

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Využití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu  
pro pěstování máty peprné**

**Diplomová práce**

**Autor práce: Bc. Stanislava Laurinová**

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

**© 2014 ČZU v Praze**

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Využití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu pro pěstování máty peprné" 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 datum odevzdání \_\_\_\_\_

### **Poděkování**

Rád(a) bych touto cestou poděkoval(a) vedoucímu práce Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D za cenné rady, spolupráci a podklady práci. Zvláště bych chtěla poděkovat za jeho ochotu, trpělivost, vstřícnost a celkově vřelý přístup.

## Využití neseparovaného digestátu jako součásti substrátu pro pěstování máty peprné

### Souhrn

Otázka ochrany životního prostředí a trvale udržitelného rozvoje je v dnešní době čím dál více aktuální a veřejnost o ni projevuje větší a větší zájem. Jedním z nejčastějších způsobů, jak k trvale udržitelnému rozvoji přispět je minimalizace odpadů. Téměř veškerý odpad, který lidé vyprodukují lze roztřídit a zrecyklovat.

Biologicky rozložitelný odpad tvoří velké procento z celkového odpadu. Zejména v dnešní době, kdy jsou kladeny čím dál větší nároky na kvalitu a vzhled potravin v obchodech a restauracích. Dalším významným producentem biologicky rozložitelného odpadu jsou zemědělské podniky. Jednou možností zpracování biologicky rozložitelného odpadu je anaerobní fermentace v bioplynových stanicích. Díky procesu fermentace se z biologického odpadu získá bioplyn, který je možno dále využít, a tím ušetřit například za tepelnou energii získanou z fosilních paliv. Zbytek, který z BPS vyjde se nazývá digestát. Digestát, ačkoli prošel procesem fermentace stále obsahuje mnoho makroprvků a živin využitelných pro výživu rostlin. Nabízí se tedy další možnost využití biologicky rozložitelného odpadu, a to použití digestátu jako hnojiva.

Cílem této práce bylo sestavení substrátu vhodného pro pěstování máty peprné kombinací rašeliny a neseparovaného digestátu porovnání vzniklého média s běžně používanými pěstebními substráty. Předpokládalo se, že vhodným smícháním rašeliny a neseparovaného digestátu vznikne substrát, který je srovnatelný s běžně dostupnými substráty pro pěstování máty peprné.

Pro pokus byly jako kontrolní srovnávací varianta využity 2 typy běžně používaných substrátů. Dále byla využita rašelina namíchaná objemově s 5, 10 a 15 % neseparovaného digestátu. Sledován byl celkový obsah sušiny v substrátech, obsahy makroprvků P, K, Ca, a Mg, dále N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> a hodnota pH. Sledován byl i obsah makroprvků a sušiny v rostlinách vzešlých na jednotlivých substrátech.

Kromě vápníku se potvrdil předpoklad, že digestát bude mít pozitivní vliv na obsah makroprvků v substrátech a v rostlinách. S výjimkou Ca, se tedy obsahy živin zvyšovaly úměrně s množstvím přidaného digestátu. Hodnotu pH v substrátech sice digestát zvýšil, ovšem jen o několik desetín a žádná z pokusných variant se nevyrovnala kontrolním

substrátům. Obsahy živin v nadzemní biomase korespondovaly s výsledky substrátů. Kromě draslíku bylo zaznamenáno zvýšení obsahu prvků v závislosti na přidaném digestátu.

**Klíčová slova:** digestát, pěstební substrát, makroprvky, pH, *Mentha piperita*. L.

**Naformátováno:** Doleva, Odsazení:  
První řádek: 0 cm, Řádkování:  
jednoduché

## **Using of unseparated digestate as a part of substrate for mentha piperita cropping**

### **Summary**

Biodegradable waste comprises a large percentage of the total produced waste. Especially nowadays, when are placed increasing demands on quality and the visual aspect of the food in shops and restaurants. Another major producer of biodegradable waste are agricultural enterpris and farms. One of the options of processing biodegradable waste is anaerobic fermentation in biogas stations. Thanks to fermetation process is possible to get biogas from biodegradable waste. This biogas can be further used to for example saving the thermal energy obtained from fossil fuels. The waste, which comes out of the biogas station is called digestate. Digestate, although passed a process of fermentation, still contains many macronutrients usable for plant nutrition. So it can offer another option of using the biodegradable waste and thus digestate as a fertilizer.

The aim of this thesis was composing of the suitable substrate for peppermint growing by combining of peat and nonseparated digestate and comparison of resulting media with conventional growing substrates. It was expected, that by suitable mixing of peat and nonseparated digestate arises the substrate, which is comparable with commonly available substrates for peppermint growing.

For the experiment, two types of commonly used substrates were used as a comparative control variation. Furthermore was used peat premixed with 5, 10 and 15% of digestate volume. Total solid content in substrates was observed, futhermore content of P, K, Ca and Mg and N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub> and pH. Thethe macronutrients content in plant above ground biomass was observed as well.

Besides of calcium was confirmed the assumption that the digestate will have a positive influence on the content of macroelements in substrates and in plants. With the exception of calcium, nutrient content was increasing proportionally with amount of added digestate. The pH in substrates analyzed after the harvest was increased by digestate, but only slightly, and none of the experimental variations was equal to the control substrates. The content of nutrients in above-ground biomass corresponded with results of substrates. Besides

potassium, increasing tendency of the biomass elements content depended on added digestate was detected.

**Key words:** digestate, growing substrate, macronutrients, pH, *Mentha piperita*, L.

## 1 Obsah

### 1.Úvod

Otázka obnovitelných zdrojů energie je v současné době velmi aktuální a zájem o jejich využití bude s největší pravděpodobností stále vzrůstat. Ačkoliv nejsou solární, vodní, větrné elektrárny a bioplynové stanice novým pojmem, až v posledních několika letech si široká veřejnost čím dál více začíná uvědomovat jejich výhody nad konvenčními zdroji energie. Tyto zdroje jsou, na rozdíl od obnovitelných zdrojů, vyčerpatelné a jejich dlouhodobé, intenzivní využívání nemá dobrý vliv na životní prostředí, zdraví lidí a trvale udržitelný rozvoj.

Právě bioplynové stanice (BPS) jsou velkým přínosem pro zemědělské podniky a minimální zátěží pro životní prostředí. Jaké výhody tedy bioplynová stanice nabízí?

#### - **Pozitivní vliv na životní prostředí**

Využití biomasy má příznivý vliv na omezení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře díky uzavření koloběhu CO<sub>2</sub>. Oxid uhličitý, který je spotřebován při fotosyntéze je následně vypuštěn zpět do atmosféry. Právě díky obecnému zájmu veřejnosti o zlepšení ovzduší dochází k legislativnímu tlaku v podobě obnovy zákona o odpadech a zákona o integrované prevenci před znečištěním ovzduší a registraci znečišťovatelů.

#### - **Možnost využít bioplyn jako zdroj energie**

Vzniklý bioplyn může být využit pro vytápění objektu, ohřev vody nebo samotnou výrobu teplé užitkové vody pomocí kogenerační jednotky. Tímto se snižuje spotřeba elektrické energie z externích zdrojů a dochází k úsporám. Ačkoli se tento fakt může na první pohled jevit jako ztrátový (BPS využívá zdroje, které by mohla prodat), není tomu tak. I přes postupné navyšování minimálních výkupních sazeb, nejsou zisky z prodeje energií z obnovitelných zdrojů tak vysoké.

#### - **Výroba vlastních organických hnojiv**

Pokud podnik vyprodukovaný materiál nenabízí na trhu, může ho použít jako hnojivo pro vlastní zemědělskou výrobu bez nutnosti registrace.

Právě vzniklý digestát je bohatý na obsah živin a prvků, které mohou být dále využity rostlinami. Tato práce se zaměřuje na zkoumání digestátu a jeho použití jako komponentu



pěstebních substrátů. Digestát byl do substrátu přidáván v různých koncentracích a na vzešlých plodinách (Máta pepmá) byl hodnocen jejich přínos.

## **2. Cíl práce**

Cílem práce bude sestavení nového substrátu pro pěstování máty pepřné kombinací rašeliny a neseparovaného digestátu a porovnání vzniklého média s běžně používanými pěstebními substráty.

### **3. Hypotéza**

Předpokládá se, že vhodným smícháním rašeliny a neseparovaného digestátu vznikne pěstební substrát, který je srovnatelný s běžně užívanými pěstebními substráty pro pěstování máty peprné.

## 4. Literární rešerše

### 4.1. Historie výroby a využití bioplynu

Na Zemi se vždy vyskytovaly přírodní zdroje přírodních plynů, které se lidé později naučili využívat. Ovšem až v 18. Století vzrostl zájem o využití bioplynu a ve druhé polovině 20. století se začaly vyvíjet technologie na jeho efektivní využití. Hlavním důvodem byl strach z vyčerpání ložisek ropy a tehdejší energetické krize (Benda *et al.* 2012)

Novodobá historie bioplynu začíná na přelomu 18. A 19. Století v Anglii a USA. Anaerobní fermentací začínají být hromadně zpracovávány kalý z čističek odpadních vod. Tehdy nazývaný kalový plyn byl využíván k ohřevu nádrží, k pohonu elektrických motorgenerátorů a vozidel. Od 30. Let 20. století výzkum anaerobní fermentace mnohem více zintenzivňuje a dochází ke zdokonalování skladby používaných mikroorganismů (Straka, *et al.*).

První pokusy v České Republice proběhly v roce 1956 ve Výzkumném ústavu zemědělské techniky v Praze. Jednalo se o suchou fermentaci chlévské mrvy. Ovšem i přes úspěšné získání kvalitního bioplynu nemohla tato technologie konkurovat fosilním palivům. Až druhá ropná krize v roce 1982 vedla ke zvýšení zájmu o bioplyn a jeho energetické využití. Tento fakt vedl k založení experimentálních provozů, z nichž se tři zaměřovaly na suchou fermentaci a tři na mokrou fermentaci. Cílem projektu bylo zlepšení úrodnosti půdy a omezení negativních vlivů na životní prostředí. Další výrazný rozmach těchto technologií přinesly až dotace poskytované od roku 2009 ministerstvem zemědělství a ministerstvem životního prostředí. Dotace byly podpořené zákonem č. 180/2005 Sb. o podpoře výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů (Benda *et. al.*, 2012).

## 4.2. Bioplynové stanice a jejich rozdělení

Podle vyhlášky O obnovitelné energii (2009/28/EC) hrají bioplynové stanice hlavní roli v přeměně biologicky rozložitelných odpadů na energii.

Bioplynové stanice jsou zařízení, které slouží ke zpracování biologicky rozložitelných látek a odpadů pomocí anaerobní digesce. Při této činnosti vzniká především bioplyn a digestát, Digestátem rozumíme zbytek vyšlý z BPS. Tento zbytek je možno dále rozdělit na pevnou složku (separát) a tekutou složku (fugát) (Bilík *et. al.* 2010)

V dnešní době existuje celá řada typů bioplynových stanic, které využívají různé druhy biologického odpadu od čisté biomasy až po kaly z odpadních vod (Babička, 2010).

Výhody, které bioplynová stanice zemědělskému podniku uvádí Babička (2010):

- Získání energie v jakékoli formě
- Výrazné zmenšení pachového zatížení z živočišných výrob
- Zpracování organických zbytků
- Získání hnojiva, které splňuje podmínky ekologického zemědělství

Motlík a Váňa (2002) uvádějí jako další výhodu fakt, že použití bioplynu k vlastním energetickým potřebám snižuje závislost zemědělského subjektu na fosilních palivech-

Systémy bioplynových stanic se mohou lišit podle vlastností vstupního materiálu. Většina bioplynových stanic se skládá z těchto technologických částí:

- Příjmová část
- Fermentor nebo soustava fermentorů
- Kalová koncovka (Benda a kol., 2012).

### 4.2.2. Rozdělení bioplynových stanic

Bioplynové stanice mohou být rozděleny podle několika kritérií. Nejčastěji rozdělujeme bioplynové stanice podle druhu zpracovávaného substrátu a podle typu fermentace

- **Rozdělení BPS podle druhu zpracovávaného substrátu**

Rozdělení BPS podle druhu zpracovávaného substrátu je uvedeno v metodickém pokynu ministerstva životního prostředí v sekci ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu. Tento pokyn rozděluje BPS na:

- Zemědělské bioplynové stanice
- Čistírenské bioplynové stanice
- Ostatní bioplynové stanice

**V zemědělských** bioplynových stanicích lze zpracovávat materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, a podestýlky. Není zde možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech. Můžou se zde zpracovávat materiály živočišného původu, jako kejda prasat, hnůj a stelivo skotu, hnůj a stelivo koz a koňů a drůbeží exkrementy včetně steliva. Dále se zde zpracovávají materiály rostlinného původu, jako sláma z obilovin a olejnin, plevy a odpad ze zpracování obilovin, bramborová a řepná nať, travní biomasa a seno, nezkrmitelné rostlinné materiály.

