

**Česká zemědělská univerzita v Praze**

**Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů**

**Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin**



**Pěstování bazalky v substrátech s podílem neseparovaného  
digestátu**

**Bakalářská práce**

**Autor práce: Monika Šromová**

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

© 2013 ČZU v Praze

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Pěstování bazalky v substrátech s podílem neseparovaného digestátu" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušila autorská práva třetích osob.

V Praze dne 8. 4. 2013

Monika Šromová

### **Poděkování**

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Martinu Kulhánkovi, Ph.D. za odborné rady a připomínky, které mi pomohly k vyhotovení bakalářské práce.

# Pěstování bazalky v substrátech s podílem neseparovaného digestátu

## Basil growing using substrates with the part of unseparated digestate

### Souhrn

Tato práce zahrnuje problematiku bioplynových stanic, jejich rozdělení, technologie, seznámení se vstupními surovinami a výchozími produkty. Jako hlavní výchozí produkt je bioplyn, který se řadí mezi obnovitelné zdroje energie, proto se počet bioplynových stanic stále zvyšuje. Dalším produktem je digestát, který je bohatý na živiny a má vysoké pH. Cílem této práce bylo sledování vlivu přidání neseparovaného digestátu do substrátu pro bazalky (*Ocimum basilicum*, L.) a jeho vlivu na hodnotu pH, obsah živin v substrátu a v nadzemní hmotě rostlin.

Pro jeho vysoké pH byl neseparovaný digestát smíchán s rašelinou v různých koncentracích (5, 10, 15, 20 a 25 % objemových), jelikož v kyselém i zásaditém prostředí je příjem některých prvků pro rostliny velmi obtížný. Dále byly do pokusu zahrnuty dva běžně dostupné substráty pro srovnání výsledků. Rašelina má nízkou hodnotu pH a je chudá na živiny, z čehož vyplývá, že smícháním těchto dvou složek by mělo vzniknout optimální pěstební prostředí pro rostliny.

V našem pokusu se potvrdilo navýšení množství živin (N, P, K, Ca a Mg) v substrátech. Jejich koncentrace se navyšovala úměrně s koncentrací digestátu v rašelinovém substrátu. Avšak hodnota pH vzrostla pouze ve vstupních substrátech. Po sklizni pokusů vykazovaly změny jen několik desetín a výsledné hodnoty se většinou pohybovaly okolo 4,1 %. Největší pH (4,5) bylo naměřeno ve variantě 5, kde činil poměr digestátu 25 %.

V nadzemní hmotě rostlin byl u celkového obsahu dusíku, fosforu, draslíku a hořčíku zaznamenán růst s přibývajícím množstvím fermentačního zbytku v substrátu. Naopak u vápníku se jeho koncentrace snižovala vlivem nadbytku dusíku (amonné formy) a draslíku, který inhibovaly příjem vápníku rostlinou. Nadbytek dusíku se projevil i spálením okrajů listů u variant 4 a 5 (20 a 25 % digestátu). Tento faktor měl za následek i menší vzrůst rostlin.

**Klíčová slova:** neseparovaný digestát, substrát, pH, makroprvky, bazalka (*Ocimum basilicum*, L.)

## Summary

This work includes issues of biogas stations, their classification, processing methods, inputs of raw materials and source products. As the main default product is biogas, which the renewable source of energy. Therefore, the number of biogas stations increases. Another product is the digestate, which has high nutrients content and pH value. The aim of this work was the investigation of digestate as a part of growing substrates and its influence on pH value and the nutrient content in substrates and above ground biomass of *Ocimum Basilicum*, L.

For its high pH unseparated digestate with peat were mixed in different concentrations (5, 10, 15, 20, 25 % vol.), because in acid or alkaline environment is receiving of some plant nutrients very difficult. In addition, two treatments with commonly used growing substrates were conducted. Peat is typical with its low pH value and nutrient content. On the contrary, nutrient content and pH value of digestate is high. Therefore, mixing of these two substrates can result in optimal growing substrate. In our experiment was confirmed the increase of the nutrient contents (N, P, K, Ca, and Mg) in substrates with the digestate addition. Their concentration grown proportionally to the concentration of digestate in peat substrate. However, the pH value increased only in the input substrates. After the harvest we found only very slightly relations between the pH value and digestate addition. The average value of the pH after the harvest ranged about 4.1.

The total content of N, P, K and Mg in above ground biomass increased with the digestate addition. On the contrary, concentration of calcium decreased. The decreasing trend of Ca content in above ground biomass was probably caused due to antagonism between calcium and ammonium and potassium ions. On the plants grown in substrates with high rate of digestate was visible the nitrogen surplus. The plants were smaller and the burnings on the leave edges were visible.

**Keywords:** unseparated digestate, substrate, pH, macronutrients, Basil (*Ocimum basilicum*, L.)

# Obsah

<b>1 Úvod.....</b>	<b>8</b>
<b>1.1 Klady a zápory bioplynových stanic.....</b>	<b>8</b>
<b>2 Cíl práce .....</b>	<b>9</b>
<b>3 Hypotéza .....</b>	<b>10</b>
<b>4 Literární rešerše .....</b>	<b>11</b>
<b>4.1 Bioplynové stanice (BPS).....</b>	<b>11</b>
4.1.1 Rozdělení bioplynových stanic .....	11
4.1.1.1 Zemědělské (také farmářské BPS) .....	11
4.1.1.2 Čistírenské .....	12
4.1.1.3 Ostatní.....	12
4.1.2 Vstupní suroviny.....	13
4.1.2.1 Biomasa – hlavní zdroje a vlastnosti .....	15
4.1.3 Význam BPS.....	17
<b>4.2 Anaerobní fermentace .....</b>	<b>17</b>
4.2.1 Produkty anaerobní fermentace .....	20
4.2.2 Anaerobní technologie pro využití bioodpadů.....	20
<b>4.3 Bioplyn .....</b>	<b>21</b>
4.3.1 Složení, vlastnosti .....	22
4.3.2 Využití bioplynu .....	22
4.3.3 Principy tvorby bioplynu .....	23
4.3.4 Vliv surovinové skladby na výtěžnost bioplynu.....	24
4.3.5 Uplatnění výroby bioplynu v ČR.....	24
<b>4.4 Digestát.....</b>	<b>25</b>
4.4.1 Digestáty ze statkových hnojiv .....	25
4.4.1.1 Digestáty ze zbioplynování rostlinné biomasy.....	25

4.4.1.2	Digestáty ze zvířecích fekálií .....	25
4.4.1.3	Digestáty z anaerobní digesce bioodpadů .....	26
4.4.2	Digestát jako hnojivo .....	26
4.4.3	Hnojivé účinku digestátu .....	26
4.4.3.1	Dusík.....	27
4.4.3.2	Působení ostatních živin digestátu na rostliny (např. P, K, Ca...) ....	27
<b>5</b>	<b>Metodika .....</b>	<b>28</b>
<b>5.1</b>	<b>Základní informace o podmínkách pokusu .....</b>	<b>28</b>
<b>5.2</b>	<b>Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3 .....</b>	<b>29</b>
<b>5.3</b>	<b>Stanovení obsahu amonného a nitratového dusíku.....</b>	<b>29</b>
<b>5.4</b>	<b>Stanovení hodnoty pH.....</b>	<b>29</b>
<b>5.5</b>	<b>Analýzy rostlin.....</b>	<b>29</b>
<b>5.6</b>	<b>Obsah N v nadzemní hmotě .....</b>	<b>30</b>
<b>5.7</b>	<b>Zpracování výsledků .....</b>	<b>30</b>
<b>6</b>	<b>Výsledky .....</b>	<b>31</b>
<b>6.1</b>	<b>Vstupní rozbory.....</b>	<b>31</b>
<b>6.2</b>	<b>Výsledky za rok 2011 a 2012 .....</b>	<b>33</b>
<b>7</b>	<b>Diskuse .....</b>	<b>38</b>
<b>8</b>	<b>Závěr.....</b>	<b>42</b>
<b>9</b>	<b>Použitá literatura .....</b>	<b>44</b>

# 1 Úvod

Bioplynové stanice jsou zařízení, ve kterých se zpracovávají různé odpady a zemědělské plodiny především za účelem výroby bioplynu, jenž se může využít jako zdroj energie. Bioplyn však není jediným produktem anaerobní digesce, vzniká také digestát, který může sloužit jako alternativní hnojivo. Bioplynové stanice by v budoucnu měly nabýt na významu, protože zdrojů energie stále ubývá a bioplyn jako obnovitelný zdroj energie by mohl být aspoň částečným řešením, avšak jsou tu i některá negativa.

## 1.1 Klady a zápory bioplynových stanic

Hlavním problémem je zápach, který obtěžuje okolní obyvatele bioplynových stanic. Tomu se ale může předejít dostatečným odstupem od těchto lokalit. Zvýšená doprava je dalším negativem, které je dáno nutností dopravování biomasy do stanice a také možného odvozu digestátu. Dále se může počítat do negativních stránek např. kolísající cena vstupů (siláže), závislost na dodávkách zemědělců (musí existovat úzká kooperace) a často není odbyt pro vyrobené teplo.

BPS mají hlavní dva přínosy. Prvním je energie získávaná spalováním bioplynu, pochází z obnovitelného zdroje, čímž se snižuje naše závislost na omezeně dostupných fosilních palivech. Druhé hlavní pozitivum je zpracování odpadu, který by jinak nenašel žádné využití. Výroba bioplynu navíc neprodukuje vlastní odpad, protože zbylou hmotu lze úspěšně využít jako hnojivo.

Využití digestátu jako hnojiva je předmětem této práce. Pro jeho vysoké pH byl smíchán s rašelinou, která se vyznačuje kyselým pH. Složení digestátů z jednotlivých bioplynových stanic se liší, což je dáno druhem, chemickým složením a množstvím vstupních surovin a také vlastní technologií celého procesu. I když je digestát podle vyhlášky č. 474/2000 Sb. definován jako organické hnojivo, svým složením a vlastnostmi se blíží spíše minerálním kombinovaným hnojivům. Za zásadní nevýhodu se považuje nízký obsah lehce rozložitelných organických látek, které se v průběhu digesce transformují na metan a oxid uhličitý. Tyto lehce rozložitelné organické látky, které se v digestátu nalézají v menším množství, právě chybí půdním mikroorganismům, pro něž slouží jako zdroj energie. V důsledku tohoto deficitu se tak jen malá část přeměňuje na humusové látky.



