

**MENDELOVA UNIVERZITA  
V BRNĚ  
AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**BRNO 2015**

**JAKUB VOGELTANZ**

**Mendelova Univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky**

---



**Možnosti využití vybraných materiálů pro výrobu bioplynu**

Diplomová práce

*Vedoucí práce:*  
Ing. Tomáš Koutný

*Vypracoval:*  
Bc. Jakub Vogeltanz

---

Brno 2015



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci na téma „*Možnosti využití vybraných materiálů pro výrobu bioplynu*“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne: 29. 4. 2015

.....

podpis

## Poděkování

V první řadě velice děkuji svému vedoucímu diplomové práce Ing. Tomáši Koutnému za odborné vedení práce a cenné rady.

Poděkování patří rovněž doc. Ing. Patriku Burgovi, Ph.D. za poskytnutí vzorků matolin a dalších důležitých informací.

V neposlední řadě děkuji všem pracovníkům laboratoře bioplynových transformací na Mendelově univerzitě, kteří mi vypomáhali při měření.

Tato diplomová práce vznikla za podpory projektu Postdoktorské pozice v technických a ekonomických oborech na MENDELU (CZ.1.07/2.3.00/30.0031).

## **Abstrakt:**

Tato práce se zabývá výzkumem anaerobní fermentace vinných výlisků - matolin. Jako testovaný materiál byly použity dvě odrůdy vína a to odrůda Veltlínské zelené a Zweigeltrebe. Testy byly prováděny v Republikové referenční laboratoři Mendelovy univerzity v Brně po dobu 24 dní v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup> a 26 dní v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup>. Teplota se udržovala na teplotě 40,1 °C. V průběhu testů bylo měřeno množství vzniklého bioplynu a jeho složení. Výsledky testování odrůdy Veltlínské zelené byly následující: Látkové zatížení reaktoru 0,496 kg.kg<sup>-1</sup> - měrná produkce bioplynu byla 0,415 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, měrná produkce metanu 0,246 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a průměrná koncentrace metanu v bioplynu vyšla 59,3 %. Látkové zatížení reaktoru 0,099 kg.kg<sup>-1</sup> - měrná produkce bioplynu byla 0,656 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, měrná produkce metanu 0,262 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a průměrná koncentrace metanu v bioplynu vyšla 39,8 %. U odrůdy Zweigeltrebe byly zaznamenány tyto výsledky: Látkové zatížení 0,474 kg.kg<sup>-1</sup> - měrná produkce bioplynu 0,378 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, měrná produkce metanu 0,234 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a průměrná koncentrace metanu v bioplynu 61,9 %. Látkové zatížení 0,095 kg.kg<sup>-1</sup> - měrná produkce bioplynu byla 0,544 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, měrná produkce metanu 0,266 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a průměrná koncentrace metanu v bioplynu vyšla 48,9 %.

**Klíčové slova:** vinné výlisky, matoliny, anaerobní fermentace, metan, bioplyn

## **Abstract:**

This work deals with the anaerobic treatment of grape marcs. In this work we tested two varieties of wine. Veltlínské zelené and Zweigeltrebe. Tests were carried out in the Republic reference laboratory at Mendel University in Brno under mesophilic anaerobic conditions for 24 days in 0.003 m<sup>3</sup> reactors and for 26 day in 0.120 m<sup>3</sup> reactors. Biogas production and methane content were monitored daily during the test. The measurement results of testing variety Veltlínské zelené were: Substance loads ratio 0.496 kg.kg<sup>-1</sup> - specific production of biogas 0.415 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, specific production of methane 0.246 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> and average concentration of methane in biogas was 59.3%. Substance loads ratio 0.099 kg.kg<sup>-1</sup> - specific production of biogas 0.656 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, specific production of methane 0.262 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> and average concentration of methane in biogas was 39.8 %. The measurement results of testing variety Zweigeltrebe were: Substance loads ratio 0.474 kg.kg<sup>-1</sup> - specific production of biogas 0.378 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, specific production of methane 0.234 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> and average concentration of methane in biogas was 61.9 %. Substance loads ratio 0.095 kg.kg<sup>-1</sup> - specific production of biogas 0.544 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, specific production of methane 0.266 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> and average concentration of methane in biogas was 48.9 %.

**Keywords:** grape marc, pomace, anaerobic fermentation, methane, biogas

## Obsah

1 ÚVOD.....	9
2 CÍL PRÁCE.....	10
3 ZÁKLADNÍ POZNATKY O PROBLEMATICE.....	11
3.1 Anaerobní fermentace.....	11
3.2 Bioplyn.....	13
3.3 Fermentační zbytek.....	14
3.4 Metody úpravy bioplynu.....	14
3.5 Bioplynová stanice.....	15
3.6 Využití bioplynu.....	17
3.7 Charakteristika směsi.....	18
3.7.1 Matoliny.....	18
3.7.2 Inokulum.....	21
3.8 Historie využití energetického potenciálu anaerobní fermentací.....	22
4 METODIKA.....	23
4.1 Příprava vzorků.....	23
4.2 Vážení vzorků.....	23
4.3 Proces sušení.....	24
4.4 Proces žíhání.....	25
4.5 Proces fermentace – reaktory o objemu 0,120 m <sup>3</sup> .....	25
4.5.1 Měření objemu bioplynu.....	26
4.5.2 Analýza složení bioplynu.....	26
4.6 Proces fermentace – reaktory o objemu 0,003 m <sup>3</sup> .....	27
4.6.1 Měření objemu bioplynu.....	28
4.6.2 Analýza složení bioplynu.....	29
4.7 Stanovení spalného tepla.....	29
5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ.....	31
5.1 Naměřené hodnoty – reaktory 0,120 m <sup>3</sup> .....	32
5.2 Naměřené hodnoty – reaktory 0,003 m <sup>3</sup> .....	35
5.3 Měrná produkce bioplynu.....	37
5.4 Měrná produkce metanu.....	42
5.5 Obsah CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> S, H <sub>2</sub> v bioplynu.....	45

5.6 Odbouratelnost organických látek .....	48
5.7 Stanovení přesnosti měření .....	50
5.7.1 Přesnost měřících přístrojů .....	52
6 DISKUZE .....	53
6.1 Energetický potenciál materiálu .....	53
6.2 Porovnání výsledků.....	54
7 ZÁVĚR .....	57
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....	60
SEZNAM TABULEK .....	62
SEZNAM OBRÁZKŮ .....	62



## 1 ÚVOD

V roce 2005 bylo na území České republiky 133 bioplynových stanic. K datu 1. 1. 2015 je podle statistik České bioplynové asociace v provozu již 500 bioplynových stanic o instalovaném výkonu 392 MW. Podíl bioplynu na obnovitelných zdrojích energie je v současnosti okolo 22 %. Díky pozastavení dotací na výstavbu bioplynových stanic v roce 2014 se očekává, že se počet bioplynových stanic na území České republiky nebude nadále rozšiřovat. Hlavní podíl na počtu bioplynových stanic mají stanice zemědělského typu, kterých je na území České republiky 65 % z celkového počtu. Podle typu bioplynové stanice se mění i substrát využívaný při výrobě bioplynu. Od jeho kvality se odráží množství i kvalita vyprodukovaného bioplynu.