**V čistírenských** bioplynových stanicích lze podle pokynu MŽP zpracovávat čistírenské kaly z ČOV a jsou nedílnou součástí čistírenských odpadních vod. Anaerobní fermentace se provádí především za účelem stabilizace kalu. Do čistírenských bioplynových stanic mohou vcházet pouze kaly z ČOV, žump a septiků. Není možné v nich zpracovávat jiný biologicky rozložitelný odpad (Pokyn MŽP, Švehla *et al.*, 2005)

**Ostatní** bioplynové stanice jsou podle pokynu MŽP stanice, které zpracovávají suroviny nevhodné ke spotřebě nebo zpracování (prošlé a zkažené potraviny), odpady z výroby a zpracování masa, odpady z výroby alkoholických a nealkoholických nápojů, odpady ze zpracování dřeva a výroby desek, nábytku, celulózy, papíru a lepenky, zkažená krmiva, zkažená nemořená osiva, atd. Díky zpracování rizikových materiálů musí být tyto stanice vybaveny pasterizačně /sanitační jednotkou pro zajištění dostatečné hygienizace vedlejších živočišných produktů. V případě, že stanice pasterizačně /sanitační jednotkou nedisponuje musí zajistit, aby byly materiály podrobeny tepelnému zpracování při teplotě nejméně 133°C

po dobu minimálně 20 minut bez přerušení, při absolutním tlaku minimálně 3 bary. Dále musí být stanice vybavena prostorem k čištění a desinfekci dopravních prostředků, kontejnerů a přepravních nádob před výjezdem dopravních prostředků ze zařízení.

- **Rozdělení BPS podle typu fermentace**

BPS můžeme dělit na stanice provozující mokrou fermentaci a na stanice provozující suchou fermentaci. BPS s mokrým procesem zpracovávají zejména materiál, jehož sušina dosahuje maximálně 14%. Bioplynové se suchým procesem zpracovávají materiál obsahující 20-50 % sušiny (Pospíšil *et. al.*, 2010)

BPS se suchým procesem mají nižší energetickou bilanci oproti BPS s mokrým procesem, jelikož tekutý materiál je třeba neustále promíchávat. Bioplynové stanice se suchým procesem jsou také často vybavené spolehlivějším zařízením, mají menší nebo žádnou spotřebu vody a menší spotřebu tepla. Největší výhodou bioplynových stanic je ovšem možnost zpracovávat mnohem rozmanitější spektrum biomasy, než je tomu v případě BPS s mokrým procesem. Navíc nežádoucí příměsi například z biologicky rozložitelných odpadů (sklo, kovy, kamení, plasty...) negativně neovlivní chod stanice. (Havličková *et. al.*, 2008; Babička 2012).

### **4.3. Vybavení bioplynových stanic**

#### **4.3.1 Příjmová část**

Příjmová část slouží také ke skladování materiálu před samotným dodáním do stanice. V případě zemědělské BPS je nutné oddělovat přijímací stanici od zemědělského provozu (Kratochvílová *et. al.*, 2009).

Je společná pro všechny druhy fermentace. Dochází zde k evidenci materiálu, vážení, zjišťování jeho charakteru a množství (Altmann *et. al.*, 2010).

Probíhá zde zejména úprava vstupního materiálu. Dochází k odstranění nežádoucích složek a odpadů (písek, sklo, kusy dřeva, kameny), k hygienizaci materiálu, inokulaci, homogenizaci materiálu v případě jeho nevyhovujících vlastností (pH, poměr C:N, obsah

sušiny). V této části se materiál dávkuje do fermentoru a dochází k první fázi procesu, hydrolyze (Benda *et. al.*, 2012).

K úpravě materiálu se používají drtiče, magnetické třídíče a mechanické třídíče (balistické, diskové a bubnové separátory)(Altmann *et. al.*, 2010).

#### 4.3.2.Fermentory

Fermentory (reaktory, bioreaktory, digestory) a jejich soustavy jsou nejdůležitějším prvkem linky, kde dochází za stálé teploty k rozmožení anaerobních organismů a k rozvoji jejich činnosti. Rozeznáváme fermentory na suchou fermentaci, mokrou fermentaci, na tekutý materiál a skládku organických odpadů (Benda *et. al.*, 2010).

Je nutné, aby reaktory splňovaly určité požadavky. Musí být schopné vytvořit ideální podmínky pro rozvoj mikroorganismů a jejich činnost, musí umožňovat udržení správné teploty, a musí být vybaven zařízením na míchání materiálu. Materiál je promícháván buď stlačeným bioplynnem, čerpadly nebo vrtulovými míchadly (Altmann *et. al.*, 2010)..

Ideální teplota se udržuje ohříváním materiálu přímo v reaktoru nebo externě. Při ohřevu reaktoru může sloužit jako topné médium horká voda přiváděná systémem zabudovaných topných hadů. Dalším způsobem je ohřev externí cirkulací směsi přes tepelné výměníky, do nichž opět proudí topná voda. Voda se ohřívá v horkovodních kotlích nebo kogeneračních jednotkách. Materiál je promícháván buď stlačeným bioplynnem, čerpadly nebo vrtulovými míchadly. (Kára *et. al.*, 2007)

- **Fermentory na mokrou fermentaci**

Jsou vyrobeny z plynotěsného železobetonu, plastu a kovu. Je používáno mnoho druhů těchto jednotek a jsou rozděleny podle několika kritérií. Podle tvaru (válcové s horizontální osou, válcové s vertikální osou, kulové, polokulové, vejčité), podle umístění v terénu (nadzemní, podzemní, polozapuštěné). Na řízené či neřízené či podle vybavení (se stěnovým, vnitřním nebo vnějším vytápěním, s hydraulickým, plynovým nebo turbínovým mícháním) atd. (Benda *et. al.*, 2012).

Z hlediska míchání je nutné brát v potaz celkový obsah sušiny ve vstupním materiálu. Ve fermentorech, kde se zpracovávají suspenze s vysokým procentem sušiny (15 %) není hydraulické nebo pneumatické míchání účinné. Je nutné materiál promíchávat mechanicky (Straka *et. al.*, 2010)



Soustava reaktorů je většinou tvořena příjmovým zásobníkem, reaktorem a skladovacím zásobníkem. Novější linky mají za fermentorem, s řízeným procesem navíc fermentor s neřízeným procesem (dofermentor). Je možné z něj dostat ještě dodatečných 15-20% bioplynu. Fermentory mohou být sestaveny paralelně, sériově a nebo kombinací těchto sestav (Benda *et al.*, 2012).

- **Fermentory na suchou fermentaci**

Těchto reaktorů rozlišujeme taky několik typů:

- Fermentor typu „koš krytý tepelně izolovaný zvonem“
- Fermentory „garážového typu“
- Válcové kontinuální jednotky
- Fermentační jednotka ze speciálně upravených vaničkových kontejnerů (Benda *et al.*, 2012).

**Zvonové reaktory** byly speciálně vyvinuty pro fermentaci slamnatých hnojů a samotné slámy. Tento materiál bývá do zařízení vkládán do velkých košů, kde je překryt plynotěsným zvonem a ponechán fermentaci. Tento typ fermentace je velmi náročný na čas a manipulaci, nedochází v nich k problémům s vypouštěním odpadních vod (Straka *et al.*, 2010).

**Garážové reaktory** patří spolu s e zvonovými k nejčastěji používaným. Jsou také konstruovány jako komory vyplněné tuhým materiálem. Tento typ ovšem oproti zvonovému nese jisté výhody. Je zde možno zabudovat systém recyklačního potrubí pro oběh výluhů a pro zvlhčování reagujícího lože (Straka *et al.*, 2010).

Jsou taktéž z kovu, železobetonu, dřeva nebo plastu. Bioplynová stanice na suchou fermentaci má obvykle několik fermentačních jednotek. Obvykle šest až osm (Benda *et al.*, 2012).

### **4.3.3. Bioplynová koncovka**

Bioplynovou koncovkou obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník, kontrolní a regulační prvky, zařízení na čištění plynu a hořák zbytkového plynu (Kára *et al.*, 2007).

#### 4.3.4..Kalová koncovka

Výstup z kalové koncovky tvoří digestát, který je třeba upravit a separovat. Separuje se na tuhý podíl, kde zůstává větší část organické sušiny a tekutý podíl, kde je malý zbytek sušiny, ovšem velký podíl živin (N, P, K) (Benda *et al.*, 2012).

Koncovka je složena z armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lisů) (Kára *et. all.*,2007).

V případě, že je digestát vpouštěn do řeky, je nutné ho chemicky vyčistit. Pokud je v zemědělském podniku dále využíván jako hnojivo, tak čištění potřeba není (Pastorek *et. al.*, 2004).

#### 4.4. Bioplyn

Bioplyn je směs různých plynů vznikajících fermentací. Fermentací můžou projít všechny druhy biomasy (Benda *et. al.*,. 2012).

Altman *et. al.*, (2010) charakterizuje bioplyn jako plyný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek tj. metanizace. Jedná se o směs **metanu** (CH<sub>4</sub>) a **oxidu uhličitého** (CO<sub>2</sub>), kde v ideálním případě souhrn těchto dvou sloučenin dává hodnotu blízkou 100 % objemu s převahou metanu.

Toto dokonalé složení bioplynu, se ovšem vyskytuje zřídka. Bývají zde obsaženy nedokonale spotřebované produkty acidogeneze – vodík (H<sub>2</sub>) a přebytek **oxidu uhličitého**. Dále mohou být přítomny vzdušné plyny – **dušík** (N<sub>2</sub>), **kyslík** (O<sub>2</sub>) a **argon** (Ar). Také stopové prvky z odchozích reakcí organické hmoty – **sulfan** (H<sub>2</sub>S), **oxid dusný** (N<sub>2</sub>O), **kyanovodík** (HCN, **uhlovodíky** a jejich sirmé a kyselé deriváty (Altmann *et. al.*, 2010).

Benda *et. al.*,(2012) uvádí obvyklé složení bioplynu :

- Majoritní plyny
  - Metan 50 – 75 %
  - Oxid uhličitý 20 – 45 %
- Minoritní plyny

- Vodní páry 0 – 7 %
- Sulfan 0,2 – 4,5 %
- Kyslík
- Dusík
- Vodík
- Stopové množství argonu, halogenuhlovdíků, amoniaku a oxidu uhelnatého

Pokud je obsah  $\text{CO}_2$  vyšší než 50 %, nedošlo k vytvoření dostatečných podmínek k fermentaci. Přítomnost sulfanu, který je velmi významným minoritním plynem naznačuje vysoký obsah bílkovin ve vstupním materiálu. Vysoký obsah  $\text{H}_2\text{S}$  může vést až ke špatné využitelnosti bioplynu. Přítomnost kyslíku je kromě první fáze nežádoucí. Bývá způsobena nedostatečným odvodušněním a je velmi nežádoucí z bezpečnostního hlediska, jelikož metan a vzdušný kyslík tvoří výbušnou směs.  $\text{H}_2$  nezpůsobuje problémy. Jeho přítomnost je ukazatelem nedokonalého průběhu acidogeneze a metanogeneze. Halogenuhlovdíky jsou v bioplynu obsaženy zejména byl-li vstupním materiálem komunální odpad. Argon, amoniak a oxid dusný jsou vzdušného původu (Kára *et. al.*, 2007).

Bioplyn vzniká v několika na sebe navazujících dílčích procesech. Za přítomnosti několika druhů anaerobních a aerobních mikroorganismů zde dochází k rozkladu vstupní organické hmoty. Činnost těchto organismů je podmíněna dostatečnou koordinavostí, jelikož výsledný produkt fáze předchozí se stává vstupním materiálem pro fázi následující. (Altmann *et. al.*, 2010)

#### 4.4.1. Optimální podmínky pro vznik bioplynu

Proces fermentace a konečné složení bioplynu je ovlivněno několika faktory. Zejména složením vstupního materiálu, průběhem jednotlivých procesů a fází, vnějšími a vnitřními podmínkami ( hodnota pH, teplota, obsah inhibičních látek (Benda *et. al.*, 2012).

Kvalita a složení bioplynu je ovlivnitelná několika vnějšími i vnitřními faktory. Snaha ovlivnit anaerobní fermentaci, její fáze a vstupní materiál je tedy nezbytně nutná, chceme-li dosáhnout nejlepších výsledků (Kára *et al.*2007).