## **2 Cíl práce**

Cílem této bakalářské práce je srovnání běžně vyráběných pěstebních substrátů s rašelinou smíchanou s digestátem v různých koncentracích a jejich vhodnost při pěstování bazalky (*Ocimum basilicum*, L.), a to z hlediska obsahu přístupných makroprvků v substrátech a jejich hodnoty pH, podílu sušiny a celkového obsahu makroprvků v nadzemní hmotě rostlin.

### **3 Hypotéza**

Předpokladem je, že by rašelina s přidaným digestátem měla tvořit vhodné prostředí pro rostliny, jelikož rašelina je sama o sobě chudá na živiny a má nízké pH, zatímco digestát je zásaditý a bohatý na živiny.

## 4 Literární rešerše

### 4.1 Bioplynové stanice (BPS)

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, 2008)

#### 4.1.1 Rozdělení bioplynových stanic

Rozdělení bioplynových stanic je podle zpracovávaného substrátu (suroviny/odpadů) na:

- Zemědělské
- Čistírenské
- Ostatní (Bláha et al., 2009).

##### 4.1.1.1 Zemědělské (také farmářské BPS)

Vstupní suroviny zemědělských bioplynových stanic lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami. (Bačík, 2008)

##### 4.1.1.1.1 Požadavky na zemědělské BPS

Na rozdíl od ostatních BPS mají výrazně nižší emise pachových látek při zpracování surovin i ve výsledném digestátu.

Doba fermentace (velikost fermentačních prostor) musí být navržena individuálně, musí být projektantem odůvodněna, zejména s ohledem na to, jaký substrát bude zpracováván.

Provozovatel BPS musí zajistit dostatečnou velikost zásobníků na digestát (minimálně 4 měsíce), pokud ho používá pro vlastní potřebu. Tyto nádrže není nutné zakrývat (Bláha et al., 2009).

#### 4.1.1.2 Čistírenské

Zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) a jsou organickou 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 ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. (Auterská, 2010)

##### 4.1.1.2.1 Požadavky na čistírenské BPS

Zpracovávají kaly z čistíren odpadních vod a jsou organickou součástí čistíren odpadních vod. Na těchto technologiích byly zaznamenány problémy s pachovými látkami pouze při manipulaci s digestátem. (Bláha et al., 2009).

#### 4.1.1.3 Ostatní

V případě, že jsou do čistírenské BPS přidávány také odpady podle zákona o odpadech, potom se jedná o ostatní bioplynové stanice. Zde může docházet k výkyvům v dávkování, a je tedy i vysoké riziko pachových emisí. Na dané zařízení se pak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů. U BPS ostatních je mnohem složitější i řízení procesu, protože se mění vstupy podle charakteru odpadu, který se zrovna zpracovává. Stejně tak i digestát bývá z hlediska emisí pachů mnohem problematičtější, než u předešlých typů bioplynových stanic. Zásobníky na digestát je bezpodmínečně nutné zakrýt. Doprava suroviny na bioplynovou stanici musí být v uzavřených kontejnerech. Příjmové haly by měly být uzavřeny a vzduchotechnika by měla tvořit v hale lehký podtlak. Odsávaný vzduch by měl být dočištěván (spalování, biologické filtry nebo pračky vzduchu apod.). Biologický proces by měl být důsledně sledován a dodržována receptura dávkování. (Auterská, 2010)

#### 4.1.1.3.1 Požadavky na ostatní BPS

Nakládání s odpady zpracovávanými na těchto BPS bude řízeno vyhláškou o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady zpracovanou odborem odpadů MŽP na základě zmocnění v zákoně o odpadech č. 185/2001 Sb.

Vzhledem k tomu, že hygienizace může být zdrojem zápachu, musí probíhat v uzavřeném prostoru se zabezpečením proti úniku pachových látek.

Podobně příjem suroviny/odpadů a manipulace s nimi musí být zabezpečeny proti úniku pachových látek. Na provozu musí být zavřené zásobníky se surovinou/odpadem (např. uzavřené jímky, použité nepropustné fólie) a uzavřené nádrže pro přípravu vstupních surovin/odpadů apod.

U těchto typů BPS je vyšší předpoklad emisí pachových látek z digestátu. Proto by měly být nádrže na digestát uzavřeny, nebo jinak ošetřeny v návaznosti na umístění zdroje.

BPS musí disponovat dostatečnou velikostí zásobníků na digestát (min. 4 měsíce). Na místo provozu BPS je vhodné umístit vybavení k čištění, popř. desinfekci vozidel a kontejnerů (Bláha et al., 2009).

#### 4.1.2 Vstupní suroviny

V bioplynových stanicích je možné efektivně zpracovat širokou škálu bioodpadů a surovin, včetně takových, které jsou jinak obtížně zpracovatelné

- bioodpady z údržby veřejné zeleně (tráva, listí, ale nikoli dřevo)
- bioodpady z domácností a ze zahrad
- prošlé potraviny a bioodpady ze supermarketů
- zbytky z jídelen, restaurací a hotelů
- bioodpady z podnikatelských provozů (pekárny, lihovary, pivovary, cukrovary, masokombináty)
- odpady z chovu hospodářských zvířat (kejda, hnůj, podestýlky atd.)
- cíleně pěstovanou biomasu (např. kukuřice, řepa, senáž)

Důležité suroviny pro tzv. krmnou dávku můžeme rozdělit následovně:

- Exkrementy hospodářských zvířat

Základem krmné dávky zemědělské BPS by měly být právě zvířecí exkrementy. Měrnou produkcí bioplynu patří exkrementy mezi podprůměrně vydatné materiály, ale zato vznikají na jednom místě v relativně velkém množství. Významné je, že součástí exkrementů jsou také kmeny bakterií podílející se na rozkladné reakci ve fermentoru a vzniku bioplynu. Jedná se o žádoucí mikroflóru, která je důležitá především i při zprovoznění BPS, neboť „oživuje reaktor“.

- Cíleně pěstované plodiny

Hojně rozšířené je použití kukuřičné siláže, dále obilné siláže na zeleno, případně cukrovky. Největší zkušenosti jsou s kukuřičnou siláží, jejíž šlechtění, technologie sklizně a silážování jsou na vysoké úrovni. Pro zemědělský podnik však může být vhodná kombinace více plodin, vzhledem k osevním sledům, agrotechnickým termínům, ale také např. s ohledem na možnost klimaticky nepříznivého ročníku pro jednu ze zvolených plodin nebo výrazný propad cen u plodiny původně zaseté k jinému využití. Rovněž travní senáž se jeví jako zajímavý dílčí zdroj pro BPS. Využití travní senáže však vyžaduje mírně odlišný technologický postup, robustní míchání, apod. V České republice i Německu již fungují bioplynové stanice provozované převážně na travní senáž.

- Biologicky rozložitelné odpady

Materiály z potravinářského průmyslu většinou neobsahují nežádoucí příměsi a jsou velmi vhodné na výrobu bioplynu. Zpracování tříděných bioodpadů z domácností vyžaduje instalaci dodatečných technologií na mechanickou úpravu vstupů, které zajistí dostatečné odstranění nečistot (plasty, kovy apod.). Na druhou stranu jsou tyto vstupy energeticky zajímavé a jsou zdrojem příjmu za jejich zpracování. Na některé bioodpady živočišného původu se vztahuje Nařízení EP a Rady č. 1774/2002, které stanovuje hygienická pravidla na jejich zpracování. Tyto materiály musí před fermentací nebo následně projít tzv. hygienizační jednotkou (CZ Biom, 2013).

#### 4.1.2.1 Biomasa – hlavní zdroje a vlastnosti

Nejvíce zbytkové biomasy vzniká v zemědělství. Jedná se především o odpady z živočišné výroby a zbytky rostlin. Exkrementy hospodářských zvířat je stále obtížnější využívat v rostlinné výrobě jako hnojivo z důvodu zpříšňujících se předpisů i proto, že mnoho velkochovů zvířat bylo vybudováno bez jakékoliv vazby na půdu. Dále jde o zbytky z rostlinné výroby, pro které není další uplatnění, případně o cíleně pěstovanou nepotravinářskou produkci. Zajímavé možnosti nabízí travní fytomasa z dotačně udržované zatrávněné půdy, která musí být pravidelně odstraňována.

Dalším významným zdrojem zbytkové biomasy je komunální sféra. Biologický odpad tvoří asi 40% podíl komunálního odpadu. Návrh plánu odpadového hospodářství ČR stanovuje postupné snižování skládkování komunálního odpadu a směrnice Rady 1999/31/EC o skládkování odpadu vyžaduje postupné snižování procenta organických odpadů jdoucích na skládky, což přispěje k rozvoji technologií na zpracování bioodpadů. Důležitým zdrojem biomasy jsou také odpady z údržby zeleně a kaly z čistíren odpadních vod (ČOV) bez vlastního kalového hospodářství.

Odpady vhodné pro zpracování anaerobní fermentací vznikají rovněž v průmyslu, zejména potravinářském. Přestože se tyto materiály dají často využít efektivně jiným způsobem (např. jako krmiva či hnojiva) nebo naopak z důvodu obsahu nebezpečných látek znamenají riziko pro následné uplatnění substrátu po fermentaci jako hnojiva, představují určitý potenciál pro zpracování v BPS v některých případech i možný budoucí zdroj příjmů (poplatky za zpracování odpadu). Podobně by se mohlo stát pro provozovatele BPS zajímavým zpracování kuchyňských odpadů ze stravovacích zařízení, včetně použitých fritovacích olejů. V neposlední řadě je významným zdrojem odpadní biomasy lesnictví. Odpady z těžby a zpracování dřeva s vysokým obsahem lignocelulózy a sušiny jsou však vhodnější pro využití přímým spalováním nebo kompostováním.

Odhad celkového množství organického materiálu vhodného pro zpracování anaerobní fermentací ze zemědělství, komunální sféry a průmyslu v ČR je uveden v tabulce 4.1, kde teoretický potenciál odpovídá celkovému množství produkované biomasy, dostupný potenciál je technický potenciál, který je možno využít v současnosti dostupnými technickými prostředky a ekonomický potenciál je ta část dostupného potenciálu, kterou je možno za současných podmínek (ekonomické, legislativní apod.) ekonomicky využít. Ekonomický potenciál se pohybuje podle druhu zdroje biomasy v rozmezí 18-33% dostupného potenciálu. Položka živočišný odpad v tabulce 1 představuje exkrementy hospodářských zvířat, jejichž

množství bylo odhadnuto z počtu chovaných zvířat v ČR., položka fytomasa odpovídá odpadní či cíleně pěstované fytomase, kterou představují povinně sklizené trvalé travní porosty a pěstované zemědělské plodiny s vysokým obsahem dusíkatých látek a položka BRKO+BRPO představují biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO) a biologicky rozložitelný průmyslový odpad (BRPO).

