu 1,5 l a to gazanie zářivá (*Gazania rigens*, L.) - 1 rostlina, máta peprná (*Mentha piperita*, L.) - 1 sazenice, bazalka pravá (*Ocimum basilicum*, L.) - 4 rostliny. Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních. Pokusy byly dle potřeby zalévány.

Tab. 1: Varianty pokusu s neseparovaným digestátem a dolomitickým vápencem

Var.	Substrát
1	pěstební substrát B
2	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 3 g/l dolomitického vápence
3	rašelina + 5 % ND (namícháno objemově) + 6 g/l dolomitického vápence
4	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 3 g/l dolomitického vápence
5	rašelina + 10 % ND (namícháno objemově) + 6 g/l dolomitického vápence

Var. - varianta

ND - neseparovaný digestát

Tab. 2: Termíny založení a sklizně pokusů v roce 2014

	Založeno	Sklizeno
Bazalka pravá	19.4.	17.6.
Gazanie zářivá	25.4.	12.7.
Máta peprná	30.5.	2.7.

Jako kontrolní varianta byl použit běžný typ pěstební substrátu - pěstební substrát B od firmy Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR (dále jen Pěstební substrát B). Na namíchání pěstebních substrátů s digestátem byla použita rašelina od téže firmy. Neseparovaný digestát

byl dodán z bioplynové stanice ZD Krásná Hora nad Vltavou, a.s. (Středočeský kraj, okres Příbram). Vstupním substrátem pro výrobu bioplynu je zde kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž. Pro úpravu hodnoty pH byl použit dolomitický vápenec - minimálně 22 % Ca a 10 % Mg (firma Engelhard GmbH, Ammerthal, Německo). Další základní charakteristiky vstupních substrátů jsou uvedeny v tabulce 3.

Tab. 3: Charakteristiky vstupních substrátů: průměrný obsah sušiny, přístupné živiny stanovené metodou CAT a hodnoty pH (0,01 mol/l CaCl₂)

Varianta	Sušina	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	P	K	Ca ¹⁾	Mg	S	pH
	%	mg/l čerstvé hmoty							
ND	5,3	15,2	1600	319	3260	1308	507	71,3	7,7
Rašelina	39,6	0,5	4,3	1,2	11,3	1,6	0,4	1,6	3,8
Pěst. substr. B	48,7	42	38	20	273	1894	449	512	5,8

¹⁾ Stanoveno ve vodném výluhu 1/5 w/v

ND - neseparovaný digestát

5.2 Provedené analýzy

U všech pokusů byly jako základní analýzy provedeny následující:

- stanovení objemové hmotnosti substrátů před i po sklizni
- podíl sušiny substrátů před i po sklizni
- hmotnost čerstvé nadzemní hmoty sklizených rostlin (u gazání i počet květů)
- podíl sušiny nadzemní hmoty sklizených rostlin

5.2.1 Stanovení obsahu makroprvků extrakcí CAT

Dostupnost či obsah vybraných půdních živin a prvků se stanovuje dle normy EN 13651. Tato evropská norma popisuje extrakční metodu pro stanovení živin a prvky extrahovatelné s chloridem vápenatým / DTPA (diethylentriaminpentaoctová kyselina). Norma není vhodná pro stanovení vápníku. Zkušební vzorek se extrahuje při pokojové teplotě s roztokem 0,01 mol/l CaCl₂ a 0,002 mol/l DTPA v poměru 1 : 5 (v/v). Tato norma se používá v několika evropských zemích, aby prověřila dostupnost makroprvků v druhotných surovinách, biologickém odpadu, půdě či pěstebních substrátech. Obsah amonného a nitratového dusíku ve vstupních substrátech byl měřen fotometricky přístrojem SKALAR

SAN⁺⁺ SYSTEM, obsah fosforu rovněž fotometricky přístrojem SKALAR, obsahy K a Mg pomocí atomového absorpčního spektrometru (AAS VARIAN VISTA^{PRO}) a obsah S ve všech substrátech byl měřen optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP - OES).

5.2.2 Stanovení hodnoty pH, vodivosti a obsahu síry v substrátu ve vodném výluhu

Pro stanovení hodnoty pH bylo naváženo v přepočtu 10 ml čerstvého substrátu a přidáno 50 ml demineralizované vody. Vzorky reagovaly s roztokem po dobu 2 hod. (1 hod. třepání, 1 hod. ustálení). Po ustálení proběhlo měření aktivního pH a vodivosti přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“. Po změření hodnoty pH a vodivosti v suspenzi byly extrakty zfiltrány. Získané filtráty byly využity pro další měření. Obsah S byl měřen optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP - OES).

5.2.3 Obsah síry v nadzemní hmotě rostlin

Bylo naváženo 0,15 g (\pm 0,005 g) namletého materiálu. Ten byl rozložen pomocí mikrovlnného rozkladu (Ethos 1, Advanced Microwave Digestion System) v prostředí koncentrované kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek byl poté naředěn a analyzován optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP - OES).

5.3 Vyhodnocení výsledků

Pro základní popisné charakteristiky byl použit software Excel (2010). K podrobnější statistické analýze (ANOVA) byl využit program Statistica (StatSoft, 2009).

6. Výsledky

6.1 Vstupní rozbory

V tabulkách 4, 5 a 6 jsou uvedeny výsledky vstupních rozborů.

V tabulce 4 jsou uvedeny charakteristiky substrátu z hlediska sušiny, objemové hmotnosti vlhkého substrátu, dále jsou v tabulce uvedeny hodnoty pH a elektrická vodivost. Největší obsah sušiny (46,7 %) byl naměřen u substrátu č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Méně sušiny (45,7 %) měl substrát č. 3 (rašelina + 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Substráty s rašelinou a s 10 % ND vykazovaly nejméně sušiny (41,8 % a 41,6 %). Samostatný neseparovaný digestát vykazoval velmi nízkou hodnotu sušiny (5,30 %). U rašeliny byla naměřena sušina 39,6 %. Obsahy sušiny ve všech zkoumaných vzorcích vyšly téměř srovnatelné s obsahem sušiny u pěstebního substrátu B (44,1 %). Hodnoty obsahu sušiny s narůstajícím podílem neseparovaného digestátu a s vyšším podílem dolomitu v substrátu klesaly.

Objemová hmotnost pěstebního substrátu B byla 522 g/l. Nejnížší hodnota zkoumaných variant objemové hmotnosti byla naměřena u varianty rašelina s 5 % ND + 3 g/l dolomitu (409 g/l), což je o 113 g/l méně než u kontrolní varianty - pěstebního substrátu B. Druhá nejnižší hodnota (415 g/l) byla u varianty rašelina s 5 % ND + 6 g/l dolomitu. Pěstební substrát rašelina s 10 % ND a s 3 g/l dolomitu měl 436 g/l objemové hmotnosti. Nejvyšší hodnota objemové hmotnosti vyšla u substrátu rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu (458 g/l). Hodnoty objemové hmotnosti se zvyšovaly s narůstajícím podílem ND a s vyšším podílem dolomitu. Celkově ale byly všechny hodnoty zkoumaných čtyř variant nižší, než u kontrolního substrátu, což je pozitivní výsledek.

Dalším měřeným parametrem byla hodnota aktivního pH. Nejvyšší hodnota (5,8) byla naměřena u substrátu s rašelinou + 10 % ND + 6 g/l dolomitu. Hodnota pH 5,5 byla zjištěna u substrátu rašelina s přídatkem 10 % ND a s 3 g/l dolomitu. Substrát rašelina s 5 % ND + 6 g/l dolomitu vykazoval hodnotu pH 5,3. Nejnižší hodnota pH 5,2 byla naměřena u vzorku č. 2 (rašelina s přídatkem 5% ND + 3 g/l dolomitu), která je totožná s pěstebním substrátem B. Hodnoty všech variant jsou srovnatelné s kontrolním substrátem. Samostatný neseparovaný digestát měl hodnotu pH 7,7 a samostatná rašelina dosáhla pH 3,8. Hodnoty pH s narůstajícím podílem neseparovaného digestátu a s vyšším podílem dolomitu se v substrátu zvyšovaly.

Posledním parametrem v tabulce č. 4 je elektrická vodivost - zasolenost. Kontrolní substrát měl elektrickou vodivost 0,65 mS/cm. Nejnižší elektrickou vodivost vykazovaly substrát č. 2 a substrát č. 3 (0,12 a 0,11mS/cm) a o něco vyšší elektrická vodivost byla

naměřena u variant č. 4 a č. 5 (0,18 a 0,20 mS/cm). Hodnoty elektrické vodivosti jsou u všech variant do 1,20 mS/cm, substráty tedy nebyly zasoleny. Vyšší elektrická vodivost se tedy projevila u vzorků s vyšším přídatkem ND.

Tab. 4: Vstupní charakteristiky substrátu

Varianta	Sušina	OHV	pH _{H₂O}	EC
	%	g/l		mS/cm
1.	44,1	522	5,2	0,65
2.	46,7	409	5,2	0,12
3.	45,7	415	5,3	0,11
4.	41,8	436	5,5	0,18
5.	41,6	458	5,8	0,20

OHV - objemová hmotnost vlhkého (čerstvého) substrátu)

EC - electric conductivity = zasolenost

V tabulce 5 jsou zaznamenány vstupní charakteristiky makroprvků v substrátech. Samotná rašelina měla nejnižší hodnoty všech makroprvků, je tedy z hlediska obsahu živin velmi chudá. Oproti rašelině samostatný digestát má dostatek většiny makroprvků (kromě nitrátového dusíku a hořčíku). Oproti pěstebnímu substrátu B bylo ve všech zkoumaných variantách velmi málo nitrátového dusíku (N - NO₃⁻). Kontrolní substrát obsahoval 41,7 mg/l N - NO₃⁻. Nejvíce (8,60 mg/l N - NO₃⁻) bylo ve variantě č. 3 (rašelina s 5 % ND a s 6 g/l dolomitu). V substrátu rašelina s 10 % ND a s 6 g/l dolomitu bylo naměřeno 7,20 mg/l N - NO₃⁻. Nejnižší hodnoty nitrátového dusíku byly naměřeny ve variantách č. 2 a č. 4 (5,60 mg/l). Rašelina obsahovala 0,50 mg/l N - NO₃⁻ a samotný ND 15,2 mg/l nitrátového dusíku. U substrátů s vyšší dávkou dolomitu (6 g/l) byly hodnoty nitrátového dusíku vyšší oproti variantám s 3 g/l dolomitu. Nízký obsah nitrátového dusíku nelze předběžně považovat za nevýhodný, jelikož větší množství amonného dusíku v digestátu bude pravděpodobně postupně mineralizovat na dusík nitrátový.