Podle Káry *et al.*, (2007) je nejdůležitější dodržet zejména optimální teplotu a optimální pH:

- **Optimální teplota**

Bioplyn lze získávat v podmínkách:

- Mezofilního teplotního režimu (35-40 °C)
- Termofilního teplotního režimu (55-60 °C) (Altmann *et al.*, 2010)

Při termofilních procesech dochází k vysoké účinnosti rozkladu, rychlému zpracovávaného materiálu, vyšší produkci samotného bioplynu, destrukci patogenů, k vysoké hygienizaci a přináší lepší podmínky pro filtraci a sedimentaci zpracovávaných suspenzí (Straka *et al.*, 2010)

Termofilní procesy ovšem přináší i jistá negativa. Fermentace probíhající v těchto podmínkách zvyšuje náklady na ohřev reaktorů. Dochází ke zvýšení koncentrace těkavých afatických karbonových kyselin ve fugátu a narůstá transfer volného amoniaku a sulfanu do fugátu (Straka *et al.*, 2010)

Procesy probíhající v mesofilním režimu jsou tedy ekologičtější a ekonomičtější, ovšem není vhodné je využívat v situacích, kdy je potřeba materiál hygienizovat (Kára *et al.*, 2001)

- **Optimální pH**

Optimální pH pro organismy podílející se na anaerobní fermentaci se pohybuje v rozmezí 6,7 – 7,5. Pokud hodnota pH klesne pod 6,5 klesne produkce organických kyselin, což způsobí pokles činnosti hydrolytických bakterií, čímž může dojít až k zastavení celého procesu fermentace (Deubleinet. *al.*, 2008)

#### **4.4.2. Biomasa vhodná pro zpracování v BPS**

Biomasu charakterizujeme jako substanci organického původu rostoucí na půdě, ve vodě, živočišnou biomasu neb vedlejší produkty organického původu (např. odpady) (Benda *et. all.*).

K anaerobní digesci může být prakticky použita jakákoliv biomasa, která obsahuje sacharidy, tuky, proteiny celulosu a hemicelulosu (Deublein *et. al.*, 2008)

Ze zemědělské produkce je možno použít téměř všechny druhy biomas. Většina rostlinného materiálu využívaného k fermentaci obsahuje chlévský hnůj. Anaerobní digesce odpadu obsahujícího živočišnou složku vykazuje lepší výsledky, než anaerobní digesce samotné rostlinné biomasy. Tento fakt je způsoben vysokou koncentrací dusíku v živočišném odpadu (Fernandez,2009)

Biomasu vhodnou k anaerobní fermentaci Benda *et. al.*,(2012) rozděluje do těchto kategorií a podkategorií:

Záměrně pěstovaná biomasa pěstovaná:

- k potravinářským účelům
- na krmiva
- jako průmyslové suroviny
- jako energetické plodiny

Odpad ze zemědělské výroby

- Odpad z potravinářského průmyslu
- Odpad z péče o krajinu
- Odpad z lesní činnosti
- Organické odpady z venkovských sídel (Benda *et. all.*)

Dublein *et. all.*,(2008) charakterizuje vlastnosti, které by měla vhodná biomasa splňovat:

- Obsah organických látek by měl odpovídat vybranému anaerobnímu procesu
- Výživová hodnota organických látek by měla být co nejvyšší
- Substrát by neměl obsahovat žádné patogeny a organismy, které je nutno před procesem přeměňovat na neškodné
- Aby fermentace probíhala hladce, měl by být obsah odpadních a škodlivých látek nízký
- Složení fermentačního zbytku by mělo umožňovat jeho co nejefektivnější využití jako hnojiva.

Obecně se podle Altmanna *et. al.*, (2010) a Bendy *et. al.*, (2012) jedná o tyto podmínky:

- Pufrovitost substrátu (odolnost vůči změnám pH)
- Poměr C:N
- Obsah polysacharidů, proteinů a ligninu

- Vysoký podíl rozložitelných látek
- Nízký obsah anorganického podílu

- **Pufrovitost**

Vstupní produkt by měl být co nejvíce odolný vůči změnám pH, jelikož během fermentace dochází k jeho výkyvům. Zatímco na začátku procesu je hodnota pH spíše neutrální (7,0-7,8), vstupem do acidogenní fáze hodnota pH klesá na hodnotu 4,0-6,0 a metanogenní organismy na konci fermentačního procesu jsou schopny pracovat i při pH 8,0-9,0. Ideálního složení vstupního materiálu z hlediska pufrovitosti je dosahováno především jeho homogenizací (Benda *et. al.*, 2012).

- **Poměr C:N**

Optimální obsah C:N materiálu určeného k anaerobní fermentaci by měl být 30:1. Jiný poměr může negativně ovlivnit složení výsledného bioplynu. Zejména vysoký obsah dusíku má za následek přítomnost jiných, nežádoucích složek, jako amoniaku, oxidu dusného. Mezi materiály bohaté na dusík patří zejména exkrementy hospodářských zvířat (Benda *et. al.*, 2012).

V rostlinných materiálech je poměr C:N optimální, ovšem, čím více je plodina zralejší, tím je poměr vyšší. Poměr prvků C:N:P:K by se měl pohybovat v hodnotách 600:20:6:1 (Benda *et. al.*, 2012).

Pro získání optimálního poměru C:N je třeba vstupní materiál homogenizovat (Altman *et. al.*, 2010).

- **Vysoký obsah biologicky rozložitelných látek a nízký obsah popelovin**

Pevné zpracovávané materiály by měli mít optimálně obsah sušiny v rozmezí 22-25 %. Tekutý materiál 8-14 %. Maximální obsah sušiny, kdy ještě probíhá anaerobní fermentace je 50 % (Altman *et. al.*, 2010).

#### 4.5. Fáze anaerobní fermentace

Biochemické procesy, které probíhají v kulturách organismů produkujících metan, jsou stále předmětem intenzivního výzkumu. Stále dochází k objevování nových

mikroorganismů a jednotlivých druhů vytvářejících přírodní bakteriální agregáty. Jako většinový zdroj metanu byla doposud potvrzena pouze kyselina octová a oxid uhličitý (Deublein *et.al.*, 2008)

Tento proces probíhá ve čtyřech fázích:

- Hydrolýza,
- Acidogeneze,
- Acetogeneze,
- Metanogeneze (Atmann *et al.*, 2010, (Deublein *et.al.*, 2008)

Mikroorganismy působící v těchto fázích patří do unikátní genealogické skupiny, která se vytvořila dávno před vytvořením kyslíku v zemské atmosféře (Váňa *et al.*, 2010).

#### 4.5.1. Hydrolýza

Jedná se o první stádium anaerobního rozkladu organické hmoty, ve kterém dochází k rozkladu makromolekulárních látek, lipidů, proteinů a polysacharidů na látky nízkomolekulární. Rozklad je proveden extracelulárními hydrolytickými enzymy produkovaný fermentačními bakteriemi (Altmann *et al.*, 2010)

I přes fakt, že hydrolytické mikroorganismy mohou provádět svou činnost i ve značně rozdílných teplotách, optimální teplota hydrolýzy je mezi 40-60 °C (Fernandes, 2010)

Jako nejčastější mikroorganismy působící v této fázi uvádí Altman a kol. (2010) zejména: *Methanobacterium bryantii*, *Methanobacterium formicium*, *Methanobacterium thermoautotrophicum*, *Methanobacterium ruminatum*, *Methanococcus vanielii*, *Methanococcus voltae*, *Methanobacterium narisnigiri*, *Methanobacterium arborophilus*, *Methanococcus mazei*, *Methanobacterium mobile*, *Methanogenium cariaci*, *Methanohalobium evansii*.

Tyto hydrolytické bakterie rozkládají polymery vně buňky za využití extracelulárních enzymů (Váňa *et al.*, 2010).

#### 4.5.2. Acidogeneze

Druhé stadium anaerobního rozkladu. Díky rozkladu na nízkomolekulární látky, jsou produkty hydrolýzy schopny projít dovnitř buněk. V jednotlivých buňkách dochází k rozkladu na kyseliny (Kyselina octová a mléčná), alkoholy, oxid uhličitý a vodík (Altmann *et al.*, 2010).

Za tento proces jsou zodpovědný mikroorganismy z čeledí *Clostridium*, *Lactobacillus*, *Bifidobacterium*, *Eubacterium* (Altmann *et al.*, 2010).

#### 4.5.3. Acetogeneze

V proces Acetogeneze dochází k oxidaci produktů acidogeneze na  $H_2$ ,  $CO_2$  a kyselinu octovou. Důležitou úlohu zde hrají syntrofní autogenní bakterie, které produkují  $H_2$ . Tyto bakterie rozkládají kyseliny vyšší, než kyselinu octovou, zejména propionovou, alkoholy a aromáty. Jedná se zejména o *Syntrophobacter wollii*, *Syntrophomonas wolfei*. Činnost těchto organismů je nutno podpořit s dalšími skupinami, které vzniklý  $H_2$  spotřebovávají. Pokud by se tak nestalo, nadbytek  $H_2$  by inhiboval činnost syntrofních organismů a tím omezil produkci metanogenních substrátů (Altmann *et al.*, 2010).

#### 4.5.4. Metanogeneze

V této fázi dochází k rozkladu jednoduchých látek na metan a oxid uhličitý za pomoci metanogenních bakterií (Altmann *et al.*, 2010).

### 4.6. Význam prvků v rostlinách

#### 4.6.1. Dusík

Dusík je jedním z nejvýznamnějších prvků v koloběhu rostlin v přírodě. Jedná se o základní stavební prvek bílkovin, nejdůležitějších sloučenin živé hmoty. Rostlinami je dusík přijímán v podobě amonného kationtu nebo nitrátového dusičnanového aniontu. Příjem jednotlivých iontů ovlivňuje kromě samotné rostliny také teplota a pH prostředí. V prostředí kyselější rostlina přijímá především  $NO_3^-$ , naopak v alkalickém prostředí převládá  $NH_4^+$ . Příjem dusíkatých iontů bývá ovlivněn i příjmem iontů dalších prvků. Pokud je rostlina



vyživována především  $\text{NO}_3^-$  dochází k příjmu kationtů. Zejména  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  a  $\text{Mg}^{2+}$ . Přítomnost  $\text{NH}_4^+$  příjem ostatních iontů, zejména kationtů, značně omezuje (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek dusíku**

Při nedostatku dusíku se snižuje tvorba bílkovin, a tím nedochází k dostatečnému růstu rostlin. Nedokonalý vývin listů má za následek menší tvorbu chlorofylu, což vede k nedostatečné fotosyntetické činnosti a tvorbě biomasy. Rostliny jsou tedy nižší, slabší a světlejší. Všechny tyto aspekty vedou ke snížení tvorby semen, produkce, výnosu a kvality plodin (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek dusíku**

Ačkoli je tento jev méně častý než nedostatek dusíku, mívá také podstatně negativní účinky. Výsledky nadbytku se liší podle druhu rostliny a vegetativní fáze, ve které se jedinec nachází. Ke hromadění N-látek dochází především za horších světelných podmínek. Rostliny jsou robustní, bohatě se větví, jsou sytě zelené a listy jsou velké. Ač se tyto projevy mohou zdát přínosné, není tomu tak. Porosty jsou hustší, nedochází tedy k dostatečnému prosvětlení, zvýšení vlhkosti, což utváří ideální podmínky pro plísně a choroby. Větší plocha rostlin má za následek slabší a křehčí mechanická pletiva a dochází k polehávání porostu. Přijímaný dusík se dostává do okrajů listu, kde překračuje svou toxickou hladinu a dochází k nekrotickým okrajům listů usychajících, což v konečném důsledku vede až k jejich odumření. (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **4.6.2. Fosfor**

Převážná část fosforu obsaženého v půdě je pro rostliny nepřijatelná. Zejména pak minerální sloučeniny. Sloučeniny fosforu a železa či stříbra. Naopak vápenaté sloučeniny fosforu mohou zajistit výživu rostlin tím, že se začnou postupně uvolňovat do přijímaného roztoku. Velký význam pro výživu rostlin má především fosfor pocházející z organických sloučenin, jako rytin, fosfolipidy, fosforylované lipidy a nukleové kyseliny. Fosfor se v rostlinách podílí především na biochemických reakcích a přenosu energie (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek Fosforu**

Při krátkodobém nedostatku fosforu nedochází k vnějším projevům, ovšem jsou silně narušeny biochemické procesy související s fotosyntézou. Dlouhodobý nedostatek se již

projevuje na vzhledu rostlin. Jsou menší, stonky slabší, kořeny nedostačující, listy jsou úzké, špinavě zelené až fialové (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek fosforu**

V našich podmínkách se téměř nevyskytuje. Ovšem vysoká dávka má za následek sníženou schopnost přijímat některých kovů, jelikož rozpustné fosforečnany se na kovy navazují a tím vznikají nerozpustné sloučeniny. (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **4.6.3. Draslík**

Tento prvek je přijímán jako kationt  $K^+$ . Koncentrace draslíku je nevyšší v mladých rostlinách postupně slábne. Obsah draslíku ovlivňuje osmotický tlak v buňkách a tím i jejich turgor. Tento prvek má pozitivní vliv na vyzrávání a anatomickou stavbu pletiv. Buněčné stěny jsou silnější a tím lépe odolávají škůdcům a riziko polehávání není tak vysoké (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek draslíku**