Bioplynové stanice využívají pro svůj provoz osvědčený vstupní materiál, který zaručí ekonomickou efektivnost provozu. Nejčastějším substrátem bývá kukuřičná siláž. Přesto je zapotřebí hledat stále nové materiály a testovat je. U některých materiálů může být prokázána vhodnost k výrobě bioplynu a to jako primárního substrátu, u jiných se zase mohou objevit vlastnosti, díky nimž dokáže substrát zlepšit kvalitu vyprodukovaného bioplynu.

Celý procesu anaerobní fermentace a produkce bioplynu závisí na vstupních surovinách, použité technologii anaerobní fermentace a dalších faktorech. Z ekonomického hlediska je velice důležité množství vyprodukovaného bioplynu a jeho složení. To určuje, zda bude bioplynová stanice rentabilní. Cílem této práce je otestovat matoliny vzniklé ze zpracování vinné révy, které díky svému chemickému složení mají předpoklad dobré využitelnosti k výrobě bioplynu.

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem této práce je stanovit množství a kvalitu bioplynu, který lze získat anaerobní fermentací vinných výlisků, tzv. matolin, v laboratorních podmínkách v Celorepublikové referenční laboratoři bioplynových transformací na Mendelově univerzitě v Brně. Dále srovnat výsledné produkce a kvality bioplynu různých odrůd vína, červeného Zweigeltrebe a odrůdy bílého vína Veltlínské zelené. Stanoví se také odbouratelnost organických látek procesem anaerobní fermentace a zároveň se analyzuje energetická bilance. Výsledky se porovnají s testováním anaerobní fermentace matolin v zahraničí. Kvalita i množství vyprodukovaného bioplynu se budou také porovnávat s hodnotami, které lze dosáhnout při anaerobní fermentaci energetických plodin, které se využívají v běžných provozech.

### 3 ZÁKLADNÍ POZNATKY O PROBLEMATICE

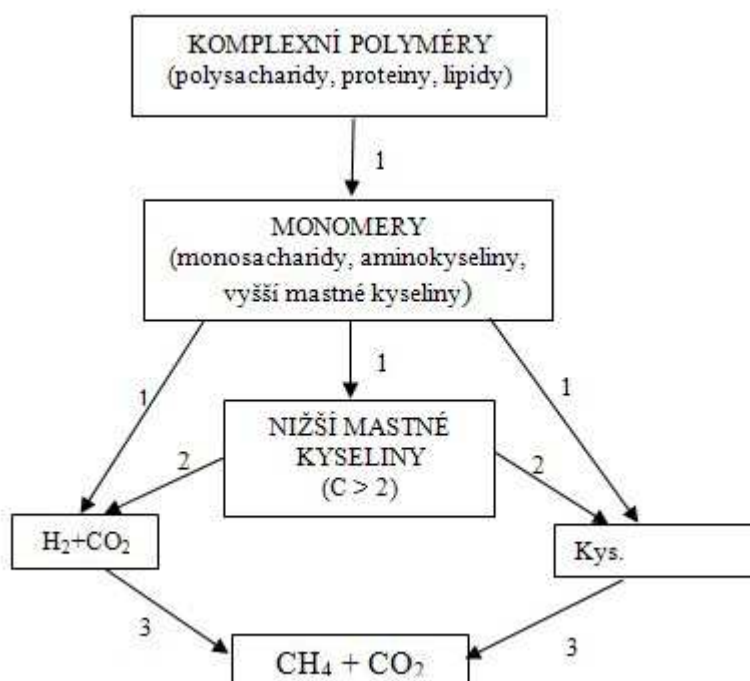
V této kapitole jsou uvedeny základní poznatky o problematice bioplynových transformací, používaných technologií a materiálech, vstupech a výstupech z procesu anaerobní fermentace. Zmíněné jsou rovněž možnosti úprav vzniklého bioplynu a také charakter materiálu, který byl v rámci této práce testován.

#### 3.1 Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentace je biologický proces, který probíhá bez přístupu vzduchu a při kterém dochází k rozkladu organické hmoty. V této práci se jedná o uměle vytvořenou anaerobní fermentaci v laboratorních podmínkách. Ovšem anaerobní fermentace probíhá přirozeně i v přírodě. Příkladem mohou být bažiniště či dna jezer, kde tento proces probíhá. O rozklad organické hmoty se stará směs mikroorganismů, která se mění podle stupně rozkladu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro skupinu druhou. Anaerobní fermentace probíhá ve 4 fázích.

- Hydrolýza – v této fázi působí extracelulární enzymy a dochází k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek mimo buňky. Vznikají jednodušší sloučeniny, převážně mastné kyseliny a alkoholy. Uvolňuje se i vodík a oxid uhličitý.
- Acidogeneze – produkty hydrolýzy jsou dále rozkládány na jednodušší organické látky, například těkavé organické kyseliny a alkoholy.
- Acetogeneze – v této fázi dochází k oxidaci organických kyselin a alkoholů a tvoří se kyselina octová, vodík a oxid uhličitý.
- Metanogeneze – jedná se o závěrečný krok procesu anaerobní fermentace. Z kyseliny octové, vodíku a oxidu uhličitého vzniká metan. V této fázi jsou důležité metanogenní bakterie, což jsou striktně anaerobní organismy. Jsou velice citlivé na výkyvy teplot, změny pH.

V každé fázi působí jiná směs mikroorganismů. V první a druhé fázi působí hydrolyzační a fermentační mikroorganismy, které způsobují hydrolýzu a acidogenezi. Na Obrázku 1 jsou označeny číslem 1. Jedná se o rozklad polymerů na monomery. V třetí fázi působí obligátní acetogenní bakterie, které fermentují kyselinu máselnou a propionovou na kyselinu octovou, označeny na Obrázku 1 číslem 2. Tento proces je možný pouze tehdy, pokud je množství přítomného vodíku minimální a dochází k jeho odvádění, což je proces, který probíhá v poslední fázi. Zde hydrogenotrofní metanogény produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého, a acetotrofní metanogény produkují metan z kyseliny octové. Na Obrázku 1 označeny číslem 3.



Obrázek 1 - Schéma anaerobní fermentace (Dohányos, 2008)

Celý proces anaerobní fermentace probíhá ve velkém rozmezí teplot. Podle optimální teploty pro mikroorganismy rozlišujeme psychrofilní, kdy se teplota pohybuje od 5 – 30 °C. Dále mezofilní, teploty od 30 – 40 °C a proces termofilní s teplotami v rozmezí 40 – 60 °C. Nejčastěji je využíván mezofilní režim v teplotách na hranici 40 °C. (Dohányos, 2008)

## 3.2 Bioplyn

Hlavním produktem anaerobní fermentace je bioplyn. Jedná se o bezbarvý plyn, jehož podstatnými složkami jsou metan a oxid uhličitý. V bioplynu se však může nacházet i vodík, dusík, sirovodík, amoniak, vodní pára, nebo také etan a další nižší uhlovodíky. (Bioprofit, 2014)

V Tabulce 1 je uvedeno procentuální zastoupení jednotlivých složek v bioplynu.