*Tabulka 4.1 Přehled potenciálu biomasy anaerobní fermentací v ČR*

Potenciál využití biomasy		Živočišný odpad	Fytomasa	BRKO + BRPO	Celkem
Teoretický potenciál	materiál [tis. t]	30 000	6 000	2 806	38 806
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	780 000	450 000	280 600	1 510 600
	energie [PJ]	17	10	6	33
Dostupný potenciál	materiál [tis. t]	10 000	3 000	1 403	14 403
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	260 000	225 000	140 300	625 300
	energie [PJ]	5,7	5	3	14
Ekonomický potenciál	materiál [tis. t]	2 100	1 000	250	4 350
	bioplyn [m <sup>3</sup> ]	61 000	75 000	25 000	187 000
	energie [PJ]	1,3	1,7	0,6	4

V současnosti je v ČR v provozu dvanáct BPS, které zpracovávají přes 200 000 tun materiálu ročně, a tak využívají odhadovaný ekonomický potenciál z pouhých 10%. Každý organický materiál s vysokým obsahem těkavých látek a sušinou menší než 50% může být teoreticky využit pro anaerobní fermentaci. Pro efektivní zpracování je však zapotřebí, aby vlastnosti použitých materiálů byly v určitém optimálním rozmezí. Základní hodnoty jsou uvedeny v tabulce 4.2.

*Tabulka 4.2 Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci*

Podíl organické hmoty [% suš.]	Sušina [%]	Poměr C:N	pH
nad 60	7-25	20-30:1	6,5-7,5

Velmi důležitá je přítomnost toxických a inhibujících látek, které by výrazným způsobem narušily biologický proces ve fermentoru. Jedná se např. o všechna bakteriální léčiva (bakteriocidy), látky v hnilobném rozkladu či vyšší koncentrace amoniaku. Nežádoucí jsou i látky, které přímo nenarušují biologický proces, ale negativně ovlivňují kvalitu



zplynovaného substrátu, jako např. těžké kovy. Ostatní vlastnosti uvedené v tabulce 4.2 je možné ovlivnit vhodnou úpravou materiálu před vstupem do BPS, popř. složením vsázky při společné fermentaci (kofermentaci) různých druhů organických látek. Například přidáním travní fytomasy k prasečí kejďě (s vysokým obsahem dusíkatých látek a nízkou sušinou) lze optimalizovat poměr uhlíkatých a dusíkatých látek (C:N) i obsah sušiny (Mužík et al., 2013).

### **4.1.3 Význam BPS**

BPS a výroba bioplynu má obecně řadu pozitivních a celospolečenských přínosů. Bioplyn je podle zákona č. 180/2005 Sb. hodnocen jako obnovitelný zdroj energie a elektrická a tepelná energie z něj vyrobená je tedy ekologicky šetrná. Hlavní přínosy lze shrnout následovně:

- z hlediska obnovitelných zdrojů má ČR právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů
- jeho uplatnění může nejen významně pomoci při plnění závazku ČR vůči EU v oblasti obnovitelných zdrojů, ale také může přispět ke snížení závislosti ČR na fosilních palivech a na jejich dovozu z nestabilních zemí
- pro obce a města jsou BPS ve vhodných lokalitách efektivním způsobem řešení zpracování bioodpadů a jejich aktivního odklonu ze skládek v souladu s požadavky legislativy
- pro venkov jsou BPS jednou z možností, jak zajistit jeho rozvoj a podporu zaměstnanosti. Zemědělcům nabízejí reálnou alternativu pro smysluplné využití zemědělské půdy a novou podnikatelskou příležitost

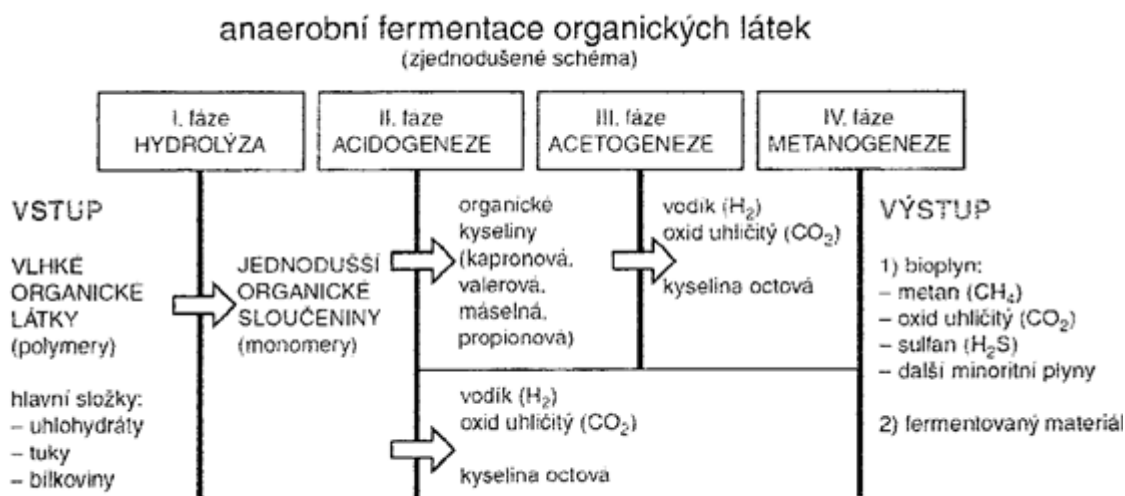
BPS umožňují realizaci přirozeného koloběhu živin v půdě a náhradu umělých hnojiv. Výsledkem řádného fermentačního procesu je stabilizovaný digestát, který může mít široké uplatnění, zejména jako organické hnojivo (Bačík, 2008).

## **4.2 Anaerobní fermentace**

Řízená anaerobní fermentace je perspektivní způsob ekologického zpracování zbytkové biomasy. Jedná se o bioenergetickou transformaci organických látek, při které nedochází ke snížení jejich hnojivé hodnoty. Tato technologie využívaná v bioplynových stanicích (BPS) 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 (BP) s obsahem 55-

70% metanu a výhřevností cca 18-26 MJ/m<sup>3</sup>, který se využívá k energetickým účelům (Mužík et al., 2013).

Obrázek 4.1 Zjednodušené schéma anaerobní fermentace



Pro snazší vysvětlení celého procesu použijeme velmi zjednodušené schéma anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů (obrázek 4.1) rozdělujícího proces do čtyř základních fází.

- 1. fáze – Hydrolýza

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 nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy, aj.) na jednodušší organické látky (monomery).

- 2. fáze – Acidogeneze

Zpracovávaný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Zajistí to černé kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích. Vznik CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub> a CH<sub>3</sub>COOH umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).

- 3. fáze – Acetogeneze

Je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ), vodík ( $\text{H}_2$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ).

- 4. fáze – Metanogeneze

Metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou na metan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

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 se všemi nepříznivými důsledky.

V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se sám prakticky zahřívá velmi málo, získáváme však bioplyn jako doplňkový zdroj energie.

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látky (inokulum) z fermentoru v ustáleném provozním stavu nebo se používají sušené stimulatory obsahující metanogeny v inaktivovaném stavu.

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 organismy se začínají množit.
3. Fáze exponenciálního růstu – zcela přizpůsobené organismy se silně množí, protože mají dostatečné množství živin.
4. Fáze zpomaleného růstu – rychlost růstu organismů 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 (Kára et al., 2007).

#### 4.2.1 Produkty anaerobní fermentace

- Bioplyn

Bioplyn je směs plynů obsahující 55 – 75 obj. % metanu a 23 – 43 % oxidu uhličitého a cca 2 % vodíku. Další plynné látky obsažené v bioplynu ve stopových koncentracích jsou sirovodík a další siričné a dusíkaté sloučeniny (merkaptany, amidy). Tyto stopové plyny jsou příčinou možného zápachu bioplynu. Výhřevnost bioplynu o obsahu 60 % metanu představuje 25 MJ, což odpovídá cca 6,2 kWh. Plyn obdobných vlastností, získaný odplyněním skládek komunálních odpadů, se nazývá skládkový plyn.

- Digestát

Digestát je fermentovaný zbytek z provozu bioplynové stanice. Je ho možné rozdělit na tuhou složku – separát a na tekutý fugát. Digestát ze stabilizačních fermentorů na kalových hospodářstvích ČOV je nazýván čistírenský kal a jeho aplikace na půdu je dána zákonem č. 185/2001 Sb., o odpadech a vyhláškou č. 382/2001 Sb., která stanovuje technické podmínky použití upravených čistírenských kalů na zemědělské půdě

Digestáty z BPS zpracovávajících odpady v případě, že vyhovují limitům obsahu cizorodých látek, zejména těžkých kovů, mohou být použity jako hnojivo na zemědělské půdě na základě předpisů legislativy hnojiv nebo mohou být dále použity jako rekultivační digestát na nezemědělské půdě podle vyhlášky č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady. Tuhé digestáty mohou být též následně kompostovány nebo upravovány na pěstební substráty. Fugát po odvodnění digestátu může být částečně recyklován v provozu BPS nebo vypouštěn na ČOV, nikoliv do vodotečí (Váňa, 2010).

#### 4.2.2 Anaerobní technologie pro využití bioodpadů

Klasické technologie anaerobní digesce (fermentace) prováděné ve vyhřívaných míchaných fermentorech v suspenzích v rozmezí 10 – 15 % sušiny jsou v ČR běžně využívány.

Odpadní biomasa se vyskytuje ve formě „suché“ (např. dřevo) a „mokrě“ (např. kejda) a od tohoto faktu se odvíjejí dvě základní technologie zpracování:

- suché procesy (termochemické přeměna)

- spalování
- zplynování

- mokré procesy (biochemická přeměna)
  - fermentace (produkce etanolu)
  - anaerobní vyhnívání (produkce bioplynu)

Zůstávají-li organické látky bez přístupu vzduchu (jsou rozkládány bakteriemi) vytváří se bioplyn. Bioplyn se skládá především z metanu a oxidu uhličitého v poměru cca 6:4 a dalších látek, jako jsou oxid siřičitý (SO<sub>2</sub>), vodík, kyslík a dusík. Proměnlivou složkou bioplynu je vodní pára (H<sub>2</sub>O).

Zmiňované anaerobní podmínky se nacházejí např. na všech skládkách odpadů. Metan je kvalitní palivo. Stačí pouze nechat organický odpad vyhnít v zavřených nádobách a využívat plyn. Vyhnívací nádrže nebo zařízení na získávání bioplynu se nacházejí u všech moderních čistících zařízení. Lze se s nimi setkat i na farmách u jímek na tekuté výkaly, popř. chlěvskou mrvu.