Dochází k němu zejména za sucha nebo chladu, což jsou nepříznivé podmínky pro příjem prvků. Projevuje se nedostatečnou tvorbou vysokomolekulárních látek. Výraznější nedostatek se již projevuje vizuálními vadami. Zasychají okraje listů, které nakonec nekrotizují a odumírají, rostliny předčasně vadnou (Váňa *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek draslíku**

Deficit se začíná projevovat, pokud obsah draslíku klesne pod 1 %. (Hejnák *et al.*, 2005)

Na místech s nadbytkem draslíku se daří zejména plevelům. Rostliny s nadbytkem tohoto prvku jsou sytější zelené, hojně rostou a listy pomaleji odumírají. Při nadbytku K v půdě dochází k jeho zvýšenému příjmu a tím k nedostatečnému příjmu ostatních kationtů (Ca, Mg, Na) (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **4.6.4. Vápník**

Pomáhá stabilizovat buněčné stěny a membrány. Zajišťuje elasticitu buněčné blány. Dále má nezastupitelnou funkci v enzymových reakcích a chemických reakcích v protoplazmě

a membránách. Dostatečné zásobení vápníkem má za následek bohatší kořenový systém, rostlinná lépe odolává vnějším vlivům, chorobám a škůdcům (Váňa *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek Vápníku**

Projevuje se sníženou tvorbou kořenového systému, nižším růstem rostlin, opadem květů (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek vápníku**

Nadbytek většinou nebývá velkým problémem. Kationt vápníku nemá negativní vliv na ionty ostatních prvků. Pouze v kombinaci s vysokou hodnotou pH a vysokým zasolením může způsobit špatnou rozpustnost těžkých kovů, zejména železa (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **4.6.5. Hořčík**

Mg má významnou roli ve fotosyntéze, jelikož je obsažen v chlorofylu a ovlivňuje její enzymové reakce. Kromě fotosyntézy působí i na syntézu bílkovin tím, že pomáhá uvolnit polypeptidické řetězce od ribozómů (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek hořčíku**

Při krátkodobém nedostatku rostlina mobilizuje zásoby z organických látek a při dlouhotrvajícím nedostatku se již projevují příznaky. Ovšem již v prvním stádiu dochází k narušení fotosyntézy, biosyntézy bílkovin, a to negativně ovlivňuje kvalitu produktů (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek hořčíku**

V našich podmínkách se téměř nevyskytuje. Ovšem teoreticky by reagoval podobně jako nadbytek vápníku (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **4.6.6. Síra**

Síra je přijímána jako aniont  $\text{SO}_4^{2-}$ . V rostlinách je oxidovaná na sírany, které slouží jako zásobní látka (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nedostatek síry**

Při nedostatku síry dochází k omezení syntézy bílkovin a snižuje se aktivita enzymů. Při dlouhodobém nedostatku dochází k žloutnutí a nedostatečným růstem listů. Dochází ke snadnějšímu napadení chorobami, zejména houbovými (Vaněk *et. al.*, 2007).

#### **Nadbytek síry**

Negativně působí zejména vysoká koncentrace siranů (nad 4000mg v 1 l půdního roztoku nebo nadměrný obsah SO<sub>2</sub> v ovzduší). Dochází zejména k poškození pletiv. Tento jev ovšem v našich podmínkách není častý (Váňa *et. al.*, 2007).

### **4.7. Organická a minerální hnojiva**

Zákon č. 156/1998 o hnojivech charakterizuje hnojivo jako látku způsobitou poskytovat účinné množství živin pro výživu kulturních rostlin a lesních dřevin, pro udržení nebo zlepšení půdní úrodnosti a pro příznivé ovlivnění výnosu či kvality produkce. Dále zákon v § 2 rozděluje hnojiva do několika skupin, a to na organická hnojiva, minerální, organominerální, kapalná, tekutá a statková.

#### **4.7.1 Organická hnojiva**

Organická hnojiva charakterizuje zákon č. 156/1998 Sb. jako hnojivo hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy v organické formě.

Statková hnojiva bývají často vyráběna přímo v zemědělském podniku. Jedná se zejména o chlévský hnůj, močůvku, kejdu, sláma, komposty a tzv. zelené hnojení (zaorání hmoty rostlin, které byly k tomuto účelu vypěstované). Tato hnojiva se vyznačují vysokou hnojivou hodnotou a do půdy dodávají:

- rostlinné živiny
- organické látky
- mikroorganismy
- stimulační, růstové a hormonální látky (Vaněk *et. all.*, 2007)

Podle Koláře *et all.*, (2009) může být hnojivo označeno jako organické, pokud je snadno rozložitelné a snadno uvolní potřebné živiny.

#### 4.7.2. Minerální hnojiva

Zákon o hnojivech č. 156/1998 Sb. charakterizuje minerální hnojivo jako hnojivo, v němž jsou deklarované živiny obsaženy ve formě minerálních látek získaných extrakcí nebo jiným fyzikálním nebo chemickým postupem.

Minerální hnojiva jsou většinou výrobky chemického průmyslu a obsahují více živin, než hnojiva organická. Vyrábí se s přírodních surovin (vápence, draselné minerály) a zdrojem dusíku je syntéza amoniaku z dusíku a vodíku (Vaněk *et, all.*, 2007).

Vaněk *et, all.*, (2007) rozděluje minerální hnojiva na:

- dusíkatá hnojiva
- fosforečná hnojiva
- draselná hnojiva
- hořečnatá hnojiva
- vápenatá hnojiva
- pevná vícesložková hnojiva
- dvousložková kapalná hnojiva

#### 4.8. Digestát

Digestátem se rozumí nerozložitelný podíl vstupní suroviny a biomasa organismů podílejících se na anaerobní fermentaci. V průběhu fermentace klesá podíl organických látek ve vstupních surovinách. Z tohoto důvodu je složení digestátu ovlivněno zejména složením použitých surovin. Skladba těchto surovin je ovlivněna charakterem půdy a klimatickými podmínky na stanovišti. Dalším ovlivňujícím faktorem může být také způsob sběru, hnojení, počet seče a technologie konzervace (Havličková *et al.*, 2008).

Zbytek, který se nerozloží z obsahuje větší, či menší množství vody v závislosti na původní složení substrátu a aplikované technologii. Zbytky z mokrých fermentačních procesů obsahují více vody, než ty ze suchých procesů (Deublein *et al.*, 2008).

Pokles obsahu organických látek se pohybuje v rozmezí 40-65 %. Sušina se pohybuje v rozsahu 4-9 %. Obsah prvků po anaerobní fermentaci odpovídá obsahu těchto prvků před procesem. Pouze u některých sloučenin dochází k přeměně na redukovanejší formy.

Příkladem je přeměna organicky vázaného dusíku, který je přeměňován na  $\text{NH}_4$ . Tato transformace sloučenin není nežádoucí. Jejich redukovanější formy jsou rostlinami mnohem lépe přijímané. V sušině digestátu by mělo být obsaženo 25 % spalitelných látek a 0,6 celkového dusíku. Digestát se může použít nezpracován nebo jej lze mechanicky separovat na složku tuhou (separát) nebo tekutou (fugát) (Havlíčková *et. al.*, 2008).

#### 4.9. Využití digestátu jako hnojiva

Anaerobní digestcí dochází k výraznému zlepšení snášenlivosti rostlinami, lelikož rozkladem sušiny a působením leptavých kyselin dochází ke zvýšení pH a zředění substrátu, který se pak lépe aplikuje (Babička, 2010)

Otázkou využití digestátu a vedlejších produktů u BPS se zabývá Česká bioplynová asociace (CzBA), která vznikla v roce 2007.

V otázkách využití digestátu si CzBA dává za úkol:

- Navrhovat a podílet se nelegislativních úpravách pro nakládání s digestátem a vedlejšími produkty z bioplynových stanic
- Zdokonalovat a vyvíjet postupy pro hnojivé využití digestátu
- Prověřovat, navrhovat a zdokonalovat úpravy digestátu pro hnojivé a energetické využití.
- Minimalizovat rizika nakládání s digestátem (Straka *et. al.*, 2010)

V dnešní praxi je již možno nalézt mnoho způsobů jak využít digestát. Jako pokrývku skládek, k regeneraci kontaminovaných půd, v zahradnictví a v zemědělství. Právě v zahradnictví a zemědělství má využití velký potenciál. Výhodou digestátu je vysoká hodnota pH (8,0). Fermentační zbytek není možné považovat ani za plnohodnotné organické hnojivo. Je zdrojem především velmi stabilních organických látek, které se nerozložily během procesu fermentace (Kulhánek *et. al.*, 2012).

Základní složku pěstebních substrátů tvoří rašelina. Ta může být částečně nebo úplně nahrazena jiným komponentem. Tento fakt umožňuje producentovi využít zbytek z vlastní BPS. Separát z digestátu je vynikajícím zdrojem živin, příznivě ovlivňuje nejen výnos, ale i fyzikální a chemické vlastnosti půdy ( Kaplan *et. al.*, 2012 ).

Další vlastností, díky které je digestát vhodné využít jako komponent pěstebních substrátů je podle Albuquerque *et al*, (2012) významný obsah makroprvků N, P, K, Ca, Mg-

a S. Všechny tyto prvky jsou dobře využitelné, pouze dusík k se díky své pohyblivosti rychle vytrácí. Digestát tedy není možné považovat za dostatečný zdroj N.

Před aplikací na půdu by měl být fermentační zbytek dostatečně dehydratován, hygienizován a vyhnílý. Proces vyhnívání trvá 2 – 6 týdnů. Pokud fermentace probíhala, tak jak má, není třeba zbytek zbavovat zápachu. Typický pach vyprchá za 12 – 24 hodin od konce procesu (Deublein *et al.*, 2008).

Pokud digestát splňuje zákonem dané požadavky je ve většině případů aplikován jako organické hnojivo. Tuhá frakce (20-35 % sušiny) je rozmetána po pozemku pomocí rozmetadel a digestáty s obsahem sušiny do 19 % jsou tlakovými cisternami po ploše rozstříkované. V případě aplikace na zemědělskou půdu je nutné zapravit tuhé digestáty do 48 hodin a tekuté digestáty do 24 hodin. Nesmí se aplikovat na zasněženou ne přemokřenou půdu. Aplikace musí být rovnoměrná. Pokud jedigestát používán na pozemku producenta, nemusí být registrován jako organické hnojivo. Pokud je rozšiřován prodejem nebo jiným způsobem, musí být registrován v souladu s §4 zákona číslo 156/1988 Sb. O hnojivech. (Havlíčková *et al.*, 2008).

Při aplikaci neošetřeného digestátu je podle Kratochvílové *et al.*,(2009) třeba dodržovat jistá pravidla a postupy:

- abychom se vyvarovali ztrátě živin je nutné provádět aplikaci vhodnou technikou
- zapracování do půdy je vhodné provést ihned po aplikaci
- digestát se nesmí aplikovat v době, kdy ho půda není schopna přijmout (např. je-li namrzlá, pokryta sněhem, či nasycena vodou)

Babička (2010) uvádí výhody, z aplikace digestátu jako hnojiva vyplývají pro zemědělský podnik:

- zvýšení obsahu humusu v půdě
- zabránění ztrátám na živinách
- zmenšení vyplavování dusíku a úniku nitrátů
- zvýšení odolnosti rostlin
- zlepšení zdravotního stavu rostlin

- snížení zaplevelení plodin a orné půdy
- zvýšení klíčivosti osiva.

## 5. Metodika

Skleníkový pokus byl prováděn v umělohmotných nádobách o objemu 1000 ml a s mátou peprou (*Minnta piperita*, L.). Pokus byl založen 5.6.2012 a sklizen 10.7.2012

Principem pokusu bylo srovnání různých běžně vyráběných pěstebních substrátů s rašelínou smíchanou s přídatkem různého množství neseparovaného digestátu. Vycházeli jsme z předpokladu, že samotná rašelina je chudá na živiny a má nízké pH (kolem hodnoty 4,0) a neseparovaný digestát je naopak dobrým zdrojem živin a má pH zpravidla vyšší než 7,0. Jejich smícháním by tedy měl vzniknout optimální pěstební substrát využitelný pro většinu běžně pěstovaných zahradních plodin.

Pro pokus tedy byly jako kontrolní srovnávací varianta využity 2 typy pěstebních substrátů - pěstební substrát B (firma Rašelina Soběslav, Soběslav, ČR) a Gramoflor cocofibre G-SG 02919 3,33EN (firma Gramoflor GmbH & Co. KG - Vechta, Německo). Dále byla využita rašelina (firma Rašelina Soběslav) namíchaná objemově s různými poměry neseparovaného digestátu (bioplynová stanice Krásná Hora nad Vltavou) a to v následujících poměrech:

1. Čistá rašelina
2. 5% neseparovaného digestátu a 95% rašeliny
3. 10% neseparovaného digestátu a 90% rašeliny
4. 15% neseparovaného digestátu a 85% rašeliny

Všechny varianty byly realizovány ve čtyřech opakováních.