*Tabulka 1 - 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 %
Sirovodík – H <sub>2</sub> S	0,1 – 1 %
Dusík – N <sub>2</sub>	1 – 3 %

Metan je nejjednodušší alkan, tedy nejjednodušší uhlovodík. Je to plyn bez barvy a zápachu, který je lehčí než vzduch. Do bioplynu se dostává rozkladem polysacharidů, lipidů a proteinů. Tvoří nejdůležitější součást z hlediska jeho velké výhřevnosti. Jeho výhřevnost je 33 806 kJ.m<sup>-3</sup>. (Ibler et al., 2002)

Oxid uhličitý je bezbarvý plyn bez zápachu, který je těžší než vzduch. Je nehořlavý, takže snižuje celkovou výhřevnost bioplynu. Vzniká při fermentaci sacharidů.

Vodík je bezbarvý a vysoce hořlavý plyn, který je lehčí než vzduch a snadno reaguje s jinými chemickými látkami. Vzniká v bioplynu jako nespotřebovaný produkt acidogeneze. Výhřevnost vodíku je 10 748 kJ.m<sup>-3</sup>. (Ibler et al., 2002)

Sirovodík je bezbarvý plyn, který je zapáchající. Je těžší než vzduch a dobře rozpustný. Při rozpuštění ve vodě vzniká kyselina sulfanová. Jako složka bioplynu vzniká rozkladem polysacharidů

Dusík je inertní plyn, který je bezbarvý. V bioplynu se může objevit společně s kyslíkem jako zbytek vzdušných plynů.

### 3.3 Fermentační zbytek

Fermentační zbytek je vedlejší produkt při anaerobní fermentaci probíhající v bioplynových stanicích. Při technologii „tekuté“ fermentace se jeho sušina pohybuje okolo 6 – 8 %. Z fermentačního zbytku se může odseparovat voda. Vznikne tedy tzv. fugát s obsahem sušiny okolo 1 % a vyseparovaný fermentační zbytek o sušině okolo 30 %. Základním využitím fermentačního zbytku je jeho aplikace na zemědělskou půdu jako hnojiva, a to jak v tekuté, tak v separované formě. Tato aplikace podporuje zadržování vody v půdě. Fermentační zbytek je tedy dobré přírodní hnojivo.

Fermentační zbytek se však může ještě dosoušet a peletkovat k využití buď jako hnojiva, nebo jako topiva. Složení fermentačního zbytku se liší podle používaného materiálu v bioplynové stanici. (Bioprofit, 2015)

### 3.4 Metody úpravy bioplynu

V předchozí kapitole byly popsány jednotlivé složky bioplynu. Některé z nich výrazně snižují kvalitu bioplynu a ze vzniklého bioplynu se tedy odstraňují. V běžných provozech bioplynových stanic se nejčastěji čistí plyn tím, že se plyn odsítí a sníží se jeho vlhkost.

Mezi metody odsíření, které se používají, patří metody absorpční, zejména vypírání různými pracími kapalinami. Dále to mohou být metody adsorpční, převážně odstraňování záchytem na adsorbentech. Poslední jsou metody katalytické, kdy dochází k přeměně na jiné produkty pomocí katalyzátorů. V bioplynových stanicích se množství sirovodíku snižuje přidáním malého množství vzduchu do bioplynu. Tím dojde k oxidaci sirovodíku na elementární síru, která je pak součástí fermentačního zbytku.

V plynojemu je vzniklý bioplyn také nasycen vodní párou, kterou je třeba odstranit. Nejčastěji dochází ke snižování vlhkosti v kondenzační jednotce. Zde dochází k ochlazení plynu a k odvodu kondenzátu.

Pro zvýšení kvality bioplynu, tedy zvýšení obsahu metanu, odstraňujeme oxid uhličitý. Ve Skandinávii, nejčastěji Švédsku, se již využívají metody, které dokážou zvýšit obsah metanu v bioplynu až na 98 %. Díky tomu pak lze bioplyn využít jako pohonné hmoty. Mezi používané metody patří tlaková vodní vypírka nebo nízkotlaká absorpce. (Sladký, 2009)

### 3.5 Bioplynová stanice

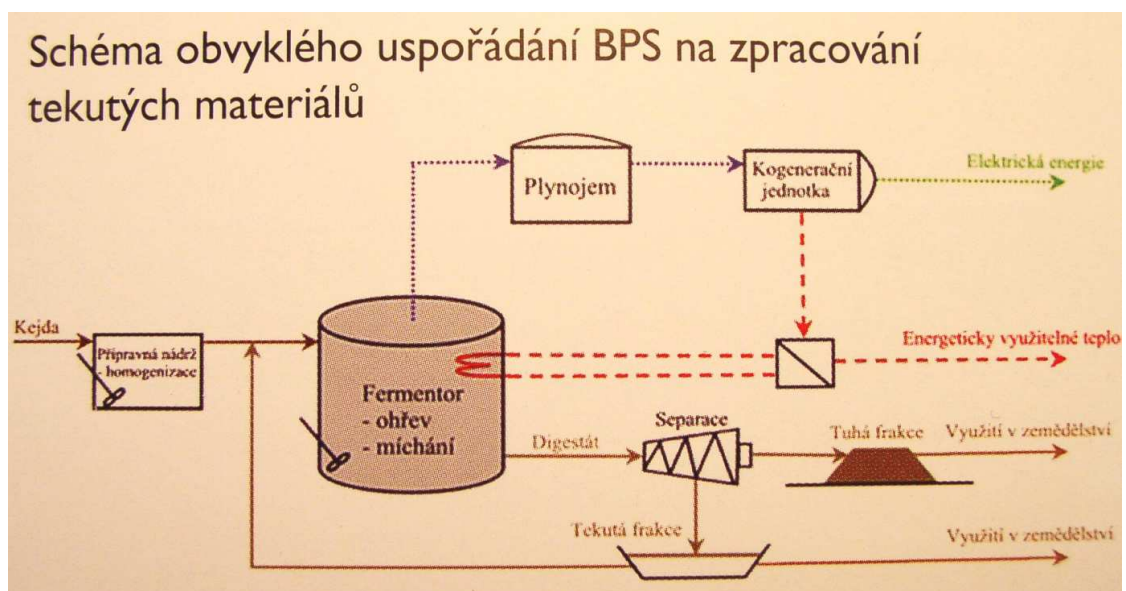
Bioplynová stanice je technologické zařízení, ve kterém za pomoci anaerobní fermentace dochází k rozkladu organických látek a vzniku bioplynu. Anaerobní fermentace a složení bioplynu jsou popsány v kapitole 3.1 a 3.2. Substrátem pro anaerobní fermentaci je biologicky rozložitelný materiál.

Technologii bioplynových stanic můžeme rozdělit na tekutou a netekutou fermentaci. Tabulka 2 popisuje hlavní rozdíly mezi netekutou a tekutou fermentací.