Zařízení na získávání bioplynu mají oproti řepkovému oleji nebo etanolu jednu rozhodující přednost. K získávání této energie může být využita odpadní biomasa, která by se musela odstraňovat jiným způsobem. Odpadá přitom také nárok na energii potřebnou pro pěstování energetických plodin (Altmann et al., 2010).

### 4.3 Bioplyn

Bioplyn má největší a perspektivní význam ze všech plynných biopaliv. Předností všech metod na výrobu bioplynu je, že plní dvě nezastupitelné funkce:

- Zpracovávají organické odpady rostlinného původu s vyšší vlhkostí, často doplněné i odpady živočišné na kvalitní organické hnojivo, aplikovatelné bez škodlivých účinků, jaký mohou mít např. čerstvá kejda, čistírenské kaly, či čerstvý slamnatý hnůj.
- Bioplyn s obsahem až 65 % metanu a vodíku a nepatrným množstvím relativně snadno odstranitelného oxidu siřičitého a malého množství oxidu uhličitého vytváří vysoce hodnotné plynné palivo. Bioplyn se svou výhřevností přibližuje zemnímu plynu. Má asi 70 % jeho výhřevnosti s ohledem na podíl CO<sub>2</sub> a vodní páry. Technologicky je možno bioplyn upravit až na čistý metan, ale není to v praxi zatím využíváno, protože původní výhřevnost postačuje i pro pohon stacionárních motorů (Jelínek et al., 2001).

### 4.3.1 Složení, vlastnosti

Bioplyn je svým chemickým složením jednoduchým i komplikovaným systémem současně. Jednoduché je vždy majoritní složení bioplynu, tedy zastoupení složek v jednotkách objemových procent a výše. Reaktorové bioplyny jsou prakticky tvořeny pouze binární směsí metanu a oxidu uhličitého v různých poměrech podle biometanizace a podle kvality substrátu. Velmi komplikované je ale složení stopových příměsí v bioplynech. Ve stopových složkách je též zřetelná diference mezi bioplyny reaktorovými a skládkovými (Straka et al., 2006).

Průměrné složení bioplynu je uvedeno v následující tabulce:

Tabulka 4.3 Složení bioplynu (Jelínek et al., 2001)

Složka	Obsah v %
Metan CH <sub>4</sub>	45 - 75
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	25 - 48
Vodík H <sub>2</sub>	0 - 3
Sulfan H <sub>2</sub> S	0,1 - 1
Dusík N <sub>2</sub>	1.3
Amoniak	stopy

Vlastnosti bioplynu:

- Výhřevnost – Hodnota výhřevnosti bioplynu je určena majoritním obsahem metanu (CH<sub>4</sub>).
- Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je 5 – 15 % objemových. Tato koncentrace metanu již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je určena stejnou hodnotou pro metan, tj. 650 – 750 °C (Kára et al., 2007).

### 4.3.2 Využití bioplynu

Hlavní způsoby využití BP jsou:

- přímé spalování a ohřev teplotnosného média (např. topení, sušení, chlazení, vaření),
- výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace),
- výroba elektrické energie, tepla a chladu (trigenerace),
- palivo pro pohon mobilních energetických prostředků,
- neenergetické využití BP (chemická výroba sekundárních produktů z BP) (Mužík et al., 2003).

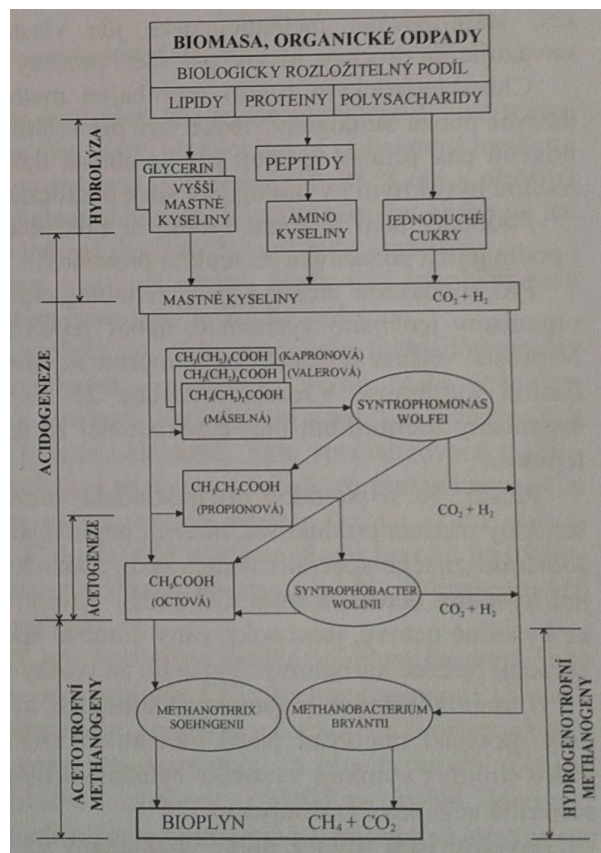
### 4.3.3 Principy tvorby bioplynu

- Obecné principy

Metanová fermentace musí být chápána vždy jako soubor na sebe navazujících procesů, v nichž vlastní metanogeny představují pouze poslední článek v řetězci biochemické konverze.

Tento proces probíhá ve čtyřech fázích (viz kapitola 3.2 Anaerobní fermentace). Vzájemná vazba procesů a produktů při tvorbě bioplynu je znázorněna na obrázku 4.2.

Obrázek 4.2 Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů



- Biochemické principy

Biochemické procesy probíhající v kulturách metan produkujících mikroorganismů jsou v posledních třiceti letech předmětem velmi intenzivního výzkumu. Jsou objevována stále nová biologická individua, velmi často se tak děje díky hlubší separaci směsných symbiotických kultur na stále větší počet jednotlivých druhů vytvářejících přírodní bakteriální agregáty. Skutečnost, že jako většinové zdroje metanu byly potvrzeny jen kyselina octová a oxid uhličitý, by neměla být chápána jako jednoduché a úplné řešení (Straka et al., 2006).

#### 4.3.4 Vliv surovinové skladby na výtěžnost bioplynu

- Uhlohydráty

U rostlinných surovin a odpadů vhodných pro výrobu bioplynu se nejčastěji setkáváme s polysacharidy, zejména se škrobem, celulórou a hemicelulózami. Oxidační číslo polysacharidů je 0,0, z čehož plyne, že z jedné molekuly cukru se šesti uhlíky vzniknou tři molekuly metanu a tři molekuly oxidu uhličitého, což představuje 50 % obsah metanu ve vzniklém bioplynu.

- Lignin

Je častou součástí rostlinných pletiv a zvířecích fekálií. Biologická rozložitelnost ligninu je v anaerobním procesu podle některých autorů nulová, podle jiných zanedbatelná. Proto je třeba zvýšený obsah ligninu očekávat především v digestátech. Z anaerobní digesce je třeba vyloučit suroviny obsahující dřevní hmotu, jako např. podestýlky drůbeže na pilinách nebo hoblinách.

- Tuky

Neboli lipidy bývají přítomny v některých substrátech používaných v BPS. Zvýšený obsah tuků je v gastroodpadech, v použitých fritovacích olejích apod. Při anaerobní digestaci odpadů se zvýšeným obsahem tuků vznikají někdy problémy nadměrného pění a oddělování tuků z vodní suspenze na hladinu, čímž se tato surovina dostává mimo působení fermentačního procesu.

- Bílkoviny (proteiny)

Jsou látky velmi dobře biologicky rozložitelné s docela dobrou výtěžností bioplynu. Na rozdíl od sacharidů a tuků jsou bílkoviny hlavním zdrojem dalších biogenních prvků, především dusíku a síry, které vytvářejí v průběhu anaerobní fermentace nežádoucí sloučeniny, které buď jsou škodlivé pro samotný proces výroby bioplynu (např. čpavek), nebo pro další využití bioplynu (např. sirovodík) (Kolář et al., 2009).

#### 4.3.5 Uplatnění výroby bioplynu v ČR

Pokud se nezapočítá výroba bioplynu z čistírenských kalů v rámci plynových hospodářství městských ČOV, je počet bioplynových stanic v ČR poměrně malý.

Větší uplatnění výroby bioplynu v ČR zajistí pouze odstranění dnes existujících zábran a využití nabízejících se možností:

- výroba bioplynu a následně pak elektrické energie a tepla je z hlediska vstupních investic velmi nákladnou záležitostí,



- ekonomika této výroby je zajišťována v podstatě pouze dotacemi v rámci podpory obnovitelných zdrojů elektrické energie, především ze SFŽP,
- jisté vylepšení ekonomiky skýtá nově se nabízející možnost nezávadné likvidace určité části kafilerních jatečných odpadů v rámci výroby bioplynu (Kouda et al., 2008).

## 4.4 Digestát

Výsledkem fermentačního procesu v bioplynové stanici je stabilizovaný materiál v kapalné podobě, tzv. digestát, který lze použít jako kvalitní organominerální hnojivo nebo jako surovinu pro výrobu kompostu, popř. jako rekultivační materiál. Pro další zpracování může být digestát odvodněním převeden do tuhé formy. Způsob nakládání s digestátem je různý v závislosti na konkrétních podmínkách a je zapotřebí jej důsledně řešit ještě před realizací projektu bioplynové stanice. Pokud je odběr a využití digestátu částečně nebo zcela závislý na jiných subjektech (odběratelích), provozovatel bioplynové stanice by měl tuto věc s nimi ošetřit smluvním vztahem. Mimo vegetační období platí omezení pro aplikace digestátu na půdu, proto je nutné vyřešit jeho skladování (CZ Biom, 2013).

### 4.4.1 Digestáty ze statkových hnojiv

#### 4.4.1.1 Digestáty ze rostlinné biomasy

V současné době se v zahraničí nejčastěji provádí anaerobní digesce kukuřičné siláže, dalších píceňin nebo energetických rostlin. Bioplyn je rovněž často vyráběn z čerstvé nebo senážované travní fytohmoty, jejímž zdrojem jsou nejen louky, ale též veřejná zeleň, golfová hřiště apod. Sušina digestátu by měla obsahovat minimálně 25% spalitelných látek a 0,6% celkového dusíku (Váňa, 2007).