### 5.1. Analytická stanovení

#### Mehlich 3

Metoda Mehlich 3 je v České republice používanou metodou pro stanovení obsahu mobilních makroprvků (P, K, Ca, Mg) v půdě. Odebrané půdní vzorky byly



homogenizovány a jejich část byla usušena a přeseťa přes síto s otvory 2mm. Vzniklé vzorky byly extrahovány činidlem Mehlich 3 (Mehlich, 1984) složeném z  $\text{CH}_3\text{COOH}$  ( $c=0,2$  mol/l),  $\text{NH}_4\text{F}$  ( $c=0,015$  mol/l),  $\text{HNO}_3$  ( $c=0,013$  mol/l),  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  ( $c=0,25$  mol/l) a EDTA ( $c=0,001$  mol/l). Poměr zeminy a vyluhovadla činil 1:10 w/v (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 10 min. Získaný roztok byl filtrován a zhotovené výluhy byly kolorimetricky analyzovány na obsah fosforečnanů přístrojem SKALAR SAN<sup>+</sup> SYSTEM. V extraktech byl rovněž měřen obsah Ca, Mg a K pomocí atomového absorpčního spektrometru (AAS), typ VARIAN Vista Pro.

## 5.2. Extrakce $\text{CaCl}_2$

### Stanovení hodnoty pH

Pro stanovení hodnoty pH byla využita metoda adaptovaná dle Rayment et Lyons (2011), běžně používaná Ústředním a kontrolním ústavem zemědělství. Bylo naváženo 10 g suché půdy (< 2 mm) a přidáno 50 ml roztoku  $\text{CaCl}_2$  ( $c=0,01$  mol/l). Vzorky se třepaly 1 hod. se nechaly po dobu 1 hod. ustálit. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v roztoku.

### Extrakce 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 prvků extrahovatelné s chloridem vápenatým / DTPA (diethylentriaminpentaacetát). Norma není vhodná pro stanovení vápníku a hořčíku. Zkušební vzorek se extrahuje při pokojové teplotě s roztokem 0,01 mol / l  $\text{CaCl}_2$  a 0,002 mol / l DTPA v poměru (pevná látka / kapalina) 1:5. Tato norma se používá v několika evropských zemích, aby prověřila dostupnost N, P, K, Mg a některých mikroelementů v druhotných surovinách, biologickém odpadu, půdě či pěstebních substrátech. V některých zemích se výsledky stanovených prvků v půdě používají k výpočtu dodatečné poptávky rostlin těchto prvků (Janßen, 2004).

### **Obsah dusíku v nadzemní hmotě**

Obsah dusíku byl stanoven po rozkladu koncentrovanou kyselinou sírovou dle Kjeldahla (ČSN 46 1011-18). Pro extrakci bylo naváženo 0,500 g suchého, jemně namletého vzorku nadzemní hmoty. Toto množství bylo mineralizováno 10 ml koncentrované kyseliny sírové, za přítomnosti selenového katalyzátoru po dobu 1 hod při teplotě 400 °C. Mineralizovaný materiál byl následně měřen přístrojem Gerhardt Vapodest 50s.

### **Obsah P, K, Ca a Mg v nadzemní hmotě**

Nadzemní hmota analyzovaných rostlin byla usušena a jemně namleta. Bylo naváženo 0,15 g ( $\pm 0,005$ g) namletého materiálu. Ten byl rozložen pomocí mikrovlnného rozkladu (Ethos 1, Advanced Microwave Digestion System) za v prostředí koncentrované kyseliny dusičné a peroxidu vodíku. Získaný vzorek byl poté naředěn a analyzován optickým emisním spektrometrem s indukčně vázaným plazmatem (ICP-OES) pro změření obsahu celkového P a rovněž pomocí AAS pro získání hodnoty celkového obsahu K, Ca a Mg.

### **Vyhodnocení výsledků**

Pro základní popisné charakteristiky byl použit software Excel (2007). K podrobnější statistické analýze byl využit program Statistica

## 6. Výsledky

Výsledky byly zpracovány metodou ANOVA v programu STATISTICA. Každá tabulka obsahuje vypočtenou testovou statistiku (F test), která byla porovnána s kvantilem F rozdělení se stupni volnosti 4 a 15 na hladině spolehlivosti 95 % a 99 %. Pokud vypočtená testová statistika byla větší než jeden ze dvou kvantilů, byla nulová hypotéza zamítnuta. Nulovou hypotézou byl fakt, že mezi substráty neexistuje prokazatelný rozdíl. Pokud byla nulová hypotéza zamítnuta, je v tabulce uvedena ta hladina významnosti, na které došlo k zamítnutí. Pokud ovšem byla nulová hypotéza přijata, j v tabulce uvedeno „ns“, tedy nesignifikantní.

### 6.1 Výsledky rozborů substrátů při založení pokusu

#### 6.1.1. Vstupní hodnoty substrátů

V tabulce 6. 1. jsou uvedeny vstupní hodnoty substrátů získané v době založení pokusu. Jedná se o celkovou hmotnost, hmotnost sušiny, podíl sušiny v procentech a pH.

Tabulka 6.1.: Vstupní hodnoty substrátů

Substrát	vstupní hodnoty substrátu			
	Navážka	sušina	Objem. hm.	pH
	g	%	g/l	CaCl <sub>2</sub>
<b>Rašelina</b>	12,8	39,6	425	3,8
<b>Pěstební substrát B</b>	13,6	48,7	452	4,0
<b>Gramoflor</b>	10,3	43,3	341	5,0
<b>Rašelina + 5% ND</b>	14,7	34,9	491	4,3
<b>Rašelina + 10% ND</b>	16,0	29,9	551	4,8
<b>Rašelina + 15% ND</b>	17,0	26,8	580	5,3
<b>ND - čerstvá hmota</b>	29,4	5,3	980	7,7

Z tabulky 6.1. je zřejmé, že procento sušiny v závislosti na množství přidaného digestátu ve sledovaných substrátech klesalo. Čistá rašelina obsahovala 39,6 % sušiny. Námí

použitý digestát byl neseparovaný, obsahoval tekutou složku a bylo v něm pouhých 5,3 % sušiny. Zatímco Nejvíce procent sušiny obsahovaly kontrolní substráty. Pěstební substrát B se 48,7 %. A Gramoflor se 43,7 %. Ze sledovaných substrátů dosáhla nejvyšší objemové hmotnosti varianta s 15 % neseparovaného digestátu. V pokusných variantách objemová hmotnost stoupala v závislosti na množství přidaného digestátu, jelikož čistý digestát měl objemovou hmotnost 980 g/l, zatímco čistá rašelina pouhých 425 g/l. Kontrolní substrát Gramoflor měl objemovou hmotnost 341 g/l a pěstební substrát B 452 g/l. Dále byla sledována hodnota pH substrátu v době založení pokusu. Jelikož čistá rašelina má obecně nízké pH (v našem případě 3,8) a digestát má obecně pH vysoké (v našem případě 7,7). Předpokládalo se, že digestát bude mít vliv na zvyšování hodnoty pH v pokusných variantách. Hodnota pH v závislosti na přidaném digestátu opravdu postupně rostla. U varianty s 5 % N.D. bylo pH 4,3 a u varianty s 15 % N.D. bylo pH 5,3. V substrátech na začátku pokusu tedy hodnota pH mírně vzrostla.

### 6.1.2. Obsahy makroprvků v substrátech – Mehlich 3

V tabulce 6.2 je znázorněn obsah prvků stanovovaný metodou Mehlich 3. Jedná se o hodnoty substrátů na počátku pokusu.

Tabulka 6.2.: Obsahy makroprvků v substrátech – Mehlich 3

Substrát	Mehlich 3 - sušina			
	P	K	Ca	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Rašelina</b>	21,0	107	2251	533
<b>Pěstební substrát B</b>	249	663	5353	566
<b>Gramoflor</b>	261	501	6400	912
<b>Rašelina + 5% ND</b>	222	1372	2006	557
<b>Rašelina + 10% ND</b>	304	2703	1923	624
<b>Rašelina + 15% ND</b>	325	3342	1766	688
<b>ND - čerstvá hmota</b>	6018	61509	24679	9566

Ze vstupních rozborů před sklizní je zřejmé, že přidaný digestát měl průkazný vliv na zvýšení obsahu dusíku, fosforu, draslíku v substrátu a hořčíku v sušině. Obsah draslíku a

fosforu byl v našich pokusných variantách průkazně vyšší, než u substrátů kontrolních. V případě fosforu ve variantě s 10 % neseparovaného digestátu (304 mg/kg) a v případě draslíku již ve variantě s 5 % neseparovaného digestátu (1372 mg/kg). Obsah hořčíku v pokusných substrátech také v závislosti na množství přidaného digestátu stoupal. Ovšem ani jedna z pokusných variant nebyla na prvek bohatší než kontrolní Gramoflor, který obsahoval 912 miligramů hořčíku na kilogram. V porovnání s pěstebním substrátem B (566mg/kg) měly vyšší obsah Mg všechny varianty s přidavkem neseparovaného digestátu. Zajímavé jsou výsledky u vápníku. Ačkoli čerstvý neseparovaný digestát obsahoval více, než desetinásobně více vápníku než čistá rašelina, ani jedna z našich pokusných variant neobsahovala vápníku více než rašelina nebo kontrolní substráty. V závislosti na množství přidaného digestátu měl vápník na rozdíl od ostatních prvků tendenci klesat. Varianta s 5 % digestátu obsahovala 2006 mg/kg vápníku, zatímco varianta s 15 % digestátu obsahovala pouze 1766 mg/kg vápníku. Z výsledků při zakládání pokusu je tedy zřejmé, že přidání neseparovaného digestátu má vliv na zvýšení obsahu P, K a Mg v sušině substrátů

### 6.1.3. Obsahy makroprvků v substrátech – metoda CAT

Tabulka 6.3 ukazuje obsahy makroprvků v sušině substrátů získané hodnotou CAT.

Tabulka 6.3.: Obsahy makroprvků v substrátech – metoda CAT

Substrát	CAT - sušina		
	P	K	Mg
	mg/kg	mg/kg	mg/kg
<b>Rašelina</b>	34	8	96
<b>Pěstební substrát B</b>	628	65	68
<b>Gramoflor</b>	225	103	146
<b>Rašelina + 5% ND</b>	674	269	153
<b>Rašelina + 10% ND</b>	966	630	203
<b>Rašelina + 15% ND</b>	1139	849	254
<b>ND - čerstvá hmota</b>	18809	41270	4437

Výsledky metody CAT jsou v porovnání s metodou Mehlich 3 zajímavé., a to zejména u hořčíku. Ve výsledcích metody Mehlich 3 ani jedna z pokusných variant neobsahovala více

hořčíku, než kontrolní substrát Gramoflor. U výsledků metody CAT je zřejmé, že obsah Mg měly vyšší všechny varianty s přidavkem digestátu. Varianta s nejnižším podílem N.D. obsahovala 153 mg/kg hořčíku, zatímco Gramoflor pouze 146 mg/kg. Ze všech substrátů obsahoval nejméně Mg pěstební substrát B (68 mg/kg) a nejvíce rašelina +15 % N.D. (254 mg/kg). Metodou CAT jsou stanovovány formy prvků, které jsou rostlinami lépe přijímané. Varianty s neseparovaným digestátem tedy obsahovaly méně celkového Mg (Mehlich 3) oproti Gramofloru, ovšem forem lépe dostupných pro rostliny obsahovaly více varianty s 10 % N.D. a s 15 % N.D. Výsledky zjištěné u fosforu a draslíku odpovídaly výsledkům metody Mehlich 3. Obsahy prvků v sušině substrátů rostly v závislosti na množství přidaného digestátu a oba prvky byly obsaženy více v pokusných variantách, než ve variantách kontrolních. Obsah fosforu byl vyšší ve variantě s 10 % N.D. (966 mg/kg) a obsah draslíku již ve variantě s 5 % N.D. (269 mg/kg). Metoda CAT není vhodná pro stanovení obsahu vápníku, proto zde není uvedeno srovnání s výsledky metody Mehlich 3.