Tabulka 2 - Technologie bioplynových stanic (CZ BIOM, 2010)

Netekutá fermentace	Tekutá fermentace
Sušina 20 – 50 %	Sušina 6 – 10 %
Plnění nakládačem	Plnění čerpadly
Diskontinuální proces	Kontinuální proces
Nejčastěji garážové fermentory s vraty	Nejčastěji válcové fermentory
Bez míchání biomasy v průběhu procesu	Míchání biomasy v průběhu procesu

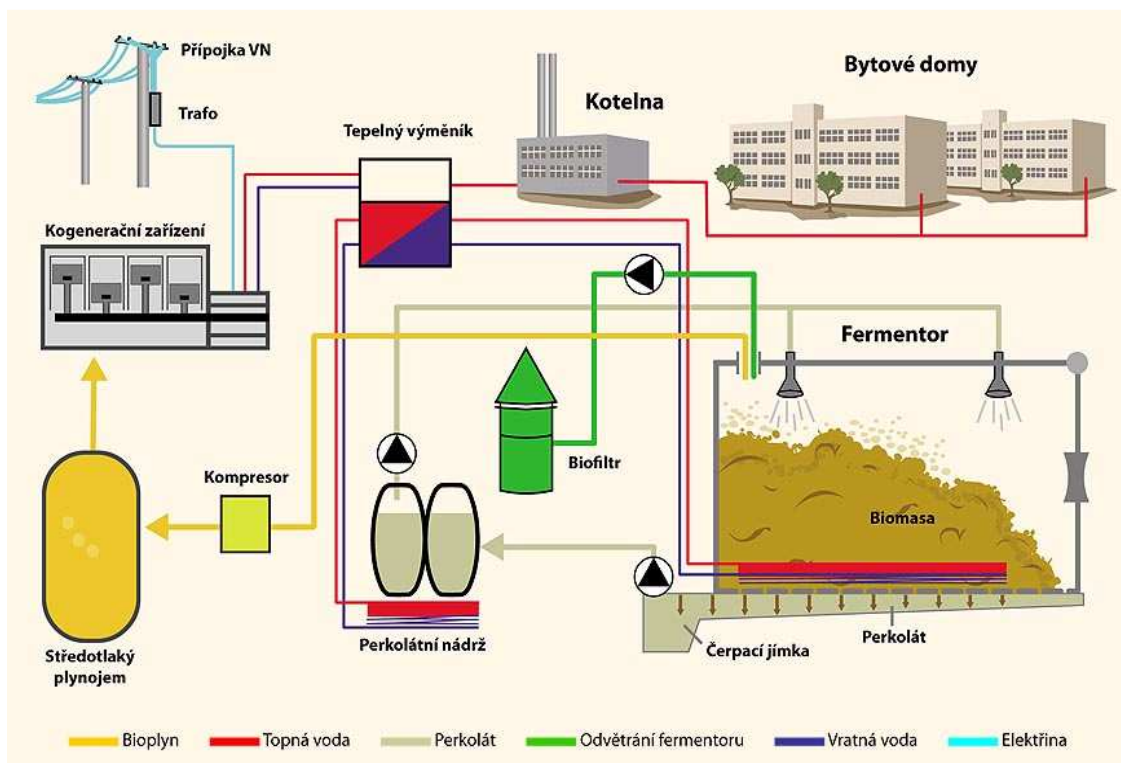
Na Obrázku 2 lze vidět zjednodušené schéma „tekuté“ fermentace. Tato technologie je v současnosti nejvíce používána.



Obrázek 2 - Schéma tekuté fermentace (CZ Biom, 2010)

Bioplynová stanice s „tekutým“ typem fermentace se skládá z těchto důležitých komponentů:

- jímka s čerpací stanicí,
- uskladňovací plocha (případně hala) pevných surovin,
- příjmový dávkovač pro pevné substráty, dopravní technika,
- vyhřívaný a odizolovaný fermentor s míchacím zařízením a plněním suroviny,
- nádrž pro fugát - nádrž na konečný produkt fermentace a foliový integrovaný plynojem a ochrannou plachtu proti povětrnostním vlivům (dočasný zásobník),
- plynová soustava s úpravou plynu (odsíření) a s dmýchadlem na bioplyn,
- prostor blokové kotelny s řídicí technikou.



Obrázek 3 - Schéma netekuté fermentace (Fortexbioplyn, 2015)

Bioplynová stanice se „netekutým“ typem fermentace se skládá z následujících komponentů:

- garážové fermentory s plynotěsnými vraty se zabudovaným topením a perkolátním hospodářstvím,
- technický přístavek s vytápěnými perkolátními nádržemi,
- manipulační plocha před fermentory,



- technologie výroby bioplynu (perkolátní, tepelné a plynové hospodářství, plně automatizovaný řídicí systém),
- kogenerační jednotka včetně chlazení,
- havarijní hořák,
- napojení stanice na elektrickou energii, teplo, kanalizaci a vodovod,
- další stavební objekty dle požadavků investora – koncový sklad perkolátu, sklad biomasy a fermentátu, kompostárna, hygienizační stanice. (CZ Biom, 2010)

Bioplynové stanice rozdělujeme podle využívaných materiálů na tři typy, a to zemědělské, čistírenské a ostatní. Zemědělské bioplynové stanice jsou nejčastějším typem. Slouží ke zpracování cíleně pěstovaných plodin, nejčastěji kukuřice, cukrové řepy či luční trávy. Jako vedlejší přídatné produkty se používají kejda nebo hnůj. Tyto bioplynové stanice nejsou tak investičně náročné a existují spolehlivé odzkoušené technologie. Navíc fermentační zbytek lze použít na pozemcích zemědělského podniku.

Čistírenské bioplynové stanice zpracovávají pouze kaly z čistíren odpadních vod a jsou její nedílnou součástí. Jedná se o stabilizaci kalů za pomoci anaerobní fermentace.

Ostatní bioplynové stanice mohou zpracovávat biologicky rozložený odpad a můžeme je dělit na komunální a průmyslové. Komunální jsou zaměřeny na zpracování biologicky rozložitelného komunálního odpadu. Vstupní suroviny jsou tedy odpady z údržby zeleně, vytríděný bioodpad z domácností a restaurací a jídelen. Jedná se o nehomogenní materiál, který je třeba před procesem fermentace vytrídit a homogenizovat. Výhodou však je, že vstupní surovinou je odpad, tudíž za něj provozovatel nemusí platit.

Průmyslové bioplynové stanice zpracovávají biologicky rozložitelný odpad vznikající v průmyslu, například v potravinářství nebo v lihovarnictví. (Bačík, 2008)

### **3.6 Využití bioplynu**

Existují 3 základní způsoby, jak lze vzniklý bioplyn využít. Nejjednodušším způsobem je přímé spalování pro výrobu tepla. Nejčastějším způsobem však bývá kogenerace. To je výroba elektřiny a tepla. Účinnost využití bioplynu kogenerací je okolo 85 % (35 % elektrická energie a 50 % teplo). Výroba elektrické energie z bioplynu v

kogeneraci s teplem je v České republice podporována zákonem č. 165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, a to díky garantovaným výkupním cenám a zeleným bonusům za výrobu elektřiny z obnovitelných zdrojů. Bioplyn je spalován v pístovém spalovacím motoru, který roztáčí generátor elektrické energie.