#### 4.4.1.2 Digestáty ze zvířecích fekálií

Digestát z anaerobní digesce hnoje, kejdý drůbežího trusu platí obdobné legislativní požadavky jako na digestát z rostlinné biomasy. Navíc musí splnit hygienické požadavky pro vedlejší živočišné produkty 2. kategorie podle Evropské legislativy ABP. Pro digestát ze zvířecích fekálií je požadován podle Nařízení komise č. 208/2006 nový způsob hodnocení hygienizace reprezentativních vzorků digestátu při vyskladňování, a to pro indikátorový organismus *Escherichia coli*, *Enterococaceae* a *Salmonella* v 25 g vzorku. Obdobné hygienické požadavky jsou na digestáty z kofermentace rostlinné biomasy se zvířecími fekáliemi (Váňa, 2007).

#### 4.4.1.3 Digestáty z anaerobní digesce bioodpadů

Legislativní požadavky na digestáty z biologicky rozložitelných odpadů jsou podle legislativy odpadů a týkají se dosud nevydané vyhlášky o bioodpadech. Mezi tyto odpady patří i kuchyňské a jateční odpady, které jsou též vedlejšími živočišnými produkty 3. kategorie a masokostní moučka 2. nebo 3. kategorie. U těchto odpadů jsou legislativní požadavky odlišné. Digestát vyrobený podle požadavků dosud nevydané vyhlášky je nazýván rekultivačním digestátem (Váňa, 2007).

#### 4.4.2 Digestát jako hnojivo

Fermentační produkty vznikající při anaerobní digesci by měly být využívány jako hnojivo. Ve srovnání s klasickými stájovými hnojivy (surová kejda) má digestát následující přednosti:

- dochází k redukci zápachu při manipulaci a hnojení
- koncentrace patogenů je významně redukována
- je omezena klíčivost semen plevelů
- snižuje se žíravý účinek surové kejdy na plodiny
- obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale žádoucí formy organického uhlíku (prekurzory humusových látek) v digestátu zůstávají
- obsah žádoucích živin (P, K, N apod.) je zachován
- celkově tak přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů
- používání digestátu znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv (CZ Biom, 2013).

#### 4.4.3 Hnojivé účinku digestátu

Při používání digestátu, stejně tak jako při používání neošetřených statkových hnojiv, je třeba dbát následujících zásad:

- aplikaci provádíme vhodnou technikou, abychom se vyvarovali ztrátám živin, především dusíku
- po aplikaci hnojiva je v co nejkratší možné době zapravíme do půdy – nepoužívat, když je půda není schopna pojmout (je-li pokryta sněhem, do hloubky promrzlá, nasycená vodou) (CZ Biom, 2009).

#### 4.4.3.1 Dusík

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:

- 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. Digestát, popř. 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 aplikována čerstvá kejda, neboť obsahuje velké množství organických kyselin.

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, popř. z 15 : 1 na 7 : 1 u pevného hnoje. Toto způsobí menší (sníženou) 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 (CZ Biom, 2009).

#### 4.4.3.2 Působení ostatních živin digestátu na rostliny (např. P, K, Ca...)

Při používání kejdy, ať neošetřené nebo fermentované v bioplynové stanici, můžeme vycházet z toho, že fosfor a draslík mají obdobnou přístupnost jako minerální hnojiva. Ačkoliv u vyhnilé kejdy byla prokázána vyšší rozpustnost fosforu v 0,1 N HCl, nebyly v nádobových pokusech zjištěny žádné rozdíly v působení mezi neošetřenou a ošetřenou kejdou.

Tvorba bioplynu je spojena s rozkladem organické hmoty. Jedná se především o lehce přeměnitelnou část, makromolekulární látky jako je celulóza a lignin zůstávají nerozloženy a po aplikaci do půdy mohou být využity pro tvorbu humusu. V modelových pokusech s digestátem z prasečí kejdy byla zjištěna stejná tvorba jako s neošetřenou kejdou (CZ Biom, 2009).

## 5 Metodika

Pro skleníkový pokus, který byl prováděn v areálu České zemědělské univerzity v Praze, byl dodán neseparovaný digestát (vzniklý anaerobní fermentací kejdy skotu, kukuřičné siláže a travní senáže) z bioplynové stanice v Krásné Hoře nad Vltavou.

### 5.1 Základní informace o podmínkách pokusu

Skleníkový pokus s bazalkou (*Ocimum basilicum*, L.) byl založen v letech 2011 (20. 7. – 31. 8.) a 2012 (26. 4.). V pokusu bylo realizováno 7 níže uvedených variant ve čtyřech opakováních. Do každé nádoby byly zasazeny čtyři rostliny bazalky, ty byly zalévány dle potřeby. Po sklizni proběhlo spočítání rostlin, zvážení nadzemní biomasy a její usušení a následné laboratorní analýzy

Principem pokusu bylo srovnání různých běžně vyráběných pěstebních substrátů s rašelínou smíchanou s přídavkem 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. 5 % neseparovaného digestátu a 95 % rašeliny
2. 10 % neseparovaného digestátu a 90 % rašeliny
3. 15 % neseparovaného digestátu a 85 % rašeliny
4. 20 % neseparovaného digestátu a 80 % rašeliny
5. 25 % neseparovaného digestátu a 75 % rašeliny

V roce 2011 i 2012 byly použity stejné kontrolní substráty. V roce 2011 byly založeny varianty s přídavkem 5, 10 a 15 % ND a v roce 2012 varianty s přídavkem 10, 20 a 25 % ND.

## 5.2 Stanovení vybraných makroprvků metodou Mehlich 3

Pro analýzy usušených vzorků substrátů byl použit extrakční roztok dle Mehlich 3 (1984) složený 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 substrátu a vyluhovadla činil 1:10 (10g zeminy, 100 ml vyluhovadla). Třepání probíhalo po dobu 10 min. Získaný roztok byl filtrován a zhotovené extrakty byly analyzovány na obsah fosforečnanů fotometricky přístrojem SKALAR SAN<sup>PLUS</sup> SYSTEM. Ve vyluzích byl rovněž měřen obsah Ca, Mg a K pomocí atomového absorpčního spektrometru (AAS), typ VARIAN Vista Pro.

## 5.3 Stanovení obsahu amonného a nitrátového dusíku

Extrakce byla provedena dle předpisu Houba et al. (1994). Bylo naváženo 10 g čerstvého substrátu (<5mm) a přidáno 100 ml roztoku  $\text{CaCl}_2$  ( $c=0,5$  mol/l). Vzorky se třepaly 2 hod. a poté byly odstředěny. Ve zhotovených extraktech byl fotometricky měřen obsah amonného, nitrátového a celkového přístupného dusíku přístrojem SKALAR SAN<sup>PLUS</sup> SYSTEM.

## 5.4 Stanovení hodnoty pH

Pro stanovení hodnoty pH bylo naváženo 20 g usušeného substrátu, který reagoval po dobu 2 hodin (1hod. třepání, 1 hod. ustálení) s 50 ml 0,01 mol/l  $\text{CaCl}_2$  ve 100 ml plastových lahvičkách. Po ustálení proběhlo měření výměnného pH přístrojem „HANNA Instruments, HI 991 300“ přímo v roztoku. Metoda byla adaptována dle (Minasny et al., 2011) a je rovněž běžně používána laboratořemi ÚKZÚZ pro stanovení hodnoty výměnného pH.

## 5.5 Analýzy rostlin

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) 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.

## **5.6 Obsah N 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 materiálu. 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.

## **5.7 Zpracování výsledků**

Pro statistické vyhodnocení byly využity základní popisné charakteristiky vypočtené v programu Microsoft Excel (Excel, 2003) a pokročilé statistické vyhodnocení (A-NOVA) bylo realizováno prostřednictvím programu Statistica (StatSoft, Inc., 2010).

## 6 Výsledky

### 6.1 Vstupní rozbory

V následující tabulce jsou zahrnuty vstupní rozbory testovaných substrátů z pokusů realizovaných v letech 2011 a 2012. Procento sušiny, objemová hmotnost, hodnota pH a množství živin obsažených v sušině substrátů jsou uvedeny v tabulce 6.1. U procentuálního zastoupení sušiny v substrátu lze pozorovat, že největší obsah sušiny měl pěstební substrát B, zatímco nejméně procent obsahovala čerstvá hmota neseparovaného digestátu. Neseparovaný digestát disponuje vysokou hodnotou pH a je bohatý na živiny (tabulka 6.1 poukazuje na vysoký obsah makroprvků P, K, Ca, Mg). Rašelina vykazovala opačné vlastnosti, byla kyselá (nejmenší hodnota pH ze všech zkoumaných pěstebních prostředí) a množství živin v ní obsažených bylo velmi nízké.

Tabulka 6.1 Vstupní rozbory substrátů, obsahy makroprvků jsou uvedeny v sušině s výjimkou ND

Substrát	sušina %	Objem. hm. g/l	pH CaCl <sub>2</sub>	Mehlich 3			
				P mg/kg	K mg/kg	Ca mg/kg	Mg mg/kg
<b>Rašelina</b>	39,6	426	3,8	21,1	108	2251	534
<b>Gramoflor</b>	43,3	342	5,1	249	663	5353	566
<b>Pěstební substrát B</b>	48,7	452	4,9	261	501	6400	912
<b>Rašelina + 5% ND</b>	34,9	491	4,3	222	1372	2006	558
<b>Rašelina + 10% ND</b>	29,9	552	4,8	305	2704	1923	624
<b>Rašelina + 15% ND</b>	26,8	581	5,3	326	3342	1766	689
<b>Rašelina + 20% ND</b>	22,1	645	5,7	351	3851	1601	721
<b>Rašelina + 25% ND</b>	18,5	689	6	394	4311	1453	786
<b>ND - čerstvá hmota</b>	5,3	980	7,7	6019	61509	24679	9566

ND – neseparovaný digestát

V tabulce 6.2 jsou uvedeny průměrné obsahy amonného a nitratového dusíku stanovené v 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>. Nejvyšších hodnot z testovaných substrátů dosahovaly rašelínové substráty s vyšším obsahem neseparovaného digestátu.