#### 6.1.4. Obsahy N-NO<sub>3</sub> a N-NH<sub>4</sub> v substrátech

V tabulce 6. 4. nalezneme výsledky, extrakce 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>

Tabulka 6.4.: . Obsahy N-NO<sub>3</sub> a N-NH<sub>4</sub> v substrátech

Substrát	0,01 M CaCl <sub>2</sub> - sušina	
	N-NO <sub>3</sub>	N-NH <sub>4</sub>
	mg/kg	mg/kg
<b>Rašelina</b>	13,0	361
<b>Pěstební substrát B</b>	3,0	759
<b>Gramoflor</b>	558,0	202
<b>Rašelina + 5% ND</b>	16,0	744
<b>Rašelina + 10% ND</b>	14,0	2058
<b>Rašelina + 15% ND</b>	13,0	2582
<b>ND - čerstvá hmota</b>	2212	31612

Obsah nitrátového dusíku byl při zakládání pokusu v sledovaných substrátech nejvyšší u Gramofloru a nejnižší u pěstební substrátu B. Z našich pokusných substrátů obsahovala nejvíce N-NO<sub>3</sub> varianta s 5 % neseparovaného digestátu, a to 16,0 mg/kg. V závislosti na množství přidaného digestátu měl nitrátový dusík tendenci klesat. Ačkoli čerstvý

neseparovaný digestát obsahoval 2 212 mg/kg N-NO<sub>3</sub> a čistá rašelina pouze 13,0 mg/kg, v pokusných variantách se hodnoty této živiny výrazně nelišily od hodnot v čisté rašelině. Obsah digestátu množství nitrátového dusíku v pokusných substrátech nijak neovlivnil. Varianta s 15% obsahovala dokonce stejné množství nitrátového dusíku jako samotná rašelina, a to 13 mg/kg. Ze sledovaných substrátů bylo nejméně nitrátového dusíku zjištěno u pěstební substrátu B a nejvíce u Gramofloru, a to 558,0 mg/kg. Ani jedna pokusná varianta neobsahovala více N-NO<sub>3</sub> než Gramoflor. Opačný trend byl zaznamenán u amonného dusíku. Stejně jako u N-NO<sub>3</sub> byl obsah N-NH<sub>4</sub> v čerstvém digestátu mnohonásobně vyšší, než v čisté rašelině. Ovšem u N-NH<sub>4</sub> bylo zaznamenáno zvyšování obsahu v závislosti na množství přidaného digestátu. Varianta s 5 % digestátu obsahovala 744 mg/kg N-NH<sub>4</sub> a varianta s 15 % obsahovala 2 582 mg/kg. Již varianta s 10 % N.D. obsahovala více amonného dusíku než kontrolní substrát B (759 mg/kg). U všech pokusných variant byl obsah amonného dusíku vyšší než u Gramofloru, který obsahoval pouze 202 miligramů N-NH<sub>4</sub> na kilogram.

## 1.1 6.2. Výsledky rozborů u substrátů a rostlin po sklizni

### 6.2.1. Hmotnost substrátu, sušina v gramech a sušina v procentech

Tabulka 6.5.: Vstupní hodnoty substrátů

Typ substrátu	Substráty		
	hmotnost substrátu	sušina (g)	sušina (%)
<b>Pěstební substrát B</b>	165	65,1	40,0 <sup>b</sup>
<b>Gramoflor</b>	172	44,2	25,7 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	168	40,9	24,4 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 10 % N. D</b>	165	43,7	26,9 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	171	45,2	26,7 <sup>a</sup>
<b>F – test</b>			6,58
<b>Hladina významnosti</b>			0,01

Ačkoli byl substrát B hmotnostně nejslabší, obsah sušiny měl nejvyšší. Osahoval 40 % sušiny, zatímco rašelina s 15 % N. D. pouze 26,9 % sušiny. Podobné výsledky přinesly i

ostatní varianty. Obsah sušiny byl menší díky obsahu vody v neseparovaném digestátu. Obsah sušiny sice v závislosti na množství přidaného digestátu stoupal, ovšem tyto rozdíly nebyly statisticky významně rozdílné.

#### 1.1.1 6.2.2. Hmotnost nadzemní biomasy, sušina v gramech a sušina v procentech

Tabulka 6. 6. ukazuje hmotnost, obsah sušiny, a objem sušiny naměřený u nadzemní biomasy.

Tabulka 6.6.: Hmotnost a sušina nadzemní biomasy při sklizni

Typ substrátu	nadzemní biomasa		
	hmotnost biomasy (g)	sušina (g)	sušina (%)
<b>Pěstební substrát B</b>	34,2	6,70	16,7
<b>Gramoflor</b>	31,4	4,60	15,0
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	37,4	5,60	14,3
<b>Rašelina + 10 % N. D</b>	39,6	5,13	12,9
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	55,9	7,55	13,5
<b>F – test</b>	2,01	1,26	1,66
<b>Hladina významnosti</b>	ns	ns	ns

Z hlediska hmotnosti byly nejvyšší výnosy zaznamenány u varianty s 15 % N. D., která vážila 55,9 gramů. Na druhém místě byla rašelina s 10 % N. D. se 39,6 gramy. U Gramofloru a pěstební substrátu B byly naměřeny nejnižší hodnoty ze všech variant. Obecně platil trend, že se stoupajícím obsahem neseparovaného digestátu, rostla i hmotnost rostlin. Výsledky hmotností nejsou ovšem v souladu s výsledky objemové hmotnosti sušiny. Ačkoli byly rostliny z pěstební substrátu B druhé nejlehčí, obsahovaly nejvíce sušiny, a to 16,7 %. Druhý nejvyšší podíl sušiny rostlin byl zaznamenán u varianty Gramoflor s 15 %. Trend, který se projevil v celkové hmotnosti, se v obsahu sušiny neopakoval. Varianty s digestátem byly vzájemně srovnatelné a obsah přidaného digestátu nebyl úměrný obsahu sušiny v rostlinách. Rašelina s 15 % neseparovaného digestátu sice obsahovala nejvíce gramů sušiny, ovšem v poměru k celkové hmotnosti rostliny tvořila sušina jen 13,5 %. Což je druhý nejmenší procentuální obsah sušiny ze všech variant. V žádné z výše uvedených charakteristik nebyly zjištěny signifikantní rozdíly mezi variantami. Nulová hypotéza byla tedy přijata.



### 6.2.3 Obsahy makroprvků v substrátech – Mehlich 3

V tabulce 6.7. je znázorněn obsah prvků stanovený metodou Mehlich 3.

Tabulka 6.7: Obsahy prvků v sušině substrátů – Mehlich 3

Typ substrátu	Mehlich 3 - obsahy prvků v sušině substrátů			
	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg s (mg/kg)
<b>Pěstební substrát B</b>	134 <sup>d</sup>	260 <sup>ab</sup>	6207 <sup>b</sup>	887 <sup>bc</sup>
<b>Gramoflor</b>	107 <sup>c</sup>	109 <sup>a</sup>	5572 <sup>b</sup>	623 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	28 <sup>a</sup>	156 <sup>a</sup>	4593 <sup>b</sup>	825 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 10 % N. D.</b>	50 <sup>b</sup>	574 <sup>d</sup>	4627 <sup>a</sup>	963 <sup>c</sup>
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	147 <sup>d</sup>	1432 <sup>c</sup>	4400 <sup>a</sup>	1051 <sup>d</sup>
<b>F – test</b>	57,0	24,7	11,2	40,3
<b>Hladina významnosti</b>	0,01	0,01	0,01	0,01

Z výsledků je patrné, že až na obsah vápníku, byly nejvyšší obsahy prvků naměřeny ve variantě rašelina s 15 % N. D. Se vzrůstajícím obsahem neseparovaného digestátu vzrůstal i obsah prvků, a to (v případě P a K) téměř až čtyřnásobně. Pěstební substrát B se v obsahu fosforu téměř vyrovnal rašelině s 15 % N. D., ovšem ve srovnání s obsahem draslíku a hořčíku vykazoval výrazně nižší hodnoty. Stejně tak i Gramoflor. Zajímavé jsou výsledky u vápníku, které se vymykaly ostatním prvkům. Obsah Ca nestoupal v závislosti na obsahu neseparovaného digestátu a nejvyšší hodnoty byly naměřeny u kontrolních substrátů. U všech sledovaných substrátů byly vždy alespoň v jednom z případů zaznamenány statisticky průkazné rozdíly mezi sledovanými veličinami.



#### 6.2.4. Obsahy makroprvků v substrátech – metoda CAT

Tabulka 6.8. ukazuje kromě základních charakteristik i obsahy makroprvků v sušině substrátů získané metodou CAT.

Tabulka 6.8.: Obsah makroprvků v sušině substrátů - metoda CAT

Typ substrátu	Obsah makroprvků v sušině substrátů - metoda CAT						
	Sušina (%)	OH (g/l)	P (mg/kg)	N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)	N-NO <sub>3</sub> (mg/kg)	K (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<b>Pěstební substrát B</b>	39,7 <sup>b</sup>	554	77,5 <sup>d</sup>	9,19	37,3 <sup>a</sup>	330 <sup>a</sup>	1100
<b>Gramoflor</b>	25,7 <sup>a</sup>	573	60,0 <sup>c</sup>	14,6	15,8 <sup>a</sup>	153 <sup>a</sup>	908
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	24,4 <sup>a</sup>	666	21,3 <sup>a</sup>	31,1	0,918 <sup>a</sup>	419 <sup>a</sup>	1619
<b>Rašelina + 10 % N. D.</b>	26,9 <sup>a</sup>	643	34,5 <sup>b</sup>	61,3	3,34 <sup>b</sup>	739 <sup>a</sup>	1717
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	26,7 <sup>a</sup>	591	81,2 <sup>d</sup>	142	4,37 <sup>c</sup>	1689 <sup>b</sup>	1475
<b>F – test</b>	7,58	0,89	48,6	1,76	30,7	3,89	1,97
<b>Hladina významnosti</b>	0,01	ns	0,01	ns	0,01	0,01	ns

Nejvíce sušiny obsahoval pěstební substrát B. V ostatních variantách se podíl sušiny pohyboval ve velmi podobných hodnotách, a to 24,4 - 26,7 %. Nejvyšší objemovou hmotnost měla varianta rašelina s 5 % N. D., ačkoli v podílu sušiny byla s 24,4 % nejslabší. Obsahy P, K a se pohybovaly podobně jako v tabulce s výsledky metody Mehlich 3, to znamená, že obsah draslíku a fosforu byl v testovaných variantách průkazně vyšší, než u substrátů kontrolních. V případě fosforu ve variantě s 10 % neseparovaného digestátu a v případě draslíku již ve variantě s 5 % Zajímavé jsou výsledky u hořčíku. Zatímco podle výsledků metody Mehlich 3 neměla ani jedna z pokusných variant vyšší obsah Mg, než substráty kontrolní, výsledky metody CAT vykazují opačný trend. Všechny pokusné varianty obsahují více Mg, než kontrolní substráty. Tento rozdíl je způsoben tím, že metoda CAT měří formy prvků, které jsou pro rostliny velmi dobře dostupné. Zatímco Mehlich 3 jako silnější extraktant zachycuje přítomnost i některých obtížně přístupných forem živin. Kontrolní substráty tedy obsahují více hůře přístupného hořčíku, ovšem naše pokusné varianty obsahovaly větší obsah těch forem hořčíku, které jsou rostlinou lépe přijímané. V pokusných

variantách byl obsah N-NO<sub>3</sub> oproti Gramofloru průkazně nižší, ovšem oproti substrátu B vyšší. Mezi jednotlivými variantami s digestátem nebyly významné rozdíly, i když měl obsah N-NO<sub>3</sub> tendenci mírně klesat. Naopak obsah amonného dusíku byl nejvyšší u varianty s 15 % N. D. a nejnižší u Gramofloru. V závislosti na množství přidaného N. D. měl obsah N-NH<sub>4</sub> tendenci stoupat. U objemové hmotnosti, amonného dusíku a hořčiku byla také potvrzena nulová hypotéza. Ačkoli se hodnoty s přidaným digestátem měnily, mezi jednotlivými variantami nebyl zjištěn statisticky významný rozdíl. To bylo dáno poměrně vysokou variabilitou hodnot u jednotlivých opakování.

#### 6.2.5. Obsah nitrátového a amonného dusíku a hodnota pH u substrátů

V tabulce 6.9. nalezneme výsledky extrakce 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub> a hodnoty pH.