Kontrolní varianta pěstební substrátu B obsahoval 37,7 mg/l amonného dusíku (N - NH₄⁺). Substrát rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu (473 mg/l) obsahoval 12,5x více amonného dusíku než kontrolní substrát. Nejméně N - NH₄⁺ bylo u substrátu č. 2 (181 mg/l), což je stále 5x více než u kontrolního substrátu. Neseparovaný digestát obsahoval 1600 mg/l amonného dusíku, což je 372x více než u samotné rašeliny (4,30 mg/l N - NH₄⁺). Hodnoty amonného dusíku s narůstajícím přídatkem ND a dolomitu stoupaly.

Nejvyšší hodnota draslíku (K) (596 mg/l) vyšla u varianty č. 5 (rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu). Nejméně draslíku (220 mg/l) bylo obsaženo v substrátu č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). V pěstebním substrátu B bylo naměřeno 273 mg/l K. Rašelina obsahovala 11,3 mg/l draslíku a neseparovaný digestát 3260 mg/l K. Hodnoty draslíku u substrátů s 5 % ND měly 2,5x méně K než substráty s 10 % ND. Obsahy draslíku s narůstajícím přídatkem ND a dolomitu stoupaly.

Dalším sledovaným prvkem byl hořčík (Mg). Pěstební substrát B obsahoval 449 mg/l hořčíku. Této hodnoty žádná ze zkoumaných variant nedosáhla. Ze zkoumaných variant měla nejvíce hořčíku varianta č. 5 (247 mg/l) a nejméně varianta č. 2 (171 mg/l). Rašelina obsahovala 0,40 mg/l Mg a ND 507 mg/l hořčíku. Množství hořčíku v substrátech bylo dostačující, ale mohlo by být ještě zvýšeno přídatkem větší dávky dolomitu. Hodnoty hořčíku s narůstajícím přídatkem ND a dolomitu stoupaly.

Dalším zkoumaným prvkem v tabulce č. 5 byl fosfor (P). U pěstebního substrátu B bylo zjištěno 19,9 mg/l fosforu. Nejméně fosforu (34,0 mg/l) bylo naměřeno u substrátu rašelina s 5 % ND a 6 g/l dolomitu. Varianta č. 5 (rašelina s 10 % ND a 6 g/l dolomitu) obsahovala 92,5 mg/l P. Samotná rašelina vykazovala 1,20 mg/l P a ND obsahoval 319 mg/l P. Větší množství fosforu je u variant s vyšším množstvím ND.

Metodou CAT byl stanoven rovněž obsah přístupné síry (S). Tato metoda nám udává obsah síry, která je vázaná na povrch substrátu a je potencionálně přístupná rostlinám. V pěstebním substrátu byl naměřen obsah 456 mg síry/l. Rašelina měla naměřeno 1,60 mg/l síry a samotný neseparovaný digestát obsahuje 71,3 mg/l síry. V substrátech s podílem digestátu byly naměřeny vždy nižší hodnoty. Varianta č. 5 vykazovala obsah 46x menší síry než kontrolní substrát (9,80 mg/l) a nejnižší obsah síry měla varianta č. 3 (5,90 mg/l). Množství síry by tedy bylo třeba zvýšit. Větší množství S bylo dosaženo u vzorků s vyšším podílem ND.

Tab. 5: Vstupní charakteristiky obsahu prvků v substrátech stanovené metodou CAT v čerstvé hmotě

Varianta	N-NO ₃ ⁻	N-NH ₄ ⁺	K	Mg	P	S
	mg/l					
1.	41,7	37,7	272,6	449,3	19,9	455,8
2.	5,6	180,5	220,3	170,6	37,4	6,2
3.	8,6	193,7	225,4	183,9	34,0	5,9
4.	5,6	425,3	532,2	187,8	80,7	8,7
5.	7,2	472,9	596,2	247,0	92,5	9,8

V tabulce 6 je znázorněn obsah síry v substrátech extrahovaných vodným výluhem 1 : 5. Tato metoda nám ukazuje aktuální přístupnou síru v půdním roztoku. U pěstebního substrátu B byl naměřen obsah 361 mg síry/l. Všechny zkoumané varianty vykazovaly ve srovnání s pěstebním substrátem B menší obsah síry. Nejvyšší obsah síry (15,6 mg/l) měla varianta č. 5 (rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu). Nejméně síry (8,30 mg/l) měla varianta č. 3 (rašelina + 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Pro zvýšení obsahu síry na úroveň pěstebního substrátu B je tedy přidání ND nedostačující.

Tab. 6: Vstupní charakteristika obsahu síry v čerstvé hmotě substrátů stanovený vodným výluhem 1 : 5

Varianta	S (mg/l)
1.	361
2.	9,9
3.	8,3
4.	13,8
5.	15,6

6.2 Posklizňové rozbory substrátů

V tabulce 7 jsou základní charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty bazalky právě po sklizni pokusu. U substrátu byla zjišťována procenta sušiny a objemová hmotnost vlhkého vzorku. U nadzemní hmoty byla sledována čerstvá hmota, sušina a počet rostlin. Hodnoty pro všech 5 variant byly vždy měřeny ve čtyřech opakováních a následně byl v každé variantě z hodnot vypočten průměr. V programu statistiky byl dále proveden ANOVA test. Varianta č. 1 je kontrolní - pěstební substrát B. Zbylé čtyři varianty jsou zkoumané substráty s různým podílem neseparovaného digestátu (ND) a různým množstvím dolomitického vápence.

Z hlediska obsahu sušiny vyšla u kontrolního substrátu hodnota 52,0 %. U zkoumaných substrátů vyšla nejvyšší hodnota sušiny (67,0 %) u vzorku č. 3 (rašelina + 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Nejnižší procentuální obsah sušiny u substrátu (42,0 %) byl u varianty č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Rozdíly v obsahu sušiny mezi variantami však nebyly statisticky průkazné.

Dalším sledovaným parametrem byla objemová hmotnost vlhkého vzorku. Pěstební substrát B dosáhl hodnoty 696 g/l. Nejnižší hodnoty (454 g/l) dosáhl substrát č. 3 (rašelina + 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Nejvyšší hodnoty (774 g/l) naopak dosáhl substrát č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Mezi variantami však nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

U pěstební substrátu B byla naměřena čerstvá nadzemní hmota rostlin 47,3 g. Z testovaných substrátů dosáhl nejvyšší hodnoty čerstvé hmoty substrát č. 5 (23,4 g), což je 2x méně než kontrolní substrát. Nejnižší hodnota byla naměřena u substrátu č. 2 (8,05 g). Všechny zkoumané varianty byly 2x až 6x menší než hodnoty pěstební substrátu B. Varianty s vyšším přídatkem dolomitu (6 g/l) měly vyšší hodnoty čerstvé hmotnosti ve srovnání se vzorky s nižším přídatkem dolomitu (3 g/l). Hmotnost nadzemní hmoty bazalek pěstovaných v kontrolním substrátu byla statisticky průkazně vyšší než u testovaných variant s podílem digestátu.

Hodnoty sušiny nadzemní hmoty u kontrolní varianty byly 7,90 g. Ze zkoumaných substrátů byl kontrolnímu vzorku nejbližší substrát č. 5 (3,20 g sušiny). Nejnižší hodnota (0,90 g) byla naměřena u substrátu č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu), což je o 7,00 g méně oproti kontrolnímu vzorku. Hmotnosti sušin zkoumaných variant byly 2,5x - 9x nižší než u varianty č. 1. Varianty s vyšším přídatkem dolomitu (6 g/l) vykazovaly nižší hodnoty sušiny a substráty s nižším přídatkem dolomitu (3 g/l) měly vyšší hodnoty sušiny. Rozdíly v hmotnosti sušiny nadzemní hmoty byly statisticky průkazné. Hmotnost sušiny bazalek pěstovaných v kontrolním substrátu byla statisticky průkazně vyšší než u testovaných variant s podílem digestátu.

Procentický obsah sušiny bazalky byl u pěstební substrátu B 17,0 %. Z testovaných variant měl nejvyšší obsah sušiny (27,0 %) substrát č. 4 (rašelina s 10 % ND + 3 g/l dolomitu). Nejnižšího obsahu (16,0 %) dosáhla varianta č. 3 (rašelina s 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Varianty, které měly v substrátu nižší podíl dolomitu, vykazovaly vyšší hodnoty procentického obsahu sušiny ve srovnání se vzorky s vyšším podílem dolomitu. Mezi variantami nebyl zjištěn statisticky průkazný rozdíl.

Plný počet rostlin (4 rostliny) vyrostl pouze u kontrolního substrátu a u varianty č. 3. V substrátu č. 4 vyrostla jen 1 rostlina. Nižší množství digestátu a vyšší množství dolomitu

mělo vliv na vyšší počet. Počet rostlin u variant 1 a 3 byl statisticky průkazně vyšší, než u varianty 4. Varianty 2 a 5 se od sebe statisticky průkazně nelišily.