*Tabulka 6.2 Obsah minerálního dusíku v substrátech (stanoveno v 0,01 mol/l CaCl<sub>2</sub>)*

	<b>N-NO<sub>3</sub></b>	<b>N-NH<sub>4</sub></b>
<b>Substrát</b>	<b>mg/kg</b>	<b>mg/kg</b>
<b>Gramoflor</b>	27,1	14,5
<b>Pěstební substrát B</b>	138,5	13,3
<b>Rašelina + 5% ND</b>	5,2	678,1
<b>Rašelina + 10% ND</b>	24,9	526,5
<b>Rašelina + 10 % ND 2011</b>	3,3	1057,6
<b>Rašelina + 15% ND</b>	17,3	1516,5
<b>Rašelina + 20% ND</b>	1263,5	1328,8
<b>Rašelina + 25% ND</b>	1874,3	1271,1
	<b>mg/l</b>	<b>mg/l</b>
<b>ND - čerstvá hmota</b>	20,0	1412,0



## 6.2 Výsledky za rok 2011 a 2012

Tabulky 6.3 a 6.4 zahrnují procentuální množství sušiny v substrátech a nadzemní hmotě rostlin za rok 2011 a 2012. Nejmenší obsah sušiny u substrátů je možné pozorovat u varianty 5 v roce 2012 (rašelina smíchaná s 25 % neseparovaného digestátu – 20,8 % sušiny). Nejvyšší procento sušiny bylo zjištěno u pěstebního substrátu B v roce 2011 (50,2 %). Nižší hodnoty u sušiny nadzemní hmoty rostlin se vyskytovaly u rašeliny smíchané s 10 a 15 % digestátu, vyšší naopak u gramofloru a rašeliny s 20 % digestátu. V roce 2012 byly naproti tomu průkazně nejvyšší hmotnosti sušiny naměřeny u variant Gramoflor a Rašelina + 10% ND. Nejnížší hodnoty byly naopak zaznamenány u variant s přídatkem 20 a 25 % ND. Rozdíly v % sušiny byly v obou letech poměrně malé.

Tabulka 6.3 Základní charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty pro rok 2011

Bazalky 2011		Substrát			Rostliny - nadzemní hmota		
varianta	číslo	substrátu (g)	sušina (g)	sušina (%)	nadzemní hmota (g)	sušina (g)	sušina (%)
<b>Pěstební substrát B</b>	1	228,7	107,9	47,5	31,8 <sup>bc</sup>	2,8 <sup>c</sup>	8,7 <sup>c</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	189,6	73,5	39,8	28,9 <sup>b</sup>	2,4 <sup>bc</sup>	8,1 <sup>bc</sup>
<b>Rašelina + 5 % ND</b>	3	220,4	70,8	36,8	18,6 <sup>a</sup>	1,5 <sup>a</sup>	7,7 <sup>ab</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	4	183,2	60,8	33,6	28,9 <sup>b</sup>	2,1 <sup>ab</sup>	7,1 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 15 % ND</b>	5	183,7	70,8	39,1	36,1 <sup>a</sup>	2,7 <sup>bc</sup>	7,5 <sup>ab</sup>
<b>F-test</b>				<b>1,46</b>	<b>9,33</b>	<b>5,87</b>	<b>4,41</b>
<b>Hladina významnosti</b>				<b>ns</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>

ND – neseparovaný digestát

Varianty, které se statisticky průkazně liší, jsou označeny rozdílným písmenem. Čím vyšší jsou hodnoty, tím vyšší je i písmeno abecedy.

ns = nesignifikantní rozdíl mezi variantami

Tabulka 6.4 Základní charakteristiky substrátu a nadzemní hmoty pro rok 2012

Bazalky 2012		Substrát			Rostliny - nadzemní hmota		
varianta	číslo	substrátu (g)	sušina (g)	sušina (%)	nadzemní hmota (g)	sušina (g)	sušina (%)
<b>Pěstební substrát B</b>	1	261,1	98,7	38,4 <sup>b</sup>	34,8 <sup>b</sup>	2,7 <sup>b</sup>	7,7 <sup>a</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	234,3	67,1	28,7 <sup>a</sup>	47,7 <sup>c</sup>	4,5 <sup>d</sup>	9,3 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	3	236,7	66,7	28,8 <sup>a</sup>	46,9 <sup>c</sup>	3,5 <sup>c</sup>	7,5 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 20 % ND</b>	4	245,8	61,8	25,3 <sup>a</sup>	23 <sup>a</sup>	2,4 <sup>b</sup>	9,3 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 25 % ND</b>	5	242,4	59,3	24,5 <sup>a</sup>	20,5 <sup>a</sup>	1,8 <sup>a</sup>	8,6 <sup>ab</sup>
<b>F-test</b>				<b>6,29</b>	<b>41,50</b>	<b>41,53</b>	<b>4,29</b>
<b>Hladina významnosti</b>				<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>

V následujících dvou tabulkách (6.5 a 6.6) jsou uvedeny obsahy přístupných makroprvků v sušině substrátů. Průkazně nejvyšší obsahy fosforu a draslíku jsou patrné u variant, kde je použit neseparovaný digestát ve více než 10% podílu. Průkazně nejvyšší hodnoty vápníku byly v obou letech dosaženy u pěstebního substrátu B. V roce 2012 bylo nejvíce hořčíku stanoveno v rašelíně smíchané s 25 %, v roce 2011 to bylo u rašeliny s 10% digestátu.

Tabulka 6.5 Množství živin stanovené metodou Mehlich 3 2011

Bazalky 2011		Mehlich 3			
varianta	číslo	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<b>Pěstební substrát B</b>	1	133 <sup>a</sup>	452 <sup>a</sup>	6547 <sup>b</sup>	1473
<b>Gramoflor</b>	2	211 <sup>b</sup>	287 <sup>a</sup>	5766 <sup>b</sup>	1070
<b>Rašelina + 5 % ND</b>	3	221 <sup>b</sup>	1072 <sup>b</sup>	3705 <sup>a</sup>	1058
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	4	328 <sup>c</sup>	2764 <sup>c</sup>	3280 <sup>a</sup>	1481
<b>Rašelina + 15 % ND</b>	5	366 <sup>c</sup>	3174 <sup>d</sup>	3407 <sup>a</sup>	1368
<b>F-test</b>		<b>25,21</b>	<b>221,00</b>	<b>25,71</b>	<b>2,88</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>ns</b>

Tabulka 6.6 Množství živin stanovené metodou Mehlich 3 2012

Bazalky 2012		Mehlich 3			
varianta	číslo	P (mg/kg)	K (mg/kg)	Ca (mg/kg)	Mg (mg/kg)
<b>Pěstební substrát B</b>	1	116 <sup>a</sup>	207 <sup>a</sup>	6289 <sup>c</sup>	960 <sup>b</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	115 <sup>a</sup>	133 <sup>a</sup>	4832 <sup>ab</sup>	621 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	3	277 <sup>b</sup>	714 <sup>b</sup>	4581 <sup>a</sup>	979 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 20 % ND</b>	4	557 <sup>c</sup>	3434 <sup>c</sup>	5293 <sup>b</sup>	1350 <sup>c</sup>
<b>Rašelina + 25 % ND</b>	5	662 <sup>d</sup>	3980 <sup>d</sup>	5239 <sup>b</sup>	1411 <sup>c</sup>
<b>F-test</b>		<b>147,14</b>	<b>603,11</b>	<b>11,78</b>	<b>241,90</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

Další tabulky (6.7 a 6.8) poukazují na hodnotu pH a koncentraci dusíku v sušině. Nejvyšších hodnot pH (okolo 5) dosahoval pěstební substrát B, naopak nejnižších rašelina s malým procentem neseparovaného digestátu (5 a 10 %). Extrémně vysoké hodnoty dusíku byly naměřeny u variant 4 a 5 v roce 2012 (rašelina s 20 a 25 % neseparovaného digestátu). To pravděpodobně způsobilo inhibici příjmu draslíku a ostatních kationtů. Nevyrovnaná výživa měla negativní vliv na růst a vývoj rostlin, a proto byl u těchto variant zjištěn nejnižší podíl sušiny a hmotnost nadzemní hmoty.

Tabulka 6.7 Hodnota pH a množství minerálního dusíku obsaženého v sušině substrátů 2011

Bazalky 2011		0,01 mol/l CaCl <sub>2</sub>			
varianta	číslo	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>	1	148,3 <sup>b</sup>	7,2 <sup>a</sup>	271,9 <sup>b</sup>	5,0 <sup>e</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	667,7 <sup>c</sup>	16,1 <sup>a</sup>	1009,6 <sup>c</sup>	4,4 <sup>c</sup>
<b>Rašelina + 5 % ND</b>	3	5,2 <sup>a</sup>	678,1 <sup>b</sup>	71,2 <sup>a</sup>	3,8 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	4	3,3 <sup>a</sup>	1057,6 <sup>c</sup>	4,1 <sup>a</sup>	4,2 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 15 % ND</b>	5	17,3 <sup>a</sup>	1516,5 <sup>d</sup>	23,9 <sup>a</sup>	4,6 <sup>d</sup>
<b>F-test</b>		<b>40,68</b>	<b>33,77</b>	<b>55,44</b>	<b>169,39</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

Tabulka 6.8 Hodnota pH a množství minerálního dusíku obsaženého v sušině substrátů 2012

Bazalky 2012		0,01 mol/l CaCl <sub>2</sub>			
varianta	číslo	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>	1	138,5 <sup>a</sup>	13,3 <sup>a</sup>	283,2 <sup>a</sup>	5,0 <sup>c</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	27,1 <sup>a</sup>	14,5 <sup>a</sup>	38,3 <sup>a</sup>	4,5 <sup>b</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	3	24,9 <sup>a</sup>	526,5 <sup>b</sup>	106,5 <sup>a</sup>	4,1 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 20 % ND</b>	4	1263,5 <sup>b</sup>	1328,8 <sup>c</sup>	1996,9 <sup>b</sup>	4,2 <sup>a</sup>
<b>Rašelina + 25 % ND</b>	5	1874,3 <sup>c</sup>	1271,1 <sup>c</sup>	3043,8 <sup>c</sup>	4,3 <sup>ab</sup>
<b>F-test</b>		<b>232,86</b>	<b>47,61</b>	<b>227,83</b>	<b>25,61</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

Obsahy prvků v nadzemní hmotě rostlin jsou uvedeny v tabulkách 6.9 a 6.10. Největší procentuální zastoupení fosforu v rostlině bylo zjištěno u substrátů, kde byl použit digestát, zatímco u pěstebního substrátu B byly v obou letech naměřeny průkazně nejnižší hodnoty. Se stoupajícím podílem digestátu v substrátu stoupal zpravidla i podíl draslíku v nadzemní hmotě rostlin. Nejmenší procento draslíku bylo průkazně naměřeno v substrátu Gramoflor. Opačný trend než u fosforu a draslíku byl u substrátů s přidavkem digestátu zaznamenán v případě vápníku a hořčíku zejména v roce 2012. To lze vysvětlit antagonistickým vztahem mezi Ca, Mg a amonným dusíkem, jehož obsah v substrátech byl velmi vysoký. To dokládá i obsah dusíku v nadzemní hmotě rostlin, který s přidavkem digestátu průkazně stoupal.