Bioplyn lze využít i jako palivo pro automobily. Výroba biopaliva, jako bioethanol, je nejvíce rozšířená ve Skandinávii, zejména ve Švédsku. (Smrž, 2007)

### **3.7 Charakteristika směsi**

Do reaktorů se vždy nadávkoval testovaný materiál spolu s inokulem, které bylo dovezeno z bioplynové stanice v Čejči. Popis materiálu a inokula je uveden v následujících kapitolách.

#### **3.7.1 Matoliny**

Matoliny jsou výlisky po lisování hroznů. Matolina je tvořena semeny, zbytky a úlomky třapin, slupkami vylisovaných bobulí. Podíl semen v matolině činí běžně 14 - 30 %, zbytky a úlomky třapin představují 8 – 10 % a zbytek tvoří slupky vylisovaných bobulí. Z celkového množství např. 1000 kg hroznů tvoří třapiny 40 – 60 kg, matolina 230 – 300 kg (podle způsobu lisování), zbytek je vylisovaný mošt. Množství vyprodukovaných matolin a jejich kvalita je ovlivněna řadou faktorů. Vedle odrůdy, způsobu sklizně a zpracování v příjmové části linky, ovlivňuje množství matolin především zvolený způsob lisování. Podíl matoliny při zpracování hroznů běžně dosahuje 20 – 30 % hmotnosti zpracovávaných hroznů. Matoliny odrůdy Zweigeltrebe a Veltlínské zelené jsou vyfoceny na Obrázku 4. (Burg, Zemánek, 2012)



Obrázek 4 - Matoliny použité při testování (Vlastní foto)

Objemová hmotnost matolin je  $350 - 420 \text{ kg.m}^{-3}$ . Z hlediska využití hlavních živin je N:P:K:Ca v poměru 4:1:4:4. Surovina obsahuje vysoký podíl kyselin, které se podílejí na nízké hodnotě pH v rozmezí 3,5 – 3,8. (Encyklopedie vína, 2015)

Nejčastěji zpracování matolinu:

- z vinných a ovocných matolin, které obsahují dostatek cukru, se pálí matolinová pálenka, která se označuje jako matolinovice, na Slovensku terkelica (italská se označuje jako grappa),
- rmut z matolin vyrobíme v kádi připuštěním dostatečného množství vody (aby v ní nestála),
- z vinných matolin přidáním cukerného roztoku a následným zkvašením se dá vyrobit matolinové víno,
- po vysušení se dají použít jako palivo,
- využití jako hnojiva,
- z vinných jader se lisuje hroznový olej.

V testu byly použity matoliny ze dvou odrůd vína. První byla Veltlínské zelené a druhá odrůda Zweigeltrebe. Tyto odrůdy byly vypěstovány na katastrálním území obce Rakvice. Víno je pěstované na tzv. černoze na spraši. Výtěžnost hroznů na 10 000 m<sup>2</sup> půdy je 11 000 kg. Výtěžnost matolin na této ploše je tedy 3 300 kg.

*Tabulka 3 - Chemické složení matolin (Sousa et al., 2014)*

<b>Chemické složení matolin [procentuální zastoupení v sušině]</b>	
<b>Neodpařitelná voda</b>	<b>3,33</b>
<b>Popel</b>	<b>4,65</b>
<b>Lipidy</b>	<b>8,16</b>
<b>Bílkoviny</b>	<b>8,49</b>
<b>Uhlohydráty</b>	<b>29,20</b>
- Pektin	3,92
- Fruktóza	8,91
- Glukóza	7,95
<b>Vláknina</b>	<b>46,17</b>
<b>Celkové kalorie [Kcal/100g]</b>	<b>224,00</b>

V Tabulce 3 je uvedeno chemické složení matolin odrůdy Benitaka. Jedná se o odrůdu bílého vína z oblasti severní Brazílie.

Do skupiny lipidů patří všechny estery vyšších mastných kyselin, které se nacházejí v rostlinných nebo živočišných tkáních. Společnou charakteristikou lipidů je přítomnost mastných kyselin s dlouhým alifatickým řetězcem a malým počtem atomů kyslíku v jejich molekulách. Tuky mají nejvyšší výtěžnost metanu a podléhají relativně snadno enzymové hydrolýze.

Bílkoviny jsou vysokomolekulární polymery  $\alpha$ -aminokyselin – jednoduché bílkoviny, zatímco složené bílkoviny obsahují jednu nebo více sloučenin odlišné povahy. Bílkoviny se v tkáních organismů a rostlin vyskytují buď samostatně nebo v kombinaci s nukleovými kyselinami, cukry či s lipidy. Jsou to snadno rozložitelné látky a vykazují také vysokou výtěžnost metanu. Obsahují mimo jiné i síru a dusík. Dusík při anaerobní fermentaci přechází v amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu.

Uhlohydráty jsou součástí každé rostlinné biomasy. Nejlépe rozložitelný je škrob, poměrně snadno se hydrolyzuje amylolytickými enzymy na jednoduché sacharidy – maltózu. Dále celulóza je polymerem glukózy, v procesu anaerobní fermentace je relativně málo rozložitelná. Pektin je polysacharid kyseliny galakturonové. Fruktóza a glukóza jsou monosacharidy, které jsou snadno rozložitelné.

Vláknina je pak tvořena zejména lignocelulózou a jejich deriváty. Účinný rozklad vlákniny a její využití v procesu tvorby bioplynu je velice žádoucí především z důvodu efektivního využití tohoto převládajícího podílu vstupující organické hmoty. Druhý důvod vyplývá z nezastupitelné úlohy vlákniny při tvorbě rostlinných pletiv a mechanické opory rostlinných buněk. Tím totiž účinně brání ve využití jinak lehce odbouratelných substrátů, které jsou uvnitř.

Popel reprezentuje anorganické látky. (Straka et al., 2006)

*Tabulka 4 - Elementární složení matolin (Burg, Ludín, 2013)*

Elementární složení matolin						
	C [%]	H [%]	O [%]	N [%]	S [%]	popel [%]
<b>Veltlínské zelené</b>	55,09	5,51	32,23	0,63	3,12	3,42
<b>Zweigeltrebe</b>	55,99	5,68	35,13	0,91	2,99	3,20

Tabulka 4 udává prvkové složení odrůd matolin. Matoliny vznikají různými způsoby podle zpracování hroznů dané odrůdy. Po sklizni se oddělí stopky od dužiny, po té se hrozny podrtí a vzniká rmut. Při výrobě bílého vína je rmut ihned lisován a vznikají matoliny. Tento postup platí i pro odrůdu Veltlínské zelené, která byla v této práci použita.

Při výrobě červeného vína se rmut nechá prokvasit spolu se slupkami. Ve slupkách se nacházejí barviva, která se při kvašení extrahují do rmutu. U odrůdy Zweigeltrebe proběhlo nakvašení 12 dní a poté byl rmut lisován a vznikly matoliny.