Tab. 7: Bazalka pravá - charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty

Průměry variant	Substrát		Nadzemní hmota			
	Sušina	OHV dopočtená	Čerstvá hmota	Sušina	Sušina	Počet rostlin
	%	g/l	g	g	%	ks
Varianta č. 1	52	696	47,3 ^{a*}	7,9 ^a	17	4 ^a
Varianta č. 2	42	774	8,05 ^b	0,9 ^b	22	2 ^{ab}
Varianta č. 3	67	454	16,6 ^b	2,6 ^b	16	4 ^a
Varianta č. 4	49	564	8,87 ^b	1,6 ^b	27	1 ^b
Varianta č. 5	45	609	23,4 ^b	3,2 ^b	18	2 ^{ab}
F-test	3,92	2,67	10,32	13,16	0,58	5,86
hladina významnosti	ns	ns	0,01	0,01	ns	0,01

OHV - objemová hmotnost vlhkého vzorku

ks - počet kusů

ns - nesignifikantní rozdíly mezi variantami

* varianty označené různými písmeny se od sebe statisticky průkazně liší

V tabulce 8 jsou uvedeny následující parametry: hodnoty pH, elektrická vodivost, obsah síry v substrátech stanovené různými metodami a obsah síry v nadzemní hmotě u bazalky pravé.

Nejvyšší hodnota aktivního pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) (5,4) vyšla u substrátu č. 5 (rašelina s 10 % ND a s 6 g/l dolomitu). Nejnižší hodnoty pH dosáhla varianta č. 2 (4,9). Všechny hodnoty pH byly téměř shodné s kontrolním vzorkem, u kterého byla hodnota pH 5,2. Se zvyšujícím se přídatkem ND a dolomitu se hodnoty pH zvyšovaly. Rozdíly hodnot pH u sledovaných substrátů byly statisticky průkazné. Varianty č. 3 a č. 4 byly srovnatelné s kontrolním substrátem. U varianty č. 2 byla hodnota pH statisticky průkazně nižší a u varianty 5 tomu bylo naopak.

Kontrolní substrát dosáhl hodnoty výměnného pH ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) 4,7. Nejvyšší hodnoty (4,8) dosáhl substrát č. 5. Nejmenší hodnota (3,9) vyšla u substrátu č. 2. Vyšší množství dolomitu mělo vliv na stoupající hodnoty pH. Rozdíly u variant byly statisticky významné. Výměnné pH bylo statisticky průkazně vyšší u substrátu č. 1 a č. 5. Naopak varianta č. 2 měla hodnotu nejnižší. Varianty č. 3 a č. 4 se od sebe statisticky průkazně nelišily.

Sledování elektrické vodivosti ukázalo, že pěstební substrát B dosáhl statisticky průkazně nejvyšší hodnoty, a to 0,41 mS/cm. Ze zkoumaných variant měl nejnižší hodnotu (0,10 mS/cm) substrát č. 3 a nejvyšší naměřená elektrická vodivost (0,18 mS/cm) byla u substrátu rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu. Všechny zkoumané substráty měly nižší hodnoty elektrické vodivosti ve srovnání s pěstebním substrátem B. Substráty nebyly zasoleny. Vyšší množství neseparovaného digestátu mělo vliv na zvýšení elektrické vodivosti. Výsledky měření ukázaly, že u sledovaných substrátů byly rozdíly v elektrické vodivosti průkazně nižší ve srovnání s kontrolní variantou. Testované substráty se vzájemně statisticky průkazně nelišily.

Dalším sledovaným parametrem byl obsah síry v substrátech stanovený metodou CAT. V kontrolním substrátu byl naměřen obsah síry 367 mg/l. V testovaných substrátech bylo nejvíce síry (28,2 mg/l) naměřeno u varianty č. 4. Nejméně síry (15,6 mg/l) bylo zjištěno u varianty č. 3. Všechny testované varianty měly průkazně nižší obsahy síry v substrátech než kontrolní substrát. Z obsahů síry vyplývá, že menší množství dolomitu (3 g/l) mělo neprůkazný vliv na zvýšení obsahu síry. Obsah síry v substrátech mezi testovanými variantami je statisticky neprůkazný.

Dále byl sledován obsah síry v substrátu měřený ve vodném výluhu. V pěstebním substrátu B bylo naměřeno 417 mg S/l. Nejvyšší hodnota (26,2 mg/l S) u varianty č. 4 (rašelina + 10 % ND + 3 g/l dolomitu) byla 16x menší oproti kontrolní variantě. Nejnižší obsah síry (13,6 mg/l) byl naměřen u substrátu č. 3, což je 30x menší obsah než u pěstebního substrátu B. Všechny varianty měly nižší obsahy síry v substrátech ve srovnání s kontrolní variantou. Vyšší obsah síry se projevil u variant s nižším obsahem dolomitu a vyšší množství neseparovaného digestátu mělo na zvýšení obsahu síry také pozitivní vliv. Obsah síry v substrátech stanovený vodným výluhem potvrdil výsledky získané metodou CAT. Obsah síry v pěstebním substrátu B byl statisticky průkazně vyšší než u testovaných substrátů. Mezi testovanými variantami se statisticky průkazné rozdíly nevyskytovaly.

V rámci pokusu byl rovněž měřen obsah síry v nadzemní hmotě rostlin. Pěstební substrát B vykazoval 2889 mg/kg S. Nejvyšší obsah síry v nadzemní hmotě (4440 mg/kg S) byl naměřen u substrátu č. 2, což je o 1551 mg/kg síry více než u kontrolního substrátu. Nejméně bylo naměřeno u varianty č. 3 (3302 mg/kg S). U všech zkoumaných variant byl obsah síry vyšší než u kontrolního vzorku. Opět se potvrdilo, že nižší obsah dolomitu má vliv na zvýšení obsahu síry. Výsledné obsahy síry v nadzemní hmotě dosahovaly významných statistických rozdílů. Obsah S u varianty č. 2 byl statisticky průkazně vyšší než u všech ostatních variant, včetně kontrolního substrátu.

Tab. 8: Bazalka pravá - charakteristika pH, elektrické vodivosti a obsahu síry v čerstvé hmotě substrátů a celkový obsah síry v nadzemní hmotě

Varianta	Opak.	pH _{H2O}	pH 0,01 mol/l CaCl ₂	EC v	Obsah S v	Obsah S v	Obsahy S
				suspenzi	substrátech	substrátech -	v nadzemní
				mS/cm	- CAT	vodný výluh	hmotě
					mg/l	mg/l	mg/kg
1	1	5,4	4,8	0,52	371,6	476,5	2887
1	2	5,2	4,7	0,30	436,8	443,2	2838
1	3	5,1	4,7	0,40	319,7	365,6	2881
1	4	5,0	4,6	0,42	341,0	382,1	2952
Průměr		5,2^{a*}	4,7^a	0,41^a	367,3^a	416,9^a	2889^a
2	1	5,1	3,9	0,10	25,6	12,8	4005
2	2	4,8	4,0	0,18	38,8	15,7	3704
2	3	4,8	3,8	0,08	15,2	22,6	4315
2	4	4,9	3,9	0,11	26,4	26,1	5735
Průměr		4,9^b	3,9^b	0,12^b	26,5^b	19,3^b	4440^b
3	1	5,2	4,3	0,07	10,0	11,5	3067
3	2	5,2	4,4	0,15	27,4	22,7	3743
3	3	5,0	4,2	0,10	13,0	12,4	3106
3	4	5,1	4,3	0,07	12,2	7,8	3291
Průměr		5,1^a	4,3^c	0,10^b	15,6^b	13,6^b	3302^a
4	1	5,1	4,1	0,11	10,7	11,0	3987
4	2	5,2	4,3	0,22	43,0	31,6	4346
4	3	5,2	4,2	0,16	34,6	30,5	3605
4	4	5,2	4,2	0,13	24,4	32,0	3540
Průměr		5,2^a	4,2^c	0,16^b	28,2^b	26,2^b	3870^a
5	1	5,5	4,7	0,13	16,1	17,8	3772
5	2	5,3	4,6	0,11	22,2	19,5	3670
5	3	5,4	4,9	0,24	26,5	25,0	3266
5	4	5,4	4,8	0,23	29,9	26,5	2813
Průměr		5,4^c	4,8^a	0,18^b	23,7^b	22,2^b	3380^a
F-test		9,39	58,60	17,43	158,40	217,2	5,24
hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Opak. - opakování

EC - electric conductivity = vodivost

ns - nesignifikantní rozdíly mezi variantami

* varianty označené různými písmeny se od sebe statisticky průkazně liší

V tabulce 9 jsou základní charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty gazanie zářivé po sklizni pokusu. U substrátu byla zjišťována procenta sušiny a objemová hmotnost vlhkého vzorku. U nadzemní hmoty byla sledována čerstvá hmota, sušina a počet květů.

U kontrolního substrátu vyšel obsah sušiny 52,0 %. Této hodnotě se přibližovaly testované varianty. Nejvyšší obsah sušiny byl naměřen u varianty č. 5 (55,0 %) a nejmenší obsah sušiny (44,0 %) vyšel u varianty č. 2 (rašelina s přidavkem 5 % ND a 3 g/l dolomitu). Větší množství neseparovaného digestátu a dolomitu mělo vliv na zvyšující se množství sušiny. Rozdíly mezi variantami nebyly statisticky významné.

Nejvyšší objemová hmotnost vlhkého vzorku (720 g) byla naměřena u varianty č. 3 (rašelina + 5 % ND + 6 g/l dolomitu). Tato hodnota vyšla o 16,0 g vyšší, než u kontrolního substrátu (704 g). Naopak nejnižší hodnoty dosáhl substrát č. 5 (480 g). Varianty s 5 % ND dosáhly vyšších hodnot a překročily hodnotu pěstební substrátu B. Naopak varianty s 10 % ND vykazovaly nižší hodnoty. Nižší hodnoty jsou u tohoto parametru považovány za lepší. Rozdíly mezi variantami však byly nesignifikantní.