Tabulka 6.9 Obsah prvků v sušině nadzemní hmoty bazalek 2011

Bazalky 2011		0,01M CaCl <sub>2</sub>				Gerhardt
varianta	číslo	% P	% K	% Ca	% Mg	% N
<b>Pěstební substrát B</b>	1	0,36 <sup>a</sup>	2,86 <sup>b</sup>	2,46 <sup>b</sup>	2,08 <sup>c</sup>	4,64 <sup>a</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	0,78 <sup>b</sup>	2,81 <sup>a</sup>	2,04 <sup>a</sup>	2,17 <sup>c</sup>	5,04 <sup>ab</sup>
<b>Rašelina + 5 % ND</b>	3	0,98 <sup>bc</sup>	2,91 <sup>c</sup>	2,46 <sup>b</sup>	1,08 <sup>c</sup>	5,11 <sup>ab</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	4	1,00 <sup>c</sup>	2,96 <sup>d</sup>	2,73 <sup>b</sup>	0,94 <sup>ab</sup>	5,57 <sup>bc</sup>
<b>Rašelina + 15 % ND</b>	5	1,00 <sup>c</sup>	3,02 <sup>e</sup>	2,48 <sup>b</sup>	0,79 <sup>a</sup>	5,79 <sup>c</sup>
<b>F-test</b>		<b>52,42</b>	<b>95,95</b>	<b>4,60</b>	<b>63,42</b>	<b>5,87</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,05</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

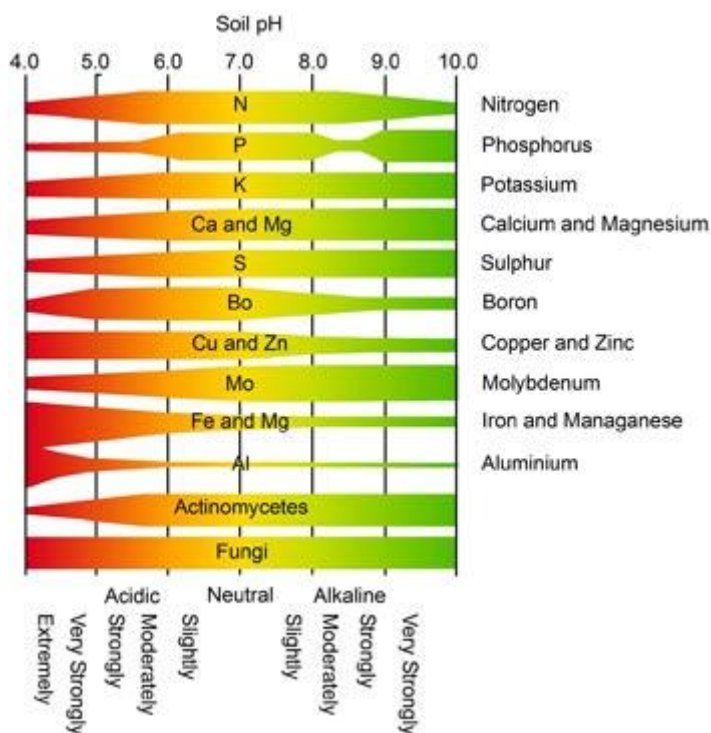
Tabulka 6.10 Obsah prvků v sušině nadzemní hmoty bazalek 2012

Bazalky 2012		Mikrovlenný rozklad				Gerhardt
varianta	číslo	% P	% K	% Ca	% Mg	% N
<b>Pěstební substrát B</b>	1	0,18 <sup>a</sup>	6,50 <sup>c</sup>	1,84 <sup>b</sup>	0,66 <sup>c</sup>	4,25 <sup>bc</sup>
<b>Gramoflor</b>	2	0,30 <sup>b</sup>	2,67 <sup>a</sup>	2,05 <sup>b</sup>	1,10 <sup>d</sup>	3,32 <sup>ab</sup>
<b>Rašelina + 10 % ND</b>	3	0,60 <sup>c</sup>	5,76 <sup>b</sup>	1,02 <sup>a</sup>	0,29 <sup>a</sup>	4,89 <sup>c</sup>
<b>Rašelina + 20 % ND</b>	4	0,84 <sup>d</sup>	6,34 <sup>bc</sup>	0,87 <sup>a</sup>	0,31 <sup>ab</sup>	6,10 <sup>d</sup>
<b>Rašelina + 25 % ND</b>	5	0,87 <sup>d</sup>	6,40 <sup>c</sup>	0,81 <sup>a</sup>	0,35 <sup>b</sup>	5,99 <sup>d</sup>
<b>F-test</b>		<b>178,33</b>	<b>62,51</b>	<b>66,48</b>	<b>443,82</b>	<b>52,54</b>
<b>Hladina významnosti</b>		<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>

## 7 Diskuse

Předpokladem pokusu je, že rašelina má hodnotu pH okolo 4 a je chudá na živiny, zatímco nese separovaný digestát je bohatý na živiny a je zásaditý. Proto jejich smícháním by mělo vzniknout pěstební prostředí s optimálním pH pro růst rostlin a s dostatečnou výživnou hodnotou. Hodnota pH je jeden z nejdůležitějších faktorů pro zdravý růst rostlin. Je známo, že některé prvky, především v kyselém prostředí, se naváží na sloučeniny, ze kterých rostlina už tyto prvky není schopna přijímat, jsou pro ni tedy v těžko dostupné formě. Do této kategorie spadají prvky  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  a  $\text{PO}_4^{3-}$  (PROCHÁZKA et al., 1998) a zásadité prostředí má za následek nerozpustnost většiny kovů např. železo, mangan apod. (Vaněk et al., 2012). Kyselé prostředí není dobré pro rostlinu ještě z dalšího důvodu, zvyšuje totiž příjem rizikových prvků (kadmium, chrom apod.). Přístupnost živin ukazuje obrázek 7.1, na kterém můžeme vidět, že dusík je hůře dostupný v zásaditém či kyselém prostředí. Fosfor je těžko přístupný při hodnotách pH cca 4,0 – 5,5 a dále okolo 8,5 a více. Draslík a vápník jsou pro rostliny těžko dosažitelné v kyselém prostředí, jak již bylo zmíněno.

Obrázek 7.1 Přijatelnost živin z půdy v závislosti na pH (Triantafilis et al., 2007)



Digestát se v současné době stává předmětem mnoha pokusů a studií. Jeho složení je velmi variabilní. Závisí na vstupních materiálech, které se zpracovávají v bioplynových stanicích. Bioplynová stanice v Krásné Hoře nad Vltavou používá jako vstupní suroviny

kejdu skotu, kukuřičnou siláž a travní senáž. Möller and Müller (2012) uvádí, že hodnota pH digestátu se zpravidla pohybuje v rozmezí 7,3 – 9. Další zdroj uvádí rozmezí 7,6 až 8,8 (Rigby and Smith, 2011), v tomto případě jako vstupní materiál byly použity exkrementy domácích zvířat. Digestát z výkalů domácích zvířat by měl mít obdobné složení jako neseparovaný digestát použitý v našem experimentu, jehož hodnota pH byla 7,7. Zatímco hodnota pH použité rašeliny byla 3,8.

V našem pokusu bylo nejvyšší hodnoty pH (6,0) dosaženo u rašeliny smíchané s 25 % digestátu. Se stoupajícím podílem digestátu do substrátu stoupala i hodnota pH. Po sklizni rostlin však došlo v substrátech k poklesu pH na hodnoty pohybující se okolo 4,5. To bylo pravděpodobně ovlivněno působením kořenů rostlin v substrátu. Optimální hodnota pH pro rašelinu a substráty obsahující rašelinu je okolo 5,8 (Vaněk et al., 2012), čemuž neodpovídá ani jedna varianta, kde byl použit neseparovaný digestát. Bazalky v roce 2011 vykazovaly podstatně menší vzrůst při použití pouze kyselé rašeliny. Negativní vliv digestátu zde však nebyl prokázán. V roce 2012 však v případě vysokých koncentrací digestátu klesala hmotnost nadzemní hmoty bazalky se stoupající koncentrací digestátu v substrátu – 20 a 25 % (viz obrázek 7.2).

*Obrázek 7.2 Demonstrační fotka se všemi variantami substrátů 2012 (zleva: Pěstební substrát B, Gramoflor, Rašelina + 10, 20 a 25 % digestátu)*



Dále Möller and Müller (2012) uvádí, že procento sušiny digestátu je v rozmezí 1,5 až 13,2 %, přičemž tekutá složka má procento sušiny v rozsahu 4,5 až 6,6 %, pevná pak v rozsahu 19,3 až 24,7 %. V našem vzorku bylo 5,3 % sušiny, tento výsledek se tedy shoduje s výše uvedeným zdrojem.

Digestát je bohatý především na minerální dusík a draslík. Dle našich výsledků převládá amonná forma dusíku. To dokládají i jiné studie. Například v Albuquerque et al. (2012) analyzovali digestát, kde byla použita jako převládající vstupní materiál dobytčí kejda. Tento digestát by tedy měl mít podobné složení s tím, co byl použit v našem pokusu. Koncentrace amonného dusíku zde při obsahu sušiny 3,1 % činila 900 mg/l. Námi použitý digestát vykazoval koncentraci 1412 mg/l v čerstvé hmotě.

Kationty  $H^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ , ale hlavně  $K^+$ , pokud se nacházejí v nadměrném množství, významně omezují příjem  $Ca^{2+}$ , zatímco vápník působí příznivě na příjem většiny iontů (Vaněk et al., 2012, Troeh and Thompson, 2005). V našich pokusech to vysvětluje snižující se podíl vápníku v nadzemní hmotě rostlin se stoupajícím přídatkem digestátu v roce 2012. To bylo pravděpodobně způsobeno výše zmíněným inhibičním působením draslíku a zejména amonného kationtu.

Při výrazném nadbytku N dochází k nekrotickým a zasychání okrajů listů až k úplnému odumření. Je to způsobeno tím, že dusík je transportován do okrajů listů, kde se hromadí, a když přesáhne jeho obsah práh toxicity, poškozují se pletiva (Schilling, 2000), což v našem případě demonstruje obrázek 7.2. Obsah fosforu a draslíku v nadzemní hmotě se naopak zvyšoval s větší koncentrací digestátu. Mezi variantami ale zpravidla nebyly zjištěny průkazné rozdíly. Obsah hořčíku vykazoval ve všech variantách s digestátem přibližně podobné koncentrace.