### 3.7.2 Inokulum

Inokulum je odebíráno z bioplynové stanice v Čejči. Substrát se odebírá z druhého stupně fermentace. Inokulum slouží k iniciaci procesu anaerobní fermentace. Bioplynová stanice v Čejči používá jako vstupní materiál směs chlévské kejdy a kukuřičné siláže. Stavba se skládá z prostorů pro úpravu vstupního materiálu, fermentorů, zásobníku bioplynu, kogenerační jednotky a provozního skladu fugátu.

Výstupem je meziprodukt – bioplyn – spalovaný v kogenerační jednotce sloužící k výrobě elektrické energie. V Tabulce 5 jsou uvedeny základní údaje o bioplynové stanici.

*Tabulka 5 - Základní údaje o bioplynové stanici Čejč (BIOM CZ, 2015)*

<b>Výkon</b>	1072 kW
<b>Vstupní suroviny</b>	kejda prasat, kukuřičná siláž
<b>Počet zaměstnanců přímo na BPS</b>	2
<b>Vyrobena elektrina</b>	998 kWh
<b>Uspořené CO<sub>2</sub></b>	2167 kg
<b>Využití tepla (kWh)</b>	982
<b>Rok uvedení do provozu</b>	2007

### **3.8 Historie využití energetického potenciálu anaerobní fermentací**

V přírodě probíhá anaerobní fermentace přirozeně. Jedná se anaerobní fermentaci v zamokřených půdách, v sedimentech, na dně jezer. Ovšem cílené vyrábění a využívání bioplynu se datuje na přelom 19. a 20. století. Tehdy se začal využívat plyn vzniklý anaerobní fermentací kalů splaškových čistíren odpadních vod. Využíval se převážně k vytápění a svícení v provozních budovách čistíren. Od dvacátých let 20. století se začínají využívat nádrže pro anaerobní fermentaci kalů, reaktory se vyhřívají a vzniklý bioplyn je využíván k pohonu elektrických generátorů.

Ve třicátých letech 20. století začíná intenzivní výzkum procesu anaerobní fermentace. Začínají se mimo kalů používat také odpady ze zemědělství a potravinářství. S vývojem populace se začíná podíl organicky rozložitelného odpadu na skládkách zvyšovat a proto dochází k intenzivnímu využívání skládkového plynu. To má za následek i kontrolování tvorby skládkového plynu, což přispívá k bezpečnosti na skládce. Od sedmdesátých let 20. století se začínají k výrobě bioplynu využívat i energeticky pěstované plodiny a vznikají první bioplynové stanice. (Straka et al., 2006)

## 4 METODIKA

Všechny testy probíhaly v Republikové referenční laboratoři bioplynových transformací na Mendelově univerzitě v Brně.

### 4.1 Příprava vzorků

Vzorky bylo nutné připravit k dalším analýzám. Vzorky se dávkovaly do keramických misek. Každý vzorek se dávkoval do tří keramických misek. Misky se popsaly přiřazeným číslem kvůli následující identifikaci vzorku. Ke stanovení bylo využito 4 vzorků. Jednalo se o matoliny z bílých, červených hroznů a inokulum ze zemědělské bioplynové stanice v Čejči. Inokulum se odebíralo ve dvou různých obdobích a vždy z druhého stupně fermentace.

### 4.2 Vážení vzorků

Pro potřeby následujících analýz bylo nutné vzorky nejdříve navážít. Vážení probíhalo na digitálních vahách, které pracují na principu tenzometrického stanovení. Díky hmotnosti měřeného objektu dochází k deformaci tenzometru. Tato deformace je úměrná jeho elektrickému odporu. Elektrický odpor je změřen a od naměřené hodnoty se odečte jeho deformace a podle její velikosti je určená hmotnost měřeného objektu.



Obrázek 5 - Laboratorní váhy Pioneer OHAUS (Vlastní foto)

Vzorky se vážily na vahách Pioneer OHAUS model PA214CM, které jsou vyfoceny na Obrázku 5. Tyto váhy jsou vybaveny celoskleněným ochranným krytem s 2 posuvnými dvířky a LCD displejem, na kterém se zobrazují naměřené hodnoty. Přístroj pracuje s přesností 0,0001g. Což zaručuje přesné měření.

Váhy se zapnuly tlačítkem „ON“. Poté se váhy několik vteřin kalibrovaly. Po ukončení kalibrace bylo zapotřebí otevřít posuvná dvířka a za pomoci laboratorních kleští přenést keramickou misku na misku vah. Dvířka se zavřela a muselo se počkat než se hodnota na LCD displeji ustálí. Po ustálení hodnoty se hodnota zapsala a miska vyndala. Nejprve se vážily samotné misky, poté misky po naplnění. Po procesu sušení se misky opět vážily a nakonec se misky vážily po vyžhání. Všechny hodnoty byly zapsány do připravené tabulky.

### 4.3 Proces sušení

Sušení je fyzikálně-chemický proces, kdy se zbavujeme vody obsažené v materiálu, který sušíme. Sušení probíhalo v peci při teplotě 105 °C a trvalo 24 hodin. Po ukončení procesu sušení byly získány vzorky zbavené vody, které slouží k zjištění sušiny daného materiálu. Vzorky se zvažily. Proces sušení probíhal v souladu s normou ČSN EN 14346.

Sušina se stanoví podle následujícího vzorce:

$$X = \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \times 100$$

kde:

*X je procentuální sušina [%]*

*m<sub>1</sub> je hmotnost misky bez materiálu [kg]*

*m<sub>2</sub> je hmotnost misky s materiálem [kg]*

*m<sub>3</sub> je hmotnost misky s materiálem po procesu sušení [kg]*



#### 4.4 Proces žhání

Proces žhání slouží ke stanovení spalitelných látek ve vzorku. Vzorky byly žhány v elektrické peci při teplotě 550 °C. Po vyžhání byly vzorky zváženy a zapsány jejich hodnoty.

Obsah spalitelných látek určí organickou složku v materiálu a lze ho zjistit pomocí následujícího vzorce.

$$OS = \frac{m_3 - m_4}{m_3 - m_1} \times 100$$

kde:

*OS je organická sušina [%]*

*m<sub>1</sub> je hmotnost misky bez materiálu [kg]*

*m<sub>3</sub> je hmotnost misky s materiálem po vysušení [kg]*

*m<sub>4</sub> je hmotnost misky s materiálem po procesu žhání [kg]*

#### 4.5 Proces fermentace – reaktory o objemu 0,120 m<sup>3</sup>

První test probíhal v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup>. Do 2 reaktorů se nadávkovala směs 100 kg inokula a 5 kg matolinu. Do jednoho reaktoru se nadávkovalo 100 kg inokula a tento reaktor sloužil jako kontrola při vyhodnocení testu. Test probíhal po dobu 26 dní při konstantní teplotě 40,1 °C. Teplota se kontrolovala pomocí teploměru umístěných uvnitř reaktorů. Naměřené hodnoty se zobrazovaly pomocí programu nainstalovaného v počítači v laboratoři. V reaktoru se nachází i míchací mechanismus, který směs v reaktorech pravidelně promíchává. Díky častému míchání dochází ke zdokonalení procesu fermentace a tak je v laboratorních podmínkách dosaženo téměř ideálních výsledků. V bioplynových stanicích je důležité dbát na ekonomiku provozu, proto míchání směsí není tak časté.