Dalším sledovaným parametrem byla čerstvá hmotnost nadzemní hmoty. Pěstební substrát B dosáhl hodnoty 63,1 g a testované varianty měly hmotnosti nižší o 7,00 g - 18,4 g. Ze zkoumaných variant dosáhl nejvyšší hodnoty (56,1 g) substrát č. 5 (rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu). Nejnižší hmotnost (44,7 g) byla změřena u varianty č. 3. Rozdíly mezi variantami byly statisticky neprůkazné.

Další sledovanou charakteristikou nadzemní hmoty byla hmotnost sušiny. Kontrolní varianta vážila 6,30 g. Nejvyšší hmotnosti dosáhl substrát č. 5 (6,20 g) a byl naměřenou hodnotou velmi blízký kontrolnímu substrátu. Nejnižší naměřená hodnota (4,80 g) vyšla u varianty č. 4. Od varianty č. 1 se hmotnosti sušiny lišily o 0,10 g až 1,50 g. Rozdíly mezi hmotnostmi sušiny byly statisticky neprůkazné.

Procentický obsah sušiny byl u kontrolního substrátu naměřen 10,0 %. U všech zkoumaných variant vyšla hodnota 11,0 %. Hodnoty byly srovnatelné s kontrolní variantou č. 1. Rozdíly mezi procentickými obsahy sušiny byly statisticky neprůkazné.

Posledním měřeným parametrem byl průměrný počet květů. U kontrolního substrátu vyrostl jeden květ na rostlinu. U varianty č. 2 a č. 4 vyrostl také 1 květ na rostlinu a u substrátu č. 3 a č. 5 vyrostly 2 květy na rostlinu. Větší množství dolomitu (6 g/l) mělo pravděpodobně vliv na tvorbu květů. Rozdíly mezi variantami však byly statisticky neprůkazné.

Tab. 9: Gazanie zářivá - charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty

Průměry variant	Substrát		Nadzemní hmota			
	Sušina	OHV dopočtená	Čerstvá hmota	Sušina	Sušina	Počet květů
	%	g/l	g	g	%	ks
Varianta č. 1	52	704	63,1	6,3	10	1
Varianta č. 2	44	705	48,5	5,2	11	1
Varianta č. 3	45	720	44,7	5,0	11	2
Varianta č. 4	53	494	45,0	4,8	11	1
Varianta č. 5	55	480	56,1	6,2	11	2
F-test	1,40	3,71	4,10	3,40	0,71	0,63
hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	ns	ns

OHV - objemová hmotnost vlhkého vzorku

ks - počet kusů

ns - nesignifikantní rozdíly mezi variantami

V tabulce 10 jsou uvedeny následující parametry: hodnoty pH, elektrická vodivost, obsah síry v substrátech stanovené různými metodami a obsah síry v nadzemní hmotě u gazanie zářivé.

Hodnota aktivního pH ve vodném výluhu vyšla u zkoumaných variant srovnatelná s pěstebním substrátem B (5,4). Hodnoty 5,4 dosáhl i substrát č. 5 (rašelina s 10 % ND a 6 g/l dolomitu). Nejnižší naměřené pH (4,8) bylo zjištěno u substrátu rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu. Na zvýšené pH mělo vliv větší množství dolomitu. Rozdíly v hodnotách pH byly statisticky průkazné. Nejvyšší a stejnou hodnotu měl s kontrolním substrátem substrát č. 5. Naopak na tom byla varianta č. 2. Varianty č. 3 a č. 4 měly statisticky srovnatelné hodnoty.

Kontrolní substrát a varianta č. 5 dosáhly hodnoty výměnného pH 4,7. Nejmenší hodnota (4,1) vyšla u substrátu č. 2. Vyšší množství dolomitu mělo vliv na stoupající hodnoty pH. Rozdíly u variant byly statisticky významné. Výměnné pH bylo statisticky průkazně vyšší u substrátu č. 1, než u variant č. 2 a č. 4. Varianty č. 3 a č. 5 se od sebe statisticky průkazně nelišily.

Elektrická vodivost vyšla opět u všech testovaných substrátů nižší než u kontrolního substrátu (0,38 mS/cm). Nejvyšší hodnoty (0,10 mS/cm) dosáhl substrát č. 4 (rašelina + 10 % ND + 3 g/l dolomitu) a o polovinu nižší elektrickou vodivost (0,05 mS/cm) měl substrát č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Hodnoty elektrické vodivosti testovaných substrátů byly 3,8x - 7,6x menší. Substráty nejsou zasoleny. Na zvýšení elektrické vodivosti měl vliv přídavek ND. Výsledky měření ukázaly, že u sledovaných substrátů byly rozdíly v elektrické

vodivosti průkazně nižší ve srovnání s kontrolní variantou. Testované substráty se vzájemně statisticky průkazně nelišily.

V pěstebním substrátu B byl naměřen obsah síry stanovený metodou CAT 363 mg/l. Ostatní varianty dosáhly o 324 mg/l S - 355 mg/l S nižších hodnot, což byly rozdíly 37x - 45,4x nižší než u pěstebního substrátu B. Nejvyšší množství síry (9,80 mg/l) bylo zjištěno u varianty č. 4 (rašelina + 10 % ND + 3 g/l dolomitu). Nejmenší obsah síry byl naměřen u substrátu č. 5, který vyšel 8,00 mg/l. Všechny testované varianty měly průkazně nižší obsahy síry v substrátech než kontrolní substrát. Obsah síry v substrátech mezi testovanými variantami byl statisticky neprůkazný.

U kontrolního vzorku vyšel obsah síry v substrátu stanovený vodným výluhem 319 mg/l. Nejvyšší naměřené hodnoty ze zkoumaných variant (10,4 mg/l S) dosáhl substrát č. 4 (rašelina s 10 % ND a 3 g/l dolomitu). Naopak nejnižší obsah síry v substrátu vykazoval substrát č. 2 (6,80 mg/l S). Rozdíly od varianty č. 1 byly v rozmezí od 309 mg/l S do 312 mg/l S. Obsah síry v substrátu se zvýšil, přidalo-li se k rašelině více neseparovaného digestátu. Rozdíly v obsahu síry v substrátu u sledovaných vzorků byly statisticky významné. Všechny testované varianty měly průkazně nižší obsahy síry v substrátech než kontrolní varianta. Vzájemné rozdíly mezi testovanými variantami byly statisticky neprůkazné.

Posledním parametrem měřeným u gazání zářivé byl obsah síry v nadzemní hmotě. Kontrolní substrát obsahoval 9937 mg/kg síry v nadzemní hmotě, což je o 3085 mg/kg síry více než obsahoval substrát č. 2 (6852 mg/kg S). Naopak nejméně síry obsahoval substrát č. 5 (5592 mg/kg S), který dosáhl o 4345 mg/kg síry méně než varianta č. 1. Obsahy síry v nadzemní hmotě byly 1,4x až 1,7x nižší. Na vyšší obsah síry v nadzemní hmotě měl vliv nižší obsah dolomitu (3 g/l). Výsledky u variant při sledování obsahu síry v nadzemní hmotě byly statisticky průkazné. Všechny testované varianty měly průkazně nižší obsahy síry v substrátech než kontrolní varianta. Rozdíly mezi testovanými variantami byly statisticky neprůkazné.

Tab. 10: Gazanie zářivá - charakteristika pH, elektrické vodivosti a obsahu síry v čerstvé hmotě substrátů a celkový obsah síry v nadzemní hmotě

Varianta	Opak.	pH _{H₂O}	pH 0,01 mol/l CaCl ₂	EC v suspenzi	Obsah S v substrátech - CAT	Obsah S v substrátech - vodný výluh	Obsahy S v nadzemní hmotě
				mS/cm	mg/l	mg/l	mg/kg
1	1	5,3	4,8	0,43	651,7	398,6	9167
1	2	5,4	4,6	0,4	264	333,6	11574
1	3	5,3	4,7	0,43	332,7	328,9	9083
1	4	5,4	4,8	0,27	205,2	215,3	9926
Průměr		5,4^{a*}	4,7^a	0,38^a	363,4^a	319,1^a	9937^a
2	1	4,8	3,9	0,04	6,7	5,2	6893
2	2	4,7	4,1	0,05	6,3	5,3	7935
2	3	4,8	4,1	0,05	9,9	8,2	7161
2	4	4,8	4,1	0,05	9,8	8,3	5421
Průměr		4,8^b	4,1^b	0,05^b	8,2^b	6,8^b	6852^b
3	1	5,2	4,6	0,06	6,5	7,2	5465
3	2	5,3	4,3	0,05	15,3	8,9	5506
3	3	5	4,4	0,08	5,9	9,7	6366
3	4	5,2	4,2	0,07	8,2	8,4	6053
Průměr		5,2^c	4,4^{ab}	0,07^b	9,0^b	8,6^b	5847^b
4	1	5,1	4	0,08	13,1	10,1	6570
4	2	5,2	4,1	0,11	12	13	4953
4	3	5,1	4,1	0,08	7	8,3	7442
4	4	5	4,7	0,12	7,2	10,1	6461
Průměr		5,1^c	4,2^b	0,10^b	9,8^b	10,4^b	6357^b
5	1	5,4	4,5	0,1	7,3	10,9	5940
5	2	5,4	4,6	0,07	9,1	8,2	4889
5	3	5,4	4,7	0,08	6,6	8,8	5055
5	4	5,4	5	0,11	8,8	8,5	6483
Průměr		5,4^a	4,7^{ab}	0,09^b	8,0^b	9,1^b	5592^b
F-test		43,36	8,86	57	12,67	66,33	14,5
hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Opak. - opakování

EC - electric conductivity = zasolenost

* varianty označené různými písmeny se od sebe statisticky průkazně liší

V tabulce 11 jsou základní charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty máty peprné po sklizni pokusu. U substrátu byla zjišťována procenta sušiny a objemová hmotnost vlhkého vzorku. U nadzemní hmoty byla sledována čerstvá hmota a sušina.