Tabulka 6.9.: Obsahy dusíku v rostlině N-NO<sub>3</sub>, N-NH<sub>4</sub>, N<sub>tot</sub> a pH

Typ substrátu	0,01 mol/l CaCl <sub>2</sub>			
	N-NO <sub>3</sub> (mg/kg)	N-NH <sub>4</sub> (mg/kg)	N <sub>tot</sub> (mg/kg)	pH
<b>Pěstební substrát B</b>	36,01 <sup>b</sup>	9,29 <sup>a</sup>	54,0 <sup>b</sup>	5,0 <sup>d</sup>
<b>Gramoflor</b>	12,1 <sup>a</sup>	16,7 <sup>ab</sup>	13,2 <sup>a</sup>	4,8 <sup>c</sup>
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	3,92 <sup>a</sup>	17,4 <sup>b</sup>	1,65 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 10 % N. D.</b>	3,53 <sup>a</sup>	26,1 <sup>b</sup>	0,633 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	5,18 <sup>a</sup>	67,9 <sup>c</sup>	2,74 <sup>a</sup>	4,3 <sup>b</sup>
<b>F – test</b>	9,19	25,3	9,92	54,6
<b>Hladina významnosti</b>	0,01	0,01	0,01	0,01

Výsledky extrakce se shodují s výsledky naměřenými metodou CAT. Hodnoty N-NO<sub>3</sub> byl nejvyšší u kontrolních substrátů. Ve variantách s digestátem byl jeho obsah o mnoho nižší, ačkoli se vzrůstajícím obsahem neseperovaného digestátu mírně stoupal. Obsah N<sub>tot</sub> dosáhl podobných výsledků. Nejvíce N<sub>tot</sub> bylo obsaženo v kontrolních substrátech, zatímco v pokusných variantách byl obsah několikanásobně nižší s malými rozdíly. Naopak u amonného dusíku byl trend opačný. Nejméně byl obsažen v pěstebním substrátu B (9 mg/kg),

nejvíce u rašeliny s 15 % N. D. (67,9 %). G Hodnoty pH se u kontrolních substrátů mírně změnil. Rozdíly však nebyly tolik statisticky průkazné jako rozdíly mezi pokusnými a kontrolními variantami. Ani jedna hodnota pH u pokusných variant nebyla vyšší, než hodnota pH u kontrolních substrátů

### 6.2.6. Obsahy makroprvků v rostlinách po sklizni

V tabulce 6.10. jsou naměřené obsahy prvků v nadzemní biomase rostlin z jednotlivých variant.

Tabulka 6.10.: Obsah makroprvků v nadzemní hmotě rostlin

Typ substrátu	Obsah makroprvků v nadzemní hmotě rostlin					
	N %	P %	K %	Ca %	Mg %	S %
<b>Pěstební substrát B</b>	2,74	0,14 <sup>a</sup>	3,31 <sup>ab</sup>	1,24 <sup>b</sup>	0,43 <sup>b</sup>	0,17 <sup>a</sup>
<b>Gramoflor</b>	2,73	0,21 <sup>b<sup>c</sup></sup>	2,50 <sup>a</sup>	1,43 <sup>c</sup>	0,50 <sup>c</sup>	0,19 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 5 % N. D.</b>	2,78	0,18 <sup>a<sup>b</sup></sup>	3,80 <sup>bc</sup>	0,99 <sup>a</sup>	0,34 <sup>a</sup>	0,27 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 10 % N. D.</b>	2,96	0,22 <sup>b<sup>c</sup></sup>	4,23 <sup>bc</sup>	1,03 <sup>a</sup>	0,35 <sup>a</sup>	0,29 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 15% N. D.</b>	3,63	0,24 <sup>c</sup>	3,96 <sup>c</sup>	0,92 <sup>a</sup>	0,33 <sup>a</sup>	0,29 <sup>b</sup>
<b>F – test</b>	2,69	4,99	5,55	12,44	14,10	8,60
<b>Hladina významnosti</b>	ns	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01

Rostliny po sklizni obsahovaly téměř stejné množství celkového dusíku. Pouze v rostlinách vzešlých na variantě s 15 % neseparovaného digestátu byl obsah dusíku téměř o 1% vyšší. Obsahy fosforu a síry vykazovaly stejný trend jako u obsahu prvků v substrátech. Nejvyšší hodnoty byly naměřeny ve variantě rašelina s 15 % N. D. (P 0,24 %, S - 0,29 %). Nejvíce draslíku obsahovaly rostliny pěstované v rašelině s 10 % N. D., hořčíku v Gramofloru a vápníku v pěstebním substrátu B. U všech prvků kromě Mg a Ca se tak opakovala situace, jako v případě substrátů. S rostoucím procentem přidaného digestátu stoupal i obsah prvku. Obsah vápníku a hořčíku se v pokusných variantách v závislosti na přidaném digestátu výrazně neměnil. Z písmen v horním indexu můžeme posoudit, že rozdíly mezi testovanými

variantami nejsou zpravidla statisticky významné. Statisticky významné jsou však zpravidla rozdíly mezi testovanými a kontrolními variantami, a to u všech prvků.



## 7. Diskuze

Cílem této práce bylo zhodnotit konečný vliv neseparovaného digestátu na pěstební substrát a na výslednou nadzemní biomasu. Sledován byl obsah celkového dusíku, amonného a nitrátového dusíku, fosforu, draslíku, vápníku, hořčíku, síry, obsah sušiny a hodnota pH. V případě pozitivního vlivu by se získalo nejen vhodné hnojivo, ale našlo by se využití pro digestát z BPS. Touto otázkou se zabývalo již několik autorů. Samotný zvýšený nárůst biomasy zaznamenal BOUGNOM *et. al.*, (2012), který aplikoval digestát jako hnojivo pro pastviny. Plodiny vzešlé na plochách hnojených digestátem měly průkazně vyšší výnosy než rostliny z ploch hnojených hnojem. V našem pokusu nebyly výnosy rostlin hnojených digestátem a průmyslovými hnojivy prokazatelně rozdílné. Hmotnost rostlin vzešlých ze substrátu s nejvyšším podílem digestátu sice byla nejvyšší, ovšem procento sušiny úměrně s celkovou hmotností nevrůstalo. Sám BOUGNOM *et. al.*, (2012) upozorňuje na fakt, že výsledky jeho pokusu nelze považovat za naprosto průkazné. Účinek digestátu jako hnojiva pastvin byl předmětem pozorování pouze jeden rok. Pro průkaznější výsledky je nutné proces opakovat několik let zasebou.

Co se dusíku, respektive jeho nitrátové a amonné formy týče, ALBURQUEQUE *et. al.*, (2012) ve svém výzkumu prokázal, že digestát může být velmi vhodným hnojivem, jelikož obsahuje vysoké množství amonného a nitrátového dusíku. Vysoký vliv digestátu na výsledný obsah amonného dusíku prokázaly i naše výsledky. Tabulka 6.9. prokazuje, že obsah amonného dusíku stoupal úměrně s množstvím přidaného neseparovaného digestátu, a že téměř všechny pokusné varianty měly větší obsah N-NH<sub>4</sub>, než substráty kontrolní. Podobné tendence byly pozorovatelné i u obsahu dusíku v rostlinách. Nitrátový dusík také stoupal v závislosti na přidaném digestátu, ovšem mezi jednotlivými variantami nebyly již průkazné rozdíly a kontrolní substráty ho obsahovaly statisticky průkazně více. BUSTAMANTE *et. al.*, (2012) také zaznamenal nízký nárůst obsahu nitrátového dusíku ve svém pokusu, kdy se zabýval využitím digestátu jako komponentu kompostů. Případné ztráty vyrovnal přidáním odpadu z prořezávky vinné révy.

TAMBONE *et. al.*, (2012) zaznamenal v substrátech s podílem digestátu, mimo zvýšení obsahu dusíku, také zvýšení obsahu fosforu a draslíku. I náš pokus tento fakt potvrdil. Obsah draslíku a fosforu dosahoval vždy nejvyšších hodnot ve variantách rašelina + 15% N.D. Těchto výsledku dosáhly obě použité metody, a to Mehlich 3 a metoda CAT. Námi použitými metodami se prokázal také vliv i na zvýšení obsahu hořčíku v substrátech a síry



v rostlinách. Zvýšení obsahu makroprvků v substrátech s přidaným digestátem zaznamenal i ABUBAKER *et. al.*, (2012). Ve svých pokusech taktéž dospěl k závěru, že digestát zvyšuje obsah prvků v substrátech. Jeho pokus srovnával průmyslová hnojiva, kejdu prasat a digestát jako komponenty pěstebních substrátů. Jednalo se o digestát vzniklý zejména z bioodpadu z domácností, z jatečního odpadu a z lihovarnického odpadu. Ačkoli největší vliv zvýšení obsahu prvků v substrátu měla v tomto pokusu kejda, použití digestátu přináší výhodu v jeho předešlé hygienizaci. Na první pohled se zdá, že problém možných patogenů by se dal vyřešit anaerobní fermentací kejdy a následným přidáním digestátu do pěstebních substrátů. Výsledky pokusů to ovšem nepotvrzují.

ALBURQUERQUE *et. al.* (2012) srovnával 6 digestátů, jejichž základem byla kejda skotu a prasat. Výsledky nebyly uspokojivé. V případě, kdy digestáty obsahovaly vysoký podíl zbylé rozložitelné hmoty, docházelo ke vzniku špatného poměru C:N a tím k nežádoucí imobilizaci dusíku v substrátech.

Z našich výsledků je tedy patrné, že přidání neseparovaného digestátu do pěstebního substrátu mělo vliv na celkové zvýšení obsahů většiny prvků. Ovšem v porovnání s kontrolními substráty vykazovaly substráty s přidáním digestátu menší obsah vápníku. Varianta s 15 % neseparovaného digestátu obsahovala dokonce méně Ca, než varianta s 5 % neseparovaného digestátu. Stejný vliv N.D. na výsledný obsah vápníku zaznamenala i HOLEČKOVÁ *et. al.*, (2013) ve své práci o využití neseparovaného digestátu jako zdroje živin pro pěstování *Gazanie*. V našem pokusu se nejvíce zvýšil obsah prvků v substrátu i rostlině u variant s 10 % N.D. a s 15 % N.D. Ve většině případů byly hodnoty u těchto variant vyšší než kontrolní substráty. Podle VAŇKA *et. al.*, (2007) k nebezpečnému nadbytku námi sledovaných prvků v našich podmínkách za normálních okolností téměř nedochází. Aby zvýšený obsah prvků negativně ovlivňoval půdu a rostliny, museli by být přídavek N.D. několikrát násobně vyšší, než námi sledovaných 5 %, 10 % a 15 % H

HOLEČKOVÁ *et. al.*, (2013) stejně jako my zakomponovala neseparovaný digestát do rašeliny také z důvodu vyrovnání pH. Rašelina má pH nízké (kolem hodnoty 4,0) a neseparovaný digestát vyšší (kolem 7,7). Autoři tedy předpokládali, že smícháním vznikne substrát vhodný pro většinu plodin. Předpoklady se bohužel nenaplnily. Ani námi testovaná varianta s největším procentem přidaného digestátu pH nijak výrazně neovlivnila. Ve variantách s přidaným digestátem hodnota pH, sice vzrostla, ale jen s malými statisticky významnými rozdíly. Ani jedna z pokusných variant nedosáhla hodnoty pH vyšší, než u kontrolních substrátů. HOLEČKOVÁ *et. al.*, (2013) navrhuje řešit situaci přidáním

dolomitického vápence. Přidání vápence se projevilo jako přínosné i v pokusu, který prováděl TLUSTOŠ *et. al.*, (2013). Pozoroval výnosy rostlin a hodnoty pH v substrátech s různým poměrem rašeliny a separátu. Pokus prokázal, že přídavek odpadu z BPS může pozitivně ovlivnit hodnotu pH v substrátu, ovšem výnosy rostlin byly výrazně nižší než v případě kontrolních substrátů. Jedním z kontrolních substrátů byla právě rašelina s přídavkem vápence. Vápenec tedy vyrovná hodnotu pH a nezpůsobí nižší výnosy jako zvýšené procento digestátu, či separátu.

Využití digestátu jako komponentu pěstebních substrátů je stále novým tématem. Stále tedy nebylo publikováno dostatečné množství studií na toto téma. Pokud studie publikované byly, jednalo se o jednoleté nebo dvouleté pokusy. Pokud tedy chceme hnojení digestátem rozšířit do podvědomí zemědělců a provozovatelů BPS je stále třeba provést mnoho pokusů s víceletým opakováním, a to s digestáty z různých původních materiálů v různých poměrech, na různých substrátech a s dalšími plodinami. Podle BUSTMANTE *et. L.*, (2012) je třeba brát v potaz možné rizikové faktory, jako obsah mědi a zinku, fytotoxicitu, zasolenost, biodegradabilitu a hygienické vlastnosti některých digestátů. V neposlední řadě je nezbytné zhodnotit všechny ekonomické aspekty. Chceme-li, aby byly digestáty používány jako hnojivo, měly by z toho plynout ekonomické výhody jak pro spotřebitele, tak pro producenta.

## 8. Závěr

Se zvyšujícím se počtem bioplynových stanic vzniká i více digestátu, který je možné využít různými způsoby. Jedním z těchto způsobů je právě použití digestátu jako hnojiva, jelikož po procesu anaerobní fermentace v něm zůstává řada prvků důležitých pro růst a výživu rostlin.

Cílem této práce bylo sestavení substrátu vhodného pro pěstování máty peprné kombinací rašeliny a neseparovaného digestátu a porovnání vzniklého média s běžně používanými pěstebními substráty. Předpokládalo se, že vhodným smícháním rašeliny a neseparovaného digestátu vznikne substrát, který je srovnatelný s běžně dostupnými substráty pro pěstování máty peprné.