Každý den se měřil objem plynu a stanovovalo se jeho složení. Vzniklý bioplyn se jímá do plynojemu a po dosažení přetlaku 3 kPa se spaloval v hořáku přebytečného plynu přímo v laboratoři. Na Obrázku 6 jsou vyfoceny reaktory o objemu 0,120 m<sup>3</sup>.



Obrázek 6 - Reaktory o objemu 0,120 m<sup>3</sup> (Vlastní foto)

#### 4.5.1 Měření objemu bioplynu

Vzniklý bioplyn proudil přes plynoměr a hodnoty na plynoměru se pravidelně zapisovaly. Před začátkem testu byl plynoměr nastaven na počáteční hodnotě, která se pak odečetla od konečné. Hodnoty se zapisovaly každý den ve stejný čas, aby se získala vždy denní produkce bioplynu. V laboratoři se nachází membránové plynoměry PREMGAS BK G4.

#### 4.5.2 Analýza složení bioplynu

Každý den ve stejný čas se měřilo složení vzniklého bioplynu. Měřil se obsah CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S a H<sub>2</sub>. Měření probíhalo pomocí přístroje Binder Combimass Ga-m, který je vyfocen na Obrázku 7. Při měření se uvolní ventil u reaktoru a pomocí hadičky přístroj nasává plyn a analyzuje ho pomocí optických infračervených,

elektrochemických a katalytických senzorů. Pro analýzu bylo nutné stisknout tlačítko „PUMP“ a analyzoval se bioplyn po dobu 60 vteřin. Výsledné hodnoty se zobrazily na displeji.



*Obrázek 7 - Binder Combimass Ga-m (Vlastní foto)*

Hodnoty se dále zapisovaly do předem připravených tabulek. Díky tomuto měření bylo možné zjistit množství vyprodukovaného metanu, jakožto nejdůležitější hodnoty pro energetický potenciál.

#### **4.6 Proces fermentace – reaktory o objemu 0,003 m<sup>3</sup>**

Druhý test probíhal v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup>. Do tří reaktorů se nadávkovala směs ve složení 0,02 kg matolinu a 2 kg inokula. Do dvou reaktorů se nadávkovalo inokulum o hmotnosti 2 kg. Tyto reaktory sloužily jako kontrolní pro výsledné stanovení výsledků. Reaktory byly uloženy ve vodní lázni, kde byla jejich teplota udržovaná pomocí topného tělesa na hodnotě 40,1°C. Test probíhal po dobu 24 dní a každý den se měřil objem vzniklého bioplynu a jeho složení. Reaktory jsou vyfoceny na Obrázku 8.



Obrázek 8 - Reaktory o objemu 0,003 m<sup>3</sup> (Vlastní foto)

#### 4.6.1 Měření objemu bioplynu

Vzniklý bioplyn byl jímán do odměrných válců, ve kterých se nacházel roztok soli. Podle množství roztoku se z rysek na odměrném válci odečítal objem bioplynu. Protože bioplyn se vždy odečítá od počáteční hodnoty 0,0002 m<sup>3</sup> a vodní sloupec ve válci způsobuje podtlak, výsledky byly přepočteny na normální metr krychlový (0 °C, 101 325 Pa). Pro přepočet se musí použít převodní vzorec na zjištění skutečného objemu vzniklého bioplynu.

Vzorec pro zjištění skutečného objemu bioplynu.

$$V_{sk} = \frac{(p_2 \times V)}{p_1} \times \left(\frac{T_1}{T_2}\right)$$

kde:

$V_{sk}$  = skutečný vyprodukovaný objem [m<sup>3</sup>]

$V$  = objem změřený na odměrném válci [m<sup>3</sup>]

$p_1$  = tlak bioplynu za normálních podmínek [Pa]

$p_2$  = tlak bioplynu v plynojemu [Pa]

$T_1$  = teplota bioplynu za normálních podmínek [K]

$T_2$  = teplota bioplynu v plynojemu [K]

#### 4.6.2 Analýza složení bioplynu

Vzniklý bioplyn byl následně analyzován za pomoci přístroje Dräger X-am 7000, který je vyfocen na Obrázku 9. Přístroj po zapnutí automaticky analyzoval vzniklý bioplyn.



Obrázek 9 - Dräger X-am 7000 (Vlastní foto)

Analyzovalo se procentuální zastoupení CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, O<sub>2</sub> ve vzniklém bioplynu. Pomocí trubice byl přístroj napojen na vývěvu, která odsávala plyn z odměrných válců. Hodnoty se okamžitě zobrazily na displeji, jakmile se plyn začal nasávat. Dräger X-am 7000 analyzuje plyn za pomoci infračervených senzorů. Hodnoty se zapisovaly do předem připravených tabulek.

#### 4.7 Stanovení spalného tepla

Hodnoty spalného tepla a výhřevnosti matolin byly určeny pomocí kalorimetrie. Jedná se o důležitou součást termiky, což je nauka o teple. Důležité pro proces kalorimetrie je znát kalorimetrickou rovnici. Ta je následovná:

$$c_1m_1(T_1-T)=c_2m_2(T-T_2)$$

Měření probíhalo na kalorimetru. Nejdříve bylo zapotřebí pustit O<sub>2</sub> a N<sub>2</sub> z tlakové bomby. Po té se zapnul přístroj a nastavila se kalorimetrie a čekalo se na přípravu přístroje. Po rozsvícení zeleného světla se otevřel kalorimetr a vysunula se „hlava“ analyzátoru, která se umístila do stojanu a hadříkem se důkladně osušily kontakty

i zápalný drát. Poté se pod „hlavu“ vložila předem připravená miska se vzorkem. Vzorek se připravil tím, že se materiál stlačil pomocí lisu do tvaru nábojnice a zvážil se.

Na zápalný drát se umístila zápalná šňůra. Připravená „hlava“ se vložila opět do kalorimetru a ten se zavřel. Na displeji se stisklo tlačítko „START“ a provedlo se pojmenování vzorku, zadala se hmotnost vzorku a zvolil se ester. Po měření se na displeji zvolila zpráva, dále ze seznamu bylo vybráno dané měření a stisklo se tlačítko „displej“. Spalné teplo se opsalo do deníku. Tímto způsobem byla provedena ještě 2 opakování.

## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ

Metodika, o průběhu testů, je podrobně popsána v kapitole 4. Nejdříve bylo zapotřebí zjistit sušinu a množství spalitelných látek. Tabulky 6 a 7 popisují složení směsí v jednotlivých reaktorech. Tato charakteristika je důležitá, abychom zjistili látkové zatížení reaktorů. V Tabulce 6 jsou popsány reaktory s odrůdou Veltlínské zelené a v Tabulce 7 reaktory s odrůdou Zweigeltrebe.