U kontrolní varianty bylo naměřeno 48,0 % sušiny. Všechny testované substráty vykazovaly hodnoty nižší než kontrolní varianta. Nejvyšší obsah sušiny byl u varianty č. 5 (36,0 %) a nejnižšího obsahu sušiny dosáhla varianta č. 2 (33,0 %). Procenta obsahu sušiny s větším množstvím ND a dolomitu narůstaly. Rozdíly mezi variantami byly nesignifikantní.

Objemová hmotnost vlhkého substrátu vyšla u pěstebního substrátu 762 g/l. Všechny zkoumané varianty přesáhly hodnotu varianty č. 1. Substrát č. 3 (1030 g/l) překročil hodnotu kontrolního substrátu nejvíce a to o 268 g/l, z toho substrát č. 5 (786 g/l) překročil hodnotu nejméně, a to o 24,0 g/l. Nižší hodnoty objemové hmotnosti byly výhodou. Hodnoty objemové hmotnosti klesaly s vyšší dávkou ND. Rozdíly mezi variantami byly neprůkazné.

Dalším sledovaným parametrem byla čerstvá hmotnost nadzemní hmoty. Pěstební substrát B dosáhl hodnoty 45,8 g. Nejvyšší hmotnost nadzemní hmoty (47,4 g) vyšla u substrátu č. 5 a nejnižší hmotnosti (34,5 g) dosáhl substrát č. 2. Hodnoty variant č. 2 a č. 3 byly nižší než u kontrolní varianty a naopak hodnoty varianty č. 4 a č. 5 byly vyšší než u pěstebního substrátu B. Čerstvá hmotnost nadzemní hmoty se s větším množstvím dolomitu i ND se zvyšovala. Rozdíly mezi variantami však byly nesignifikantní.

Další charakteristikou nadzemní hmoty byla hmotnost sušiny. U kontrolní varianty vyšla hmotnost sušiny 10,2 g. Nevyšší hmotnost sušiny (7,90 g) vykazoval substrát rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu. Naopak nejnižší hmotnost sušiny (6,90 g) byla změřena u substrátu rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu. Rozdíly hmotnosti sušiny se pohybovaly v rozmezí od 2,30 g do 3,30 g. Na zvýšení obsahu sušiny mělo vliv zvýšené množství ND a dolomitu. Rozdíly mezi variantami byly neprůkazné.

Posledním parametrem v této tabulce byly obsahy sušiny v procentech. Kontrolní substrát dosáhl 22,0 % sušiny. Varianta č. 2 a č. 3 vykazovala 20,0 % sušiny. Nejméně sušiny (16,0 %) dosáhl substrát č. 4. Na vyšší množství sušiny mělo vliv nižší množství neseparovaného digestátu. Rozdíly v procentuálním obsahu sušiny mezi variantami u máty peprné byly neprůkazné.

Tab. 11: Máta peprná - charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty

Průměry variant	Substrát		Nadzemní hmota		
	Sušina	OHV dopočtená	Čerstvá hmota	Sušina	Sušina
	%	g/l	g	g	%
Varianta č. 1	48	762	45,8	10,2	22
Varianta č. 2	33	986	34,5	6,9	20
Varianta č. 3	34	1030	35,6	7,0	20
Varianta č. 4	34	826	47,3	7,7	16
Varianta č. 5	36	786	47,4	7,9	17
F-test	0,90	0,77	2,29	1,98	1,90
hladina významnosti	ns	ns	ns	ns	ns

OHV - objemová hmotnost vlhkého vzorku

ns - nesignifikantní rozdíly mezi variantami

V tabulce 12 jsou uvedeny následující parametry: hodnoty pH, elektrická vodivost, obsah síry v substrátech stanovené různými metodami a obsah síry v nadzemní hmotě u máty peprné.

Další měření aktivního pH ukázalo, že varianta č. 1 vykazovala opět vyšší pH než zkoumané substráty (5,5). Při srovnání testovaných substrátů byla nejvyšší hodnota (5,2) byla naměřena u varianty č. 5 (rašelina + 10 % ND + 6 g/l dolomitu) a nejnižší hodnota (4,6) vyšla opět u varianty č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Rozdíly u variant byly v rozmezí od 0,3 do 0,9. Na vyšší hodnoty pH měl vliv přídavek dolomitu i neseparovaného digestátu. Jednotlivé varianty se od sebe statisticky významně lišily. Statisticky nejvyšší hodnota vyšla u pěstebního substrátu B. Nejvíce se ke kontrolnímu vzorku blížil substrát č. 5 a ostatní varianty (2, 3 a 4) měly hodnoty srovnatelné.

U pěstebního substrátu B vyšla hodnota pH stanovená v CaCl₂ 5,0. Při srovnání testovaných substrátů vyšla nejvyšší hodnota u substrátu č. 5 (4,7) a nejnižší hodnota (3,9) byla naměřena u substrátu č. 2. Hodnoty se od sebe lišily o 0,3 - 1,1. Na vyšší pH mělo vliv větší množství dolomitu. Rozdíly u variant byly statisticky průkazné. Žádná z testovaných variant nebyla srovnatelná s kontrolním substrátem, který měl nejvyšší hodnotu. Statisticky průkazně nižší hodnota pH byla u varianty č. 2. Varianty č. 3 a č. 4 byly srovnatelné a varianta č. 5 dosáhla statisticky průkazně nejvyšší hodnoty.

Elektrická vodivost u pěstebního substrátu byla 0,29 mS/cm. U všech zkoumaných variant) vyšla zasolenost o 0,21 mS/cm nižší. Rozdíl byl tedy 3,6x nižší oproti variantě č. 1. Žádný ze substrátů nebyl zasolen. Rozdíly mezi vzorky byly statisticky průkazné. Výsledky měření ukázaly, že u sledovaných substrátů byly rozdíly v elektrické vodivosti průkazně nižší

ve srovnání s kontrolní variantou. Testované substráty se vzájemně statisticky průkazně nelišily.

Další sledovanou charakteristikou byl obsah síry v substrátech stanovený metodou CAT. Obsah síry u kontrolního vzorku vyšel 295 mg/l. Nejvyššího obsahu síry (60,6 mg/l) dosáhl substrát č. 2, který měl o 234 mg/l síry méně. Nejméně síry (21,3 mg/l) se vyskytlo v substrátu č. 5 rašelina s 10 % ND s 6 g/l dolomitu. Obsah síry v substrátu stanovený metodou CAT byl 4,8x - 13,8x nižší než obsah síry v pěstebním substrátu B. Nižší množství dolomitu mělo vliv na větší obsah síry. Rozdíly mezi vzorky byly statisticky průkazné. Výsledky měření ukázaly, že u sledovaných substrátů byly rozdíly průkazně nižší ve srovnání s kontrolní variantou. Testované substráty se vzájemně statisticky průkazně nelišily.

U varianty č. 1 vyšel obsah síry v substrátu stanovené vodným výluhem 251 mg/l. Z testovaných substrátů nejvíce síry (47,0 mg/l) obsahoval substrát č. 2 (rašelina + 5 % ND + 3 g/l dolomitu). Nejméně síry (26,7 mg/l) obsahoval substrát č. 5. Síry bylo v substrátech 5,3x - 9,4x méně. Na větší množství síry v substrátu měla vliv jak nižší dávka dolomitu, tak i nižší dávka neseparovaného digestátu. Rozdíly v obsahu síry u variant byly statisticky významné. Výsledky měření ukázaly, že u sledovaných substrátů byly rozdíly průkazně nižší ve srovnání s kontrolní variantou. Testované substráty se vzájemně statisticky průkazně nelišily.

Posledním měřeným parametrem byl obsah síry v nadzemní hmotě. Pěstební substrát B obsahoval 4384 mg/kg. Tuto hodnotu žádný ze zkoumaných substrátů nepřekročil. Nejvíce síry zde v nadzemní hmotě (4079 mg/kg) vykazovala varianta č. 4 (rašelina + 10 % ND + 3 g/l dolomitu). Rozdíl mezi těmito dvěma variantami byl tedy 318 mg/kg síry. Nejméně síry v nadzemní hmotě (3851 mg/kg) bylo zjištěno u varianty č. 5. Rozdíly mezi variantami byly nesignifikantní.

Tab. 12: Mátá peprná - charakteristika pH, elektrické vodivosti a obsahu síry v čerstvé hmotě substrátů a celkový obsah síry v nadzemní hmotě.