Byl založen skleníkový pokus s mátou peprnou (*Minnta piperita*, L.). Pro pokus byly jako kontrolní srovnávací varianty využity 2 typy běžně používaných substrátů. Dále byla využita rašelina namíchaná objemově s 5, 10 a 15 % neseparovaného digestátu.

Byl sledován obsah sušiny, makroprvků, a pH v substrátech a obsah makroprvků v rostlině. Hodnoty byly měřeny v době zakládání pokusu a po sklizni nadzemní biomasy.

Obsah sušiny byl **v době založení pokusu** u kontrolních substrátů vyšší, než u variant s digestátem. S rostoucím podílem digestátu rostla i objemová hmotnost substrátů.

Ze vstupních rozborů před sklizní je zřejmé, že přidaný digestát měl průkazný vliv na zvýšení obsahu dusíku, fosforu, draslíku v substrátu a hořčíku v sušině. Obsah vápníku byl v pokusných variantách výrazně nižší, než ve variantách kontrolních. Ve srovnání se substrátem Gramoflor byly v substrátech s neseparovaným digestátem zjištěny vyšší obsahy fosforu, draslíku a nižší obsahy hořčíku a vápníku. Ve srovnání s kontrolním pěstebním substrátem B byly v substrátech neseparovaným digestátem zjištěny vyšší hodnoty fosforu, draslíku, hořčíku a nižší hodnoty vápníku. Ve vstupních rozborech byla zjišťována také hodnota pH. Původní předpoklady o zvýšení pH v rašelině naše pokusy potvrdily jen částečně. Ke zvýšení hodnoty pH na úroveň kontrolních substrátů došlo pouze u substrátů s přídatkem 10 a 15 % N.D.

Poměr obsahu sušiny substrátu k přidanému digestátu se **po sklizni** výrazně nezměnil. Trend klesání v závislosti na přidaném digestátu zůstal zachován.

Rozdílné výsledky přinesly rozbory makroprvků prováděné po sklizni.

Obsah hořčíku zaznamenal změny oproti rozborům na počátku pokusu, kdy byl nejvíce zastoupen v sušině substrátu Gramoflor. Po sklizni byl naopak obsah Mg ze všech sledovaných variant v Gramofloru nejnižší. Naopak nejvyšší byl u varianty s 15 % neseparovaného digestátu. Všechny sledované varianty s digestátem byly na hořčík průkazně bohatší než při zakládání pokusu. Obsah fosforu a draslíku v době sklizně v substrátech s digestátem oproti počátečnímu stavu klesl, ovšem se vzrůstajícím podílem neseparovaného digestátu si stále zachoval trend zvyšování obsahu prvku s přidavkem N.D. Hodnoty N-NO<sub>3</sub> byly po sklizni nejvyšší u kontrolních substrátů. V pokusných variantách byl zastoupen v menším množství a bez statisticky průkazných rozdílů. U amonného dusíku byl zaznamenán trend opačný.

Zatímco hodnoty pH kontrolních substrátů po sklizni pokusu zůstaly zachovány, u všech testovaných substrátů došlo k statisticky průkaznému poklesu hodnot.

Dalším předmětem zkoumání byl obsah makroprvků v nadzemní biomase sklizených rostlin. Trendy obsahu prvků korespondovaly s hodnotami naměřenými u substrátů. Oproti kontrolním substrátům došlo u pokusných variant k průkaznému zvýšení obsahu dusíku, fosforu a draslíku. Na obsah hořčíku v rostlině se vliv digestátu neprokázal a obsah vápníku dokonce s obsahem digestátu klesal. Rostliny vzešlé na kontrolních substrátech měly stejné procento dusíku jako rostliny vzešlé na variantách s přidaným digestátem.

Z námi zkoumaných variant se jako nejvhodnější pěstební substrát jeví varianty s 10 % a 15 % neseparovaného digestátu. U těchto substrátů došlo k prokazatelnému zvýšení obsahu makroprvků i k většímu nárůstu biomasy. Varianta s 15 % neseparovaného digestátu jako jediná prokázala mírný nárůst hodnoty pH. Ovšem další zvýšení hodnoty pH zvýšením podílu digestátu se nejeví jako ideální řešení. Podle autorů, kteří ve svých pokusech používali podíl N. D. větší, než 15 %, byly patrné příznaky nadbytku některých makroprvků, zvláště amonného N. Pro zvýšení hodnoty pH v substrátu je tedy nutné hledat jiné řešení.



## 9. Seznam použité literatury

ABUBAKER, J., RISBERG, K., PELL, M. 2012: Biogas residues as fertilisers – Effects on wheat growth and soil microbial activities. *Applied Energy*, 99: 126-134

ALBURQUERQUE, J.A.; CARRASCO, L.; CEGARRA, J.; BERNAL, M.P.; ABAD, M. et al.: Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues, *Biomass and Bioenergy*, Spain, 2012, 40 : p. 181 - 189.

ALBURQUERQUE, J.A., FUENTE, C., BERNAL, M.P. 2012: Chemical properties of anaerobic digestates affecting C and N dynamics in amended soils *Agriculture. Ecosystems and Environment*, 160: 15-22

ALTMANN, V.; VACULÍK, P.; MIMRA, M.: *Technika pro zpracování komunálního odpadu*, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2010, 120 s., ISBN 978-80-213-2022-2.

BABIČKA, L: Významný přínos výroby bioplynu. *Listy cukrovarnické a řepařské*, [www.cukr-listy.cz](http://www.cukr-listy.cz) [online], ISSN: 1210-3306. Dostupné z WWW (<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyznamny-prinos-vyroby-bioplynu>)

BENDA V., DOLEŽALOVÁ H., DUŠIČKA D., HANSLIAN D., JEVIČ P., MATUŠKA T, MYSLIL V., PASTOREK Z., STUPAVSKÝ V., ŠEJVL R., ŠREFL J., ŠULEK P.: *Obnovitelné zdroje energie*, Praha, 2012, 205 s., ISBN 978-80-86276-48-9.

BILÍK, J.; BLÁHA, A.; BUREČ, J.; DLOUHÝ, T. et al.: *Odpad je nevyčerpatelný zdroj energie*, Odpadové fórum, Praha, 2010, 20 s., ISBN 978-80-85990-15-7.

3. BIOM: *Zpráva ČTK - ZD Krásná Hora zprovozní v srpnu novou bioplynovou stanicí*, [online]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/zpravy-z-tisku/zdkrasna-hora-zprovozni-v-srpnu-novou-bioplynovou-stanici>, 2008.

BOUGNOM, B.P., NIEDERKOFER, C., KNAPP, B.A., STIMPFL, E., INSAM, H. 2012: Residues from renewable energy production: Their value for fertilizing pastures Biomass and Bioenergy 39: 290-295.

BUSTAMANTE, M.A.; ALBURQUERQUE, J.A.; RESTREPO, A.P.; PAREDES, C.; BERNAL, M.P. et al.: Co-composting of the solid fraction of anaerobic digestates, to obtain added-value materials for use in agriculture, Biomass and Bioenergy, Spain, 2012, 43: p. 26 - 35.

ČSN 46 1011–18, 2003: Zkoušení obilovin, luštěnin a olejnin. Část 18: Zkoušení obilovin: Stanovení obsahu dusíkatých látek. Český normalizační institut, 8s.

DEUBLEIN D., STEINHAUSER A., 2008, Biogas from Waste and Renewable Resources, Wiley-CH, 443 s., ISBN 978-3-527-3184-4.

EXCEL: Microsoft Office Excel 2007, Microsoft Office Enterprise 2007, USA, release SP2, 2007.

FERNANDEZ T., V., 2010, Hydrolysis Inhibition of Complex Biowaste, Wageningen University, 176 s. ISBN 978-90-8585-681-8.

HAVLÍČKOVÁ, K.; WEGER J.; BOHÁČ ŠTĚRBA, Z. .: Rostlinná biomasa jako zdroj energie, Průhonice, 2008, 83 s., ISBN 978-80-7415-004-3.

HEJNÁK V., HNILIČKA F., ZÁMEČNÍK J., ZÁMEČNÍKOVÁ B., Fyziologie rostlin, Česká zemědělská univerzita, PowerPrint Praha, 2005, 159 s., ISBN 978-80-2213-1667-6

JANŇEN, E.: Extraction of soluble Phosphorus in Soil, Sludge, Biowaste and Treated Biowaste, Landesbetrieb Hessisches Landeslabor, HORIZONTAL – 25revised, 2004

KÁRA, J.; PASTOREK, Z.; PŘIBYL, E.; HANZLÍKOVÁ, I.; ANDERT, D. et al.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství, VÚZT Praha { Ruzyně, 2007, 117 s., ISBN 978-80-86884-28-8.

KAPLAN L., TLUSTOŠ P., SZÁKOVÁ J., NAJMANOVÁ J., TÚMA J., Vliv pevné fáze digestátu z bioplynové stanice na růst balkónové rostliny sutery srdčité, Sborník z 18. Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, s. 126-131, ISBN 978-80-213-2331-5

KOLÁŘ, L.; VANÍK, V.; KUŽEL, S.; ŠTINDL, P.: Využití odpadů z bioplynových stanic, Sborník z konference, Racionální použití hnojiv zaměřené na půdní úrodnost, organickou hmotu v půdě a použití statkových a minerálních hnojiv, Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2009, s. 50 - 57, ISBN 978-80-213-2006-2.

KRATOCHVÍLOVÁ, Z.; HABART, J.; SLADKÝ, V.; JELÍNEK, F.; ROSENBERG, T. et al.: Průvodce výrobou a využitím bioplynu, CZ Biom, Praha, 2009, 157 s., ISBN 978-80-903777-5-2.

KULHÁNEK M., ČERNÝ J., KAPLAN L., HOLEČKOVÁ Z., BALÍK J., Využití neseparovaného digestátu jako součásti pro vypěstování bazalky (*Ocimum basilicum L.*). Sborník z 18. Mezinárodní konference RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, s. 136-141, ISBN 978-80-213-2331-5

MEHLICH, A., 1984: Mehlich 3 soil test extractant: A modification of Mehlich 2 extractant. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 15, 1409-1416.

MOTLÍK, J.; VÁŇA, J.: Biomasa pro energii, Biom.cz [online]. 2002-02-01 [cit. 2013-01-24]. Dostupné z WWW: (<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-pro-energii-1-Zdroje>). ISSN: 1801-2655



MŽP. 2009. Metodický pokyn Ministerstva životního prostředí - sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP. K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu.: Ministerstvo životního prostředí České republiky, 2009.

PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVIŠ, P. et al.: Biomasa obnovitelný zdroj energie, Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha, 2004, 288 s., ISBN 80-86534-06-5.

POSPÍŠIL, L. 2010. Zpracování BRO "suchou" fermentací. Odpadové fórum. Ročník 11, 2010, Číslo 12/2010.

RAYMENT, G.E., LYONS, D.J., 2011: Soil Chemical methods - Australasia. CSIRO Publishing, Melbourne, 495 s.

RICHTER, R.; HLUŠEK, J.: Výživa a hnojení rostlin, Vysoká škola zemědělská, Brno, 1994, 171 s., ISBN 80-7157-138-5.

SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES ze dne 23. dubna 2009 o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů a o změně a následném zrušení směrnice

(<http://eurlex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>)2001/77/ES a 2003/30/ES

StatSoft, Inc.: Statistica (data analysis software system), version 9.1., 2010.

STRAKA, F.; DOHÁNYOS M.: Bioplyn, GAS s.r.o., Praha, 2006, 706 s., ISBN 80-7328-090-6.

ŠVEHLA, P.; TLUSTOŠ, P.; BALÍK, J.: Odpadní vody, česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 2007, 142 s., ISBN 978-80-213-1716-1.

TAMBONE, F.; SCAGLIA, B.; SCHIEVANO, A.; D'IMPORZANO, G.; ORZI, V.; SALATI, S.; ADANI, F.: Assessing amendment and fertilizing properties of digestates from anaerobic digestion through a comparative study with digested sludge and compost, Chemosphere, Italy, 2010, 81 : p. 577 - 583.

TLUSTOŠ P., KAPLAN L., OCHECOVÁ P., Minerální hnojiva v zahradnictví, Mezinárodní konference Racionální použití hnojiv zaměřené na problematiku výživy zahradních plodin, Praha, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2012, s. 59-65, ISBN 978-80-213-2331-5

VANĚK, V. et al.: Výživa polních a zahradních plodin, Pro\_Press, s.r.o., Praha, 2007, 167 s., ISBN 976-80-86726-25-0.

VÁŇA J., HANČ A., HABART J., Pevné odpady, Česká zemědělská univerzita v Praze, 2009, 190 s. ISBN 978-80-213-1992-9

ZÁKON Č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd (zákon o hnojivech)

ZÁKON O ODPADECH Č. 185/2001 Sb. a o změně některých dalších zákonů., Úplné znění – Životní prostředí, č. 968, 2013, SAGIT, ISBN – 978 – 80- 7208- 993-2.