Pěstováním různých kultivarů bazalky se zabýval Dzida (2010), který používal běžné pěstební substráty a přihnojoval je různými přídatky  $CaCO_3$ . Porovnáním našeho pokusu v roce 2011 s tímto experimentem byly zjištěny jen rozdíly v obsahu draslíku v nadzemní hmotě (Dzida 4,26 – 4,72 % K; 2011 2,89 – 3,04 % K) a hořčíku (Dzida 0,28 – 0,31 % Mg; 2011 1,18 – 0,74 % Mg). Ve srovnání s rokem 2012 se výsledky lišily nepatrně v koncentraci fosforu, která byla u rašeliny s 10 % digestátu o 0,4 % nižší (průměr 0,6 % P, Dzida cca 1 % P). Nižší koncentrace byly zjištěny i u vápníku (0,7 – 1,05 % Ca, Dzida 1,73 – 2,76 %), zatímco draslík v našich pokusech vykazoval i vyšší koncentrace, někdy až o 2,5 % (5,37 – 7,05 %, Dzida 4,26 – 4,72 %). Koncentrace hořčíku byly skoro totožné. Rozdíly mezi pokusy byly způsobeny odlišnými podmínkami pěstování (použité substráty, hnojiva).



Použití digestátu jako součásti pěstebního substrátu je teprve ve stavu zkoumání. Není tedy mnoho informací a hlavně výsledků, které by se daly porovnat s naším pokusem. K tomu, aby bylo možné s určitostí prokázat vhodnost digestátu jako součásti substrátů je nutné provést ještě celou řadu analýz, včetně např. ekonomické studie problematiky.

## 8 Závěr

K 31. 12. 2012 bylo v České republice 481 bioplynových stanic. Se zvyšujícím se počtem bioplynových stanic vzniká i více digestátů, který je možné využít různými způsoby. Proto se digestát stává stále častěji předmětem zkoumání. Zjišťuje se, zda by byl vzhledem k vysokému obsahu živin vhodným hnojivem pro polní či zahradní rostliny. V našem pokusu byl použit digestát z bioplynové stanice v Krásné Hoře nad Vltavou. V čerstvé hmotě měl tyto koncentrace živin:  $\text{NO}_3$  – 20 mg/l,  $\text{NH}_4$  – 1412 mg/l, P – 98,2 mg/l, K – 2143,6 mg/l a Mg – 230,5 mg/l. Většina digestátů je typická vysokou hodnotou pH (v našem případě 7,7), proto byl v našem pokusu smíchán s rašelinou, která disponuje kyselým pH (3,8) a malou koncentrací živin. Použitá rašelina měla v čerstvé hmotě následující parametry:  $\text{NO}_3$  – 0,1 mg/l,  $\text{NH}_4$  – 7,3 mg/l, P – 5,9 mg/l, K – 1,5 mg/l a Mg – 16,3 mg/l. V porovnání s digestátem jsou to tedy velmi nízké hodnoty.

V našem experimentu byly jako kontrolní varianty použity Pěstební substrát B a Gramoflor. Tyto substráty byly srovnávány s rašelinou s přidavkem 10, 20 a 25 % ND. Pokusy navazovaly na obdobné z roku 2011, kdy byly při stejných kontrolních substrátech použity směsi rašeliny s 5, 10 a 15% ND. Se zvýšeným přidavkem digestátu do substrátu docházelo i ke zvýšení hodnoty pH ve vstupních substrátech. Po sklizni rostlin však došlo v obou letech k poklesu pH na hodnoty pohybující se v průměru okolo 4,1 a z pravidla neprůkazně ovlivněné přidavkem digestátu.

Z výsledků obou pokusů z hlediska obsahu přístupných makroprvků v substrátu vyplývá, že se stoupajícím podílem digestátu zpravidla průkazně stoupal i obsah dusíku, fosforu a draslíku. Hodnoty hořčíku a vápníku naopak nevykazovaly průkazné rozdíly. Ve srovnání s běžnými pěstebními substráty bylo v substrátech s přidavky digestátu stanoveno zpravidla průkazně vyšší množství draslíku a amonného dusíku.

Dále bylo sledováno množství živin v nadzemní hmotě rostlin. Podobně jako u substrátů i zde byly zpravidla zjištěny statisticky průkazně vyšší obsahy N, P a K u substrátů s přidavkem neseparovaného digestátu ve srovnání s běžnými pěstebními substráty. Obsahy těchto živin navíc stoupaly se stoupajícím přidavkem digestátu. Obsah vápníku se naopak zejména v roce 2012 se stoupajícím přidavkem digestátu snižoval a obsah hořčíku nebyl přidavkem digestátu ovlivněn. To bylo pravděpodobně způsobeno inhibičním působením draslíku a zejména amonného dusíku na příjem vápníku. Obsahy N, P, K, Ca i Mg se lišily v závislosti na ročníku pokusu. To bylo pravděpodobně ovlivněno délkou vegetační doby a rozdílným termínem realizace pokusu.

Na rostlinách pěstovaných v substrátech s vysokým podílem digestátu (20 a 25%) byly patrné příznaky nadbytku dusíku, projevující se tmavší barvou a seschlými okraji listů.

Nejvýhodnější variantu kombinace rašeliny a neseparovaného digestátu se v našich pokusech nepodařilo jednoznačně určit. Jako pravděpodobně nejvýhodnější se jeví varianty s nižším procentem digestátu (5 a 10 %). Tyto varianty však vykazovaly velmi nízké hodnoty pH. Pro budoucí využití digestátu jako součásti substrátu je tedy třeba provést úpravu hodnoty pH v substrátech s nižším podílem digestátu.

## 9 Použitá literatura

- Altmann, V., Vaculík, P., Míma, M. 2010. Technika pro zpracování komunálního odpadu. Česká zemědělská univerzita v Praze. Praha. 120 s. ISBN: 978-80-213-2022-2
- Jelínek, A. et al. 2001. Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel. Agrospoj. Praha. 236 s. ISBN: 8023942344
- Kára, J., Pastorek, Z., Příbyl, E. et al. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha – Ruzyně. Praha. 117 s. ISBN: 978-80-86884-28-8
- Kolář, V. et al. 2009. 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. 151 s. ISBN: 978-80-213-2006-2
- Kouřa, J. et al. 2008. Bioplynové stanice s mokřým procesem. ČKAIT. Praha. 120 s. ISBN: 978-80-87093-33-7
- Procházka, S. et al. 1999. Fyziologie rostlin. Academia. Praha. 484 s. ISBN: 8020005862
- Straka, F., Dohányos, M., Zábranská J., Jeníček, P. 2006. Bioplyn. GAS s.r.o. Praha. 706 s. ISBN: 80-7328-090-6
- Vaněk, V. et al. 2007. Výživa polních a zahradních plodin. Profi Press. Praha. 176 s. ISBN: 978-80-86726-25-0
- Vaněk, V., Balík, J., Černý, J., Pavlík, M., Pavlíková, D., Tlustoš, P., Valtera, J. 2012. Výživa zahradních plodin. Academia. Praha. 572 s. ISBN: 978-80-200-2147-2

### Internetové zdroje:

- AUTERSKÁ, P. Problematika zápachu na bioplynových stanicích. Biom.cz [online]. 2010-07-26 [cit. 2011-06-14]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/problematika-zapachu-na-bioplynovych-stanicich>>
- BAČÍK, O. Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>
- CZ Biom. Dostatek kvalitních vstupních surovin pro výrobu bioplynu. Biom.cz [online]. 2013-12-18 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dostatek-kvalitnich-vstupnich-surovin-pro-vyrobu-bioplynu>>
- CZ Biom. Nakládání s digestátem, možnost využití jako kvalitní hnojivo. Biom.cz [online]. 2013-12-18 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nakladani-s-digestatem-moznost-vyuziti-jako-kvalitni-hnojivo>>

CZ Biom. Průvodce výrobou a využitím bioplynu [pdf]. CZ Biom – České sdružení pro biomasu. 2009. [2010-09-24]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/knihovna/pruvodce-vyrobou-a-vyuzitim-bioplynu>>

MINISTERSTVO ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ. Metodický pokyn – K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu [pdf]. Ministerstvo životního prostředí. 2008. [cit. 2013-03-24]. Dostupné z <[http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa\\_metodika\\_oze/\\$FILE/oued-metodika\\_schvalovani\\_BPS-20100312.pdf](http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/legislativa_metodika_oze/$FILE/oued-metodika_schvalovani_BPS-20100312.pdf)>

MUŽÍK, O., SLEJŠKA, A. Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2003-07-14 [cit. 2013-03-25]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>>

VÁŇA, J. Bioplynové stanice na využití bioodpadů. Biom.cz [online]. 2010-05-10 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynove-stance-na-vyuziti-bioodpadu>>

VÁŇA, J. Využití digestátů jako organického hnojiva. Biom.cz [online]. 2007-04-25 [cit. 2013-03-22]. Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuziti-digestatu-jako-organickeho-hnojiva>>

#### Zahraniční zdroje:

Albuquerque, J. A.; Carrasco, L. et al. 2012. Assessment of the fertiliser potential of digestates from farm and agroindustrial residues, Biomass and Bioenergy. Spain. p. 181 - 189

Dzida, K. 2010. Nutrients contents in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.) herb depending in calcium carbonate dose and cultivar. Acta Scientiarum polonorum. Hortorum Cultus. Lublin. p. 143 – 151

Excel. Microsoft Office Excel 2003. Microsoft office Enterprise 2003. USA. release SP2

Houba, V. J. G., Novozamsky, I., Temminghoff, E. 1994. Soil analysis procedures: Extraction with 0.01M CaCl<sub>2</sub>. Soil and Plant Analysis. Part 5. Department of Soil Science and Plant Nutrition. Wageningen Agricultural University. The Netherlands. 66 p.

Möller, K., Müller, T. 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. Universität Hohenheim. Stuttgart. Germany. Engineering in Life Sciences. p. 242 – 257

Rigby, H.; Smith, S. 2011. New Markets for Digestate from Anaerobic Digestion, Department

of Civil and Environmental Engineering. Imperial College London. 53 p.

Schilling, G. (2000). Pflanzenernährung und Düngung. Verlag Eugen Ulmer. Stuttgart. 464 p.

StatSoft. 2009. Statistica. StatSoft Inc. 1984-2010 s.r.o. ver. 9.1. Praha. Česká republika

Triantafylis, J. et al. 2007. Soil Reaction (pH). terraGIS. Copyright UNSW. [cit. 2012-03-18].  
Dostupné z <[http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS\\_soil/sp\\_soil\\_reaction\\_ph.html](http://www.terragis.bees.unsw.edu.au/terraGIS_soil/sp_soil_reaction_ph.html)>

Troeh, F.R., Thompson, L.M. (2005). Soils and soil fertility. sixth edition. Blackwell Publishing Professional. Iowa. USA. 489 p. ISBN 0-8138-0955-X

Minasny, B., McBratney A. B., Brough, D. M., Jacquier, D. 2011, Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration, University of Sydney, Australia, p. 728 – 732