Varianta	Opak.	pH _{H2O}	pH 0,01 mol/l CaCl ₂	EC v	Obsah S v	Obsah S v	Obsahy S
				suspenzi	substrátech	substrátech	v
				mS/cm	- metoda CAT	- vodný výluh 1:5	nadzemní hmotě
					mg/l	mg/l	mg/kg
1	1	5,5	5,0	0,26	237,1	110,1	4101
1	2	5,5	5,0	0,30	355,6	297,6	4343
1	3	5,5	5,0	0,26	260,0	200,5	4386
1	4	5,4	5,0	0,32	325,1	397,4	4706
Průměr		5,5^a	5,0^{a*}	0,29^a	294,5^a	251,4^a	4384
2	1	4,5	3,9	0,07	43,8	30,6	2662
2	2	4,8	3,9	0,08	80,6	62,0	4655
2	3	4,5	4,0	0,08	77,7	53,8	3807
2	4	4,6	3,9	0,08	40,2	41,7	4309
Průměr		4,6^b	3,9^b	0,08^b	60,6^b	47,0^b	3858
3	1	5,1	4,3	0,08	39,1	50,9	6239
3	2	4,7	4,6	0,05	12,2	17,1	3564
3	3	4,9	4,3	0,09	69,0	67,0	3828
3	4	4,6	4,4	0,08	19,6	36,2	2631
Průměr		4,8^b	4,4^c	0,08^b	35,0^b	42,8^b	4066
4	1	4,7	4,2	0,08	29,8	43,9	4465
4	2	4,8	4,3	0,07	18,7	23,0	3406
4	3	4,7	4,2	0,07	51,9	45,2	3912
4	4	4,8	4,3	0,08	44,3	41,2	4535
Průměr		4,8^b	4,3^c	0,08^b	36,2^b	38,3^b	4079
5	1	5,4	4,7	0,10	23,1	30,5	4690
5	2	5,1	4,7	0,07	10,2	18,7	2749
5	3	5,1	4,7	0,07	13,8	18,4	3474
5	4	5,1	4,7	0,08	38,2	39,1	4490
Průměr		5,2^c	4,7^d	0,08^b	21,3^b	26,7^b	3851
F-test		25,80	132,19	118,87	58,82	11,25	0,22
hladina významnosti		0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	ns

Opak. - opakování

EC - electricconductivity = zasolenost

ns - nesignifikantní rozdíly mezi variantami

* varianty označené různými písmeny se od sebe statisticky průkazně liší

7. Diskuse

Ve vstupních rozbořech byly hodnoceny následující charakteristiky substrátů: procentuální obsah sušiny, objemová hmotnost, aktivní pH, elektrická vodivost. Dále byl stanoven obsah makroprvků (K, Mg, P, S) a obsah amonného a nitrátového dusíku stanovených metodou CAT.

U posklizňových rozborů substrátů byly hodnoceny následující parametry: procentuální obsah sušiny, objemová hmotnost, čerstvá hmotnost, aktivní pH a výměnné pH, elektrická vodivost, obsah síry v substrátech stanovené metodou CAT a vodným výluhem. V nadzemní hmotě rostlin byl kromě základních charakteristik (čerstvá hmotnost a hmotnost a procento sušiny) rovněž stanoven celkový obsah síry.

Ke zjišťování obsahu jednotlivých prvků v rostlinách se využívá chemických analýz rostlin. Na začátku chemické analýzy se musí vzorky vysušit a stanovit tak obsah vody a sušiny. Obsah sušiny nadzemní hmoty rostlin se přitom může pohybovat v širokém rozmezí 5 - 90 % (Vaněk a kol. 2012).

Obsah sušiny nadzemní hmoty vyšel u bazalky v rozmezí 16,0 - 27,0 %. Kontrolní varianta dosáhla 17,0 % sušiny. Gazanie měla obsah sušiny v rozmezí 10,0 - 11,0 %. Kontrolní substrát vykazoval hodnotu sušiny 10,0 %. A máta dosáhla hodnot od 6,90 do 7,90 % sušiny. Kontrolní varianta měla 22,0 % sušiny.

Vaněk a kol. (2012) uvádí, že přijatelnost živin v rašelině a materiálech s vysokým obsahem organických látek je posunuta do kyselejší oblasti, kde optimální hodnota pH pro příjem většiny živin je okolo 5,8 než u minerálních půd, kde je hodnota pH 6,5.

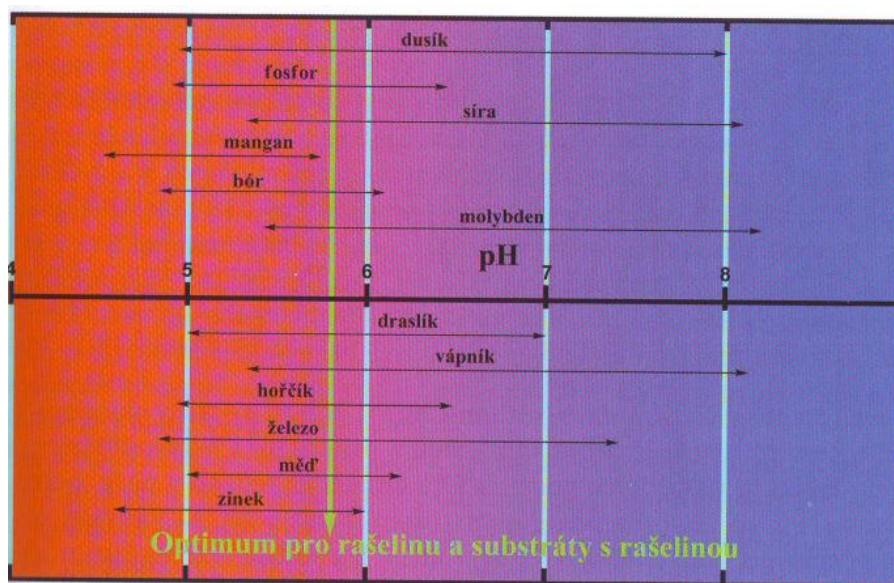
Aktivní pH ($\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$) bylo u vstupních substrátů v rozmezí od 5,2 do 5,8. Substráty jsou tedy středně až mírně kyselé, jak ukazuje Obr. 7. Hodnoty aktivního pH u posklizňových rozborů vyšly v rozmezí 4,6 až 5,4. Substráty jsou středně kyselé, jak je znázorněno v Obr. 7.

Výměnné pH ($\text{pH}_{\text{CaCl}_2}$) bylo u testovaných variant v rozmezí od 3,9 do 4,8. Substráty byly silně až středně kyselé, jak vyplývá z Obr. 7. Vhodné pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s rašelinou je znázorněno v Obr. 8.

Obr. 7: Půdní reakce (Anon., 2011)

pH/KCl	pH/H ₂ O	typ reakce
více než 7,0	více než 7,2	mírně alkalická
6,1-7,0	6,6-7,2	neutrální
5,1-6,0	5,6-6,5	mírně kyselá
4,1-5,0	4,5-5,5	středně kyselá
3,0-4,0	3,5-4,4	silně kyselá
méně než 3,0	méně než 3,5	velmi silně kyselá

Obr. 8: Rozsah vhodného pH pro příjem živin v rašelině a v substrátech s rašelinou (Vaněk a kol., 2012)



Elektrická vodivost vyšla u vstupních substrátů v rozsahu 0,12 - 0,20 mS/cm. Elektrická vodivost po sklizni byla naměřena u bazalky v rozmezí od 0,10 do 0,18 mS/cm. Kontrolní substrát obsahoval 0,41 mS/cm. U gazánie po sklizni vyšla elektrická vodivost v rozmezí 0,05 až 0,10 mS/cm. Kontrolní substrát vykazoval hodnotu 0,38 mS/cm. Elektrická vodivost u máty po sklizni dosáhla hodnoty 0,08. Kontrolní varianta měla hodnotu 0,29 mS/cm.

Škarpa (2010) ve svém Obr. 9 zmiňuje, že substráty do 0,7 mS/cm jsou nezasolené. Z toho nám vyplývá, že všechny naše testované a kontrolní substráty byly nezasoleny.

Obr. 9: Elektrická vodivost (Škarpa, 2010)

Půdy	Měrná vodivost (mS.cm ⁻¹)
Nezasolené	do 0,7
Středně zasolené	0,7-1,4
Zasolené	1,4-2,8
Silně zasolené	nad 2,8

Ve srovnání s klasickými statkovými hnojivými má digestát vzhledem k použitým surovinám poměrně vysoký celkový obsah dusíku (0,2 ale až i 1 % v čerstvé hmotě), vyšší hodnotu pH (7 - 8), nižší obsah uhlíku a sušina se pohybuje v rozmezí od 2 do 13 % (Marada a kol., 2008).

Hodnota pH 7,7 byla naměřena u digestátu dodaného k pokusu z bioplynové stanice Krásné Hory nad Vltavou. Sušina neseparovaného digestátu vyšla 5,30 %. Dvořáček a kol., (2009) uvádí, že vzniklá pevná část (tuhý digestát) má většinou více než 20 % sušiny, kapalná část (fugát) má mezi 2 - 8 %.

Tambone et al. (2010) se věnovali zkoumání hnojivých vlastností digestátu ve srovnání s čistírenskými kaly a komposty. Z jejich výsledků vyplývá, že digestát měl v porovnání s uvedenými hnojivými výrazně nejvyšší podíly celkového dusíku, amonného dusíku, fosforu i draslíku. Průměrné obsahy amonného dusíku se v různých typech neseparovaných digestátů pohybovaly od 0,51 do 0,98 % sušiny. Celkový obsah fosforu v sušině činil 0,08 - 0,26 % a obsah draslíku byl 0,24 - 0,68 %.

V našem pokuse se potvrdil nárůst amonné formy dusíku v substrátech s vyšší dávkou neseparovaného digestátu. Hodnoty N - NH_4^+ u substrátů s 5 % ND byly v rozmezí od 181 do 194 mg/l. Hodnoty N - NH_4^+ u substrátů s 10 % ND se pohybovaly v rozmezí od 425 do 473 mg/l v čerstvé hmotě. Pěstební substrát vykazoval hodnotu 37,7 mg/l N - NH_4^+ .

Nárůst fosforu v našich substrátech s 10 % neseparovaného digestátu se také potvrdil. Hodnoty testovaných variant s 5 % ND měly hodnoty v rozsahu 34,0 až 37,4 mg/l. U substrátů s 10 % ND vyšel obsah fosforu od 80,7 do 92,5 mg/l. Pěstební substrát obsahoval 19,9 mg/l fosforu v čerstvé hmotě.

Obsah draslíku v substrátech také stoupal s vyšší dávkou neseparovaného digestátu. Hodnoty draslíku u testovaných variant s 5 % ND dosáhly hodnot 220 - 225 mg/l v čerstvé hmotě. Substráty s 10 % ND vykazovaly hodnoty od 532 do 596 mg/l. U kontrolního vzorku bylo naměřeno 273 mg/l draslíku.

Dzida (2010) zmiňuje, že z 92 prvků, které přirozeně existují v přírodním prostředí, je jen několik, které jsou považovány pro rostliny nezbytné. Vaněk a kol., (2007) uvádí, že obsah síry ve většině zemědělských půd kolísá v širokém rozsahu, běžně od 50 do 500 mg S/kg.

U vstupních charakteristik pokusu vyšel obsah síry stanovený metodou CAT v rozmezí od 6,20 do 9,80 mg/l čerstvé hmoty. Pěstební substrát B dosáhl obsahu síry 456 mg/l. Obsah síry stanovený vodným výluhem byl v rozsahu 9,90 až 15,6 mg/l čerstvé hmoty. A u pěstebního substrátu B vyšla hodnota 361 mg/l síry.

Metodou CAT u posklizňových rozborů bazalky vyšel obsah síry v rozmezí 15,6 až 28,2 mg/l, u gazánie bylo naměřeno rozmezí od 8,20 do 9,80 mg/l S a u máty byl obsah síry v rozsahu od 21,6 do 60,9 mg/l. Pěstební substráty obsahovaly od 295 do 367 mg/l síry v substrátu v čerstvé hmotě.

Obsah síry substrátu vodným výluhem vyšel u bazalky v rozmezí 13,6 - 26,2 mg/l S u gazánie v rozsahu 6,80 - 10,4 mg/l S a u máty v rozmezí 26,7- 47,0 mg/l síry čerstvé hmoty. Kontrolní substráty dosáhly hodnot v rozmezí 251 - 417 mg/l síry.

Obsah síry v nadzemní hmotě vyšel u bazalky v rozmezí od 0,33 do 0,40 % S, u gazánie byl naměřen obsah síry od 0,56 do 0,69 % a u máty byl obsah síry v rozmezí 0,39 - 0,41 %.

Vaněk a kol., (2012) zmiňuje, že celkový obsah S v pletivech rostlin se pohybuje kolem hodnot 0,2 - 0,5 % v sušině. Počínající nedostatek síry u většiny plodin je kolem 0,2 %. Hodnoty naměřené v našich pokusech byly vždy vyšší než 0,2 % S. V některých případech dokonce překročily i hodnotu 0,5 % S, která je Vaňkem udávána jako horní hranice rozmezí pro obsah S.

Yang et al., (2006) uvádí, že dlouhodobé používání velkého množství statkových hnojiv má za následek akumulaci C, N a S v půdě. Dále zmiňuje, že aplikace vyšší dávky statkových hnojiv měla vliv na akumulaci celkové síry, celkové organické S a síry přímo vázané na uhlík v půdě.

V našem pokusu vyšší dávka neseparovaného digestátu ze vstupních surovin, kejda skotu, kukuřičná siláž a travní senáž, potvrdila nárůst obsahu síry v nadzemní hmotě u bazalky a gazánie.

Dzida (2010) popisuje vliv dávky 6 a 12 g/dm³ CaCO₃ v rašelině na rostliny bazalky. Rozdíly v obsahu síry v závislosti na množství dodaného CaCO₃ byly pouze malé.

V našem pokusu jsme používaly dolomitický vápenec o dávce 3 a 6 g/l. Větší množství dolomitu mělo vliv na vyšší hodnoty u sušiny, čerstvé hmotnosti, na výměnné a aktivní pH. Nižší dávka měla zase vliv na vyšší obsah síry. Tento vliv byl však neprůkazný.

8. Závěr

Cílem práce bylo vyhodnocení vlivu různého přídatku neseparovaného digestátu (ND) a dolomitického vápence k rašelině na obsah přístupné síry ve vzniklém substrátu a celkové síry v pěstovaných rostlinách. Dále se u substrátů a nadzemní hmoty vyhodnocovaly jejich základní charakteristiky.

V pokusu byly porovnávány 4 testované varianty s běžně používaným pěstebním substrátem. Varianty obsahovaly rašelinu s podílem 5 % ND 10 % ND. Dále byl k substrátům přidán dolomitický vápenec v dávce 3 g/l nebo 6 g/l.

V rámci pokusu byly provedeny základní analýzy: stanovení objemové hmotnosti substrátů, měření podílu sušiny substrátů, stanovení hmotnosti čerstvé nadzemní hmoty sklizených rostlin, měření podílu sušiny nadzemní hmoty sklizených rostlin a stanovení elektrické vodivosti. Rovněž byly stanoveny hodnoty aktivního i výměnného pH. Obsahy síry v substrátu byly stanoveny metodou CAT a vodným výluhem. Obsah síry v nadzemní hmotě byl stanoven pomocí mikrovlnného rozkladu. U vstupních substrátů byly zjišťovány obsahy makroprvků (N, K, Mg, P a S), které byly analyzovány extrakcí CAT. Obsah vápníku byl stanoven vodným výluhem.

Z výsledků vyplývá, že větší množství síry v substrátu bylo zjištěno u vzorků s 10% podílem ND ve srovnání s 5% podílem. Obsah síry v nadzemní hmotě byl vyšší zpravidla tam, kde byla dodána nižší dávka dolomitu 3 g/l. V obou případech se jednalo o neprůkazné výsledky. Hodnoty obsahu síry v testovaných substrátech byly ve všech zkoumaných případech několikanásobně nižší než u kontrolní varianty. Oproti obsahu síry v substrátu bylo množství síry v nadzemní hmotě v porovnání s kontrolním substrátem srovnatelné a v některých případech i vyšší. Předpoklad, že aplikace ND do rašeliny povede ke zvýšení obsahu přístupné síry ve výsledném substrátu a následně povede i ke zvýšení obsahu celkové síry v nadzemní hmotě testovaných rostlin se tedy potvrdil jen částečně. Z hlediska statistického vyhodnocení je zřejmé, že obsah síry v kontrolním substrátu byl vždy statisticky průkazně vyšší ve srovnání s testovanými. Mezi obsahem S v nadzemní hmotě se při srovnání kontrolního substrátu s testovanými zpravidla nevyskytovaly průkazné rozdíly.

Dílním cílem bylo vyhodnocení vlivu uvedených substrátů na základní parametry. Se stoupajícím množstvím ND v substrátu stoupal i podíl sušiny výsledného substrátu a zároveň klesala jeho čerstvá objemová hmotnost. Vyšší přídatky ND (10 %) zpravidla pozitivně, avšak neprůkazně, ovlivnily hodnoty čerstvé hmotnosti nadzemní hmoty rostlin.

Nejvyšší hodnoty pH testovaných substrátů po sklizni rostlin byly naměřeny zpravidla u varianty 10 % ND a dolomit v dávce 6 g/l. S přidavkem ND se rovněž zvyšovala hodnota elektrické vodivosti. Ani při aplikaci 10% podílu ND však nedošlo k zasolení substrátu. Hodnoty vodivosti u testovaných substrátů ani v jednom případě nepřekročily výsledky dosažené u běžně používaného kontrolního substrátu.

Závěrem lze tedy konstatovat, že pro vytvoření kvalitního pěstebního substrátu je z hlediska síry nutno kromě digestátu přidat do rašeliny ještě S v minerální formě. Pro udržení pH na optimální hladině po celou dobu pokusu lze doporučit zvýšení dávky dolomitického vápence.

9. Seznam literatury a použitých zdrojů

Tištěná monografická publikace:

Altmann, V., Vaculík, P., Mimra, M. 2010. Technika pro zpracování komunálního odpadu. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 120 s. ISBN: 978-80-213-2022-2.

Balík, J., Kulhánek, M., Černý, J., Száková, J., Pavlíková, D., Čermák, P. 2009. Differences in soil sulfur fractions due to limitation of atmospheric deposition. *Plant, Soil and Environment*. 55: 344-352. ISSN: 1214-1178.

Bustamante, M. A., Albuquerque, J. A., Restrepo, A. P., de la Fuente, C., Paredes, C. et al. 2012. Co - composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain addend - value materials for use in agriculture. *Biomass and Bioenergy*. 43: 26-35. ISSN: 0961-9534.

Dzida, K. 2010. Nutrients contents in sweet basil (*Ocimum basilicum L.*) herb depending on calcium carbonate dose and kultivar. *Acta Scientiarum Polonorum. Hortorum Cultus*. 9(4): 143-151. ISSN 1644-0692.

Knights, J. S., Zhao, F. J., McGrath, S. P., Magan, N. 2001. Long - term effects of land use and fertiliser treatments on sulphur transformations in soils from the Broadbalk experiment. *Soil Biology and Biochemistry*. 33:1797-1804. ISSN: 0038-0717.

Kolář, L., Vaněk, V., Kužel, S., Štindl, P. 2009. Sborník z 15. mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 151s. ISBN: 978-80-213-2006-2.

Kulhánek, M., Balík, J., Vaněk, V., Pavlíková, D., Černý, J. 2013. Využití analýz frakcí minerální síry v půdě k optimalizaci hnojení (certifikovaná metodika). Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 26 s. ISBN: 978-80-213-2376-6.

Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P. 2004. Biomasa - obnovitelný zdroj energie. FCC Public. Praha. 288 s. ISBN: 80-86534-06-5.

Scherer, H. W. 2001. Sulphur in crop production - invited paper. European Journal of Agronomy. 14: 81-111. ISSN: 1161-0301.

Schulz, H., Eder, B. 2001. Biogas - Praxis. ökobuch Verlag GmbH. Staufen bei Freiburg/Breisgau. 168 s. ISBN: 3-922964-59-1.

Tambone, F., Scaglia, B., D'Imporzano, G., Schievano, A., Orzi, V. et al. 2010. Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and kompost. Chemosphere. 81:577-583. ISSN: 0045-6535.

Straka, F. a kol. 2006. Bioplyn. GAS s.r.o. Praha. 706 s. ISBN: 80-7328-090-6.

Vaňěk, V., Balík, J., Pavlíková, D., Tlustoš, P. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 167 s. ISBN: 976-80-86726-25-0.

Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera J. 2012. Výživa zahradních rostlin. Academia. Praha. 568 s. ISBN: 978-80-200-2147-2.

Yang, Z., Singh, B. R., Hansen, S., Hu, Z., Riley, H. 2007. Aggregate associated sulfur fractions in long - term (>80 Years) Fertilized Soils. Soil Science Society of America Journal. 70:163-170. ISSN 0361-5995.

Yang, Z., Singh, B. R., Hansen, S. 2006. Aggregate associated carbon, nitrogen and sulfur and their ratios in long-term fertilized soils. Soil&Tillage Research. 95: 161-171. ISSN 0167-1987.

Internetové zdroje:

Anonym. Co je to bioplynová stanice. Enwi Web. [online]. 2003-2012 [cit. 2014-02-24]. Dostupné z: http://www.enviweb.cz/page/co_je_to_bioplynka

Anonym. Investice do rozvoje vzdělávání. Vzdělávání středoškolských pedagogů a studentů středních škol jako nástroj ke zvyšování kvality výuky přírodovědných předmětů. [online]. 2011 [cit. 2014-04-09]. Dostupné z: <http://www.vedajezabava.upol.cz/docs/analyza%20pudy.pdf>

Anonym. Ministerstvo zemědělství. Předpis č. 474/2000 Sb. Vyhláška Ministerstva zemědělství o stanovení požadavků na hnojiva. Zákony pro lidi.cz.[online]. 2000 [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <<http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-474>>

Anonym. Ministerstvo zemědělství. Nařízení vlády č. 262/2012 Sb., o stanovení zranitelných oblastí a akčním programu. eAGRI. [online]. 2009-2013a. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/Legislativa-MZe_uplna-zneni_narizeni-vlady-2012-262.html>

Anonym. Ministerstvo zemědělství. Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech. eAGRI. [online]. 2009-2013b. [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <<http://eagri.cz/public/web/mze/legislativa/pravni-predpisy-mze/tematicky-prehled/100050295.html>>

Anonym. Ministerstvo životního prostředí. Metodický pokyn - K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu. biom.cz. [online]. 2008 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://biom.cz/upload/6e01d6d4c4835ec93cda508772f3bf6e/metodika_schvalovani_bps.pdf>

Bačík, O. Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. CZ Biom České sdružení pro biomasu. [online]. 2001-2009 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-technologie-celonarodniho-vyznamu>>

Dvořáček, T. a kol. Výstavba komunálních bioplynových stanic s využitím BRKO. CZ Biom České sdružení pro biomasu. [online]. srpen 2009 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <<http://czbiom.cz/wp-content/uploads/bioplynky.pdf>>

Kára, J., Pastorek, Z., Příbyl, E. Výroba a využití bioplynu v zemědělství [online]. 2007. [cit. 2014-02-05]. ISBN 978-80-86884-28-8. Dostupné z: <<http://svt.pi.gin.cz/vuzt/publ/P2007/086.PDF>>

Kratochvílová, Z. a kol. Průvodce výrobou a využitím bioplynu [online]. 2009. [cit. 2014-03-02]. Dostupné z: <http://www.mpo-efekt.cz/upload/7799f3fd595eeee1fa66875530f33e8a/Pruvodce_vyrobu_vyuzitim_bioplynu_2.pdf>

Marada, P. a kol. Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. eAGRI. [online]. 2008 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>

Mužík, O., Abrham, Z. Využití a ekonomika bioplynových stanic v zemědělském podniku. ARCHIV WWW stránek VÚZT, v.v.i. do roku 2011. [online]. 2006 [cit. 2014-02-05]. Dostupné z: <http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/ekonomika/BP_kejda_PDF.pdf?menuid=482>

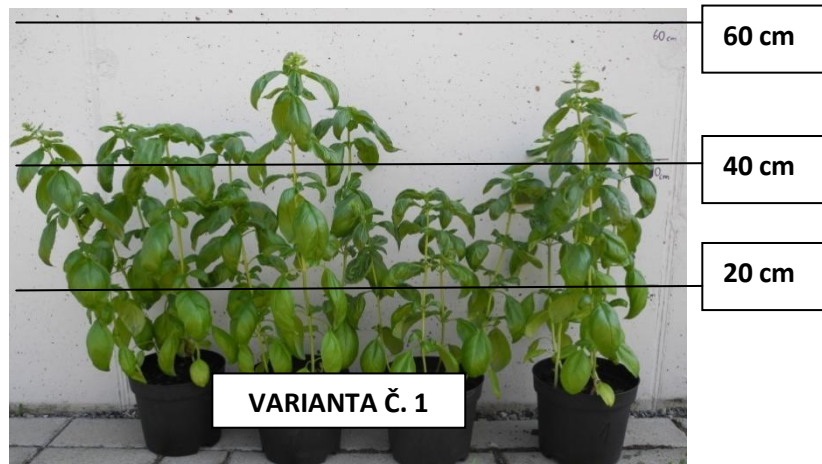
Škarpa, P. Laboratorní výuka z výživy rostlin. Multimediální učební texty. [online]. 2010 [cit. 2014-03-31]. Dostupné z: <http://web2.mendelu.cz/af_221_multitext/laborator/index.php?N=1&I=3&J=7&K=2>

10. Přílohy

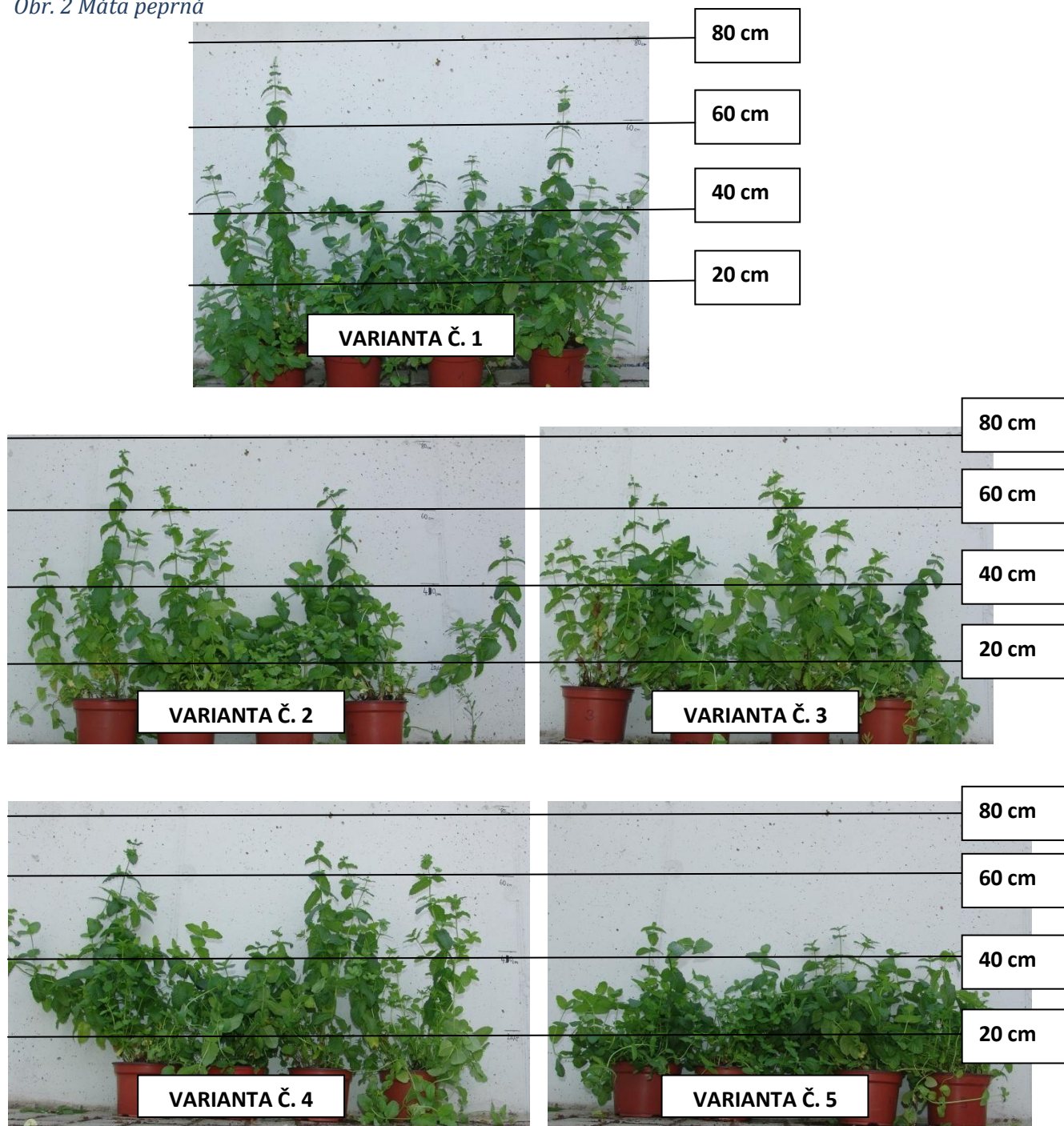
Seznam příloh

Obr. 1 Bazalka pravá	71
Obr. 2 Máta peprná	72
Obr. 3 Gazánie zářivá	73

Obr. 1 Bazalka pravá



Obr. 2 Máta peprná



Obr. 3 Gazanie zářivá