*Tabulka 6 - Charakteristiky směsi v jednotlivých reaktorech (Veltlínské zelené)*

Reaktor	Inokulum			Veltlínské zelené			
	Množství [kg]	Sušina [%]	Spalitelné látky [%]	Množství [kg]	Sušina [%]	Spalitelné látky [%]	Látkové zatížení reaktoru [kg.kg <sup>-1</sup> ]
4(0,12m <sup>3</sup> )	100	3,7	59,7	-	-	-	-
2,3(0,12m <sup>3</sup> )	100	3,7	59,7	5	<b>36,7</b>	<b>84,6</b>	<b>0,496</b>
1,2,3(0,003m <sup>3</sup> )	2	3,7	59,7	0,02	<b>36,7</b>	<b>84,6</b>	<b>0,099</b>
4,5(0,003m <sup>3</sup> )	2	3,7	59,7	-	-	-	-

*Tabulka 7 - Charakteristika směsi v jednotlivých reaktorech (Zweigeltrebe)*

Reaktor	Inokulum			Zweigeltrebe			
	Množství [kg]	Sušina [%]	Spalitelné látky [%]	Množství [kg]	Sušina [%]	Spalitelné látky [%]	Látkové zatížení reaktoru [kg.kg <sup>-1</sup> ]
4(0,12m <sup>3</sup> )	100	3,6	60,2	-	-	-	-
2,3(0,12m <sup>3</sup> )	100	3,6	60,2	5	<b>33,7</b>	<b>91,2</b>	<b>0,474</b>
1,2,3(0,003m <sup>3</sup> )	2	3,6	60,2	0,02	<b>33,7</b>	<b>91,2</b>	<b>0,095</b>
4,5(0,003m <sup>3</sup> )	2	3,6	60,2	-	-	-	-

Z uvedených tabulek je zřejmé, že v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup> je větší látkové zatížení než v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup>. Látkové zatížení se upravuje dávkováním, a je důležitým ukazatelem právě pro vybrání správného dávkování. V testech byla vždy u každé odrůdy otestována dvě různá látková zatížení.

Odrůda Veltlínské zelené má větší obsah sušiny než odrůda Zweigeltrebe, ale menší množství spalitelných látek v sušině obsažených. Ukazatel obsahu spalitelných látek udává obsah organického podílu v daném materiálu. Tato hodnota je z hlediska anaerobní fermentace klíčová, protože právě obsah spalitelných látek udává hmotu, kterou lze mikroorganismy rozložit a přeměnit na bioplyn.

### **5.1 Naměřené hodnoty – reaktory 0,120 m<sup>3</sup>**

Testy probíhaly ve dvou časových obdobích. Nejdříve se testovala odrůda Veltlínské zelené, a to v období od 14. 10. 2013 do 11. 11. 2013. Testování materiálu v malých a velkých reaktorech probíhalo vždy simultánně. Odrůda Zweigeltrebe se testovala v období od 14. 11. 2013 do 10. 12. 2013. V následujících tabulkách jsou uvedeny všechny naměřené hodnoty.

Z Tabulky 8 je zřejmé, že výsledky z reaktoru 1 nebudou relevantní. V 11. den testu došlo totiž k závadě na plynoměru a množství bioplynu se přestalo zaznamenávat. Z tohoto důvodu bude tento reaktor vynechán při další zpracování výsledků.



Tabulka 8 - Naměřené hodnoty u velkých reaktorů (Veltlínské zelené)

Tabulka naměřených hodnot – reaktor 0,120 m <sup>3</sup> - Veltlínské zelené												
Den	Reaktor 1						Reaktor 2					
	Bioplyn [m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub> [ppm]	Bioplyn [m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub> [ppm]
1	0,133	41,6	63,2	0	330	56	0,234	42,7	63,2	0	180	193
2	0,072	59,3	40,4	0	140	29	0,15	60,1	42,7	0	100	45
3	0,04	69,8	30,9	0	70	29	0,137	70,1	30,9	0	50	34
4	0,023	67,4	34,1	0	110	20	0,04	66,3	35,2	0	130	29
5	0,018	64	36,9	0	220	22	0,031	64,2	38	0	200	31
6	0,017	63,5	38,5	0	210	23	0,029	63,5	39,7	0	290	36
7	0,017	62,2	39,6	0	270	22	0,025	62	41	0	330	33
8	0,014	60,5	40,3	0	250	27	0,023	61,1	41,5	0	210	36
9	0,01	59,8	40	0	170	18	0,02	60,5	42,5	0	210	27
10	0,003	59,9	41	0	230	19	0,02	60,2	42,9	0	240	34
11	0,001	59,3	42,4	0	270	23	0,02	58	41,4	0	160	20
12	0	58,8	42,3	0	90	18	0,021	60	43,2	0	200	31
13	0	57,7	42,5	0	70	18	0,02	58,2	43,2	0	130	30
14	0,001	58,7	42,6	0	200	16	0,015	58,9	43,5	0	310	29
15	0	58,9	41,8	0,1	180	16	0,012	59,5	43,9	0	310	26
16	0	59,4	42,5	0	310	16	0,012	60,1	44,1	0	360	31
17	0	58,2	42,6	0	320	18	0,012	59,4	44,2	0	250	27
18	0	58,8	52,2	0	300	20	0,013	58,9	44,2	0	280	24
19	0	58,6	43,7	0	450	26	0,011	58,7	44,3	0	280	33
20	0	0	0	0	0	0	0,01	57,3	43,3	0	160	16
21	0	0	0	0	0	0	0,01	57,5	43,4	0	160	19
22	0	0	0	0	0	0	0,008	57,5	43,5	0	220	15
23	0	0	0	0	0	0	0,008	58,1	42,7	0	260	16
24	0	0	0	0	0	0	0,007	62,6	39,7	0	140	36
25	0	0	0	0	0	0	0,009	62,6	39,7	0	140	36
26	0	0	0	0	0	0	0,006	62,6	39,7	0	140	36

Testování odrůdy Zweigeltrebe proběhlo v naprostém pořádku a proto výsledky uvedené v Tabulce 9 jsou relevantní pro další posuzování.

Tabulka 9 - Naměřené hodnoty u velkých reaktorů (Zweigeltrebe)

Tabulka naměřených hodnot – reaktor 0,120 m <sup>3</sup> - Zweigeltrebe												
Den	Reaktor 1						Reaktor 2					
	Bioplyn [m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub> [ppm]	Bioplyn [m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	O <sub>2</sub> [%]	H <sub>2</sub> S [ppm]	H <sub>2</sub> [ppm]
1	0,014	7,5	19,4	7,7	0	16	0,016	7,2	19	8,1	0	18
2	0,007	15	23,2	4,8	0	27	0,006	15,3	23,1	5	0	26
3	0,005	21,5	25,4	2,4	0	29	0,006	21,2	25,1	2,6	10	36
4	0,005	26,8	27,4	0,7	0	45	0,005	27,2	27,4	0,8	10	40
5	0,006	30,8	28,4	0	0	29	0,006	31,9	28,5	0	10	29
6	0,094	38,8	50,2	2	10	69	0,097	41,3	48,8	1,4	20	48
7	0,152	52,2	51,9	0	40	90	0,159	53,9	44,1	0	150	62
8	0,122	62,6	39,2	0	50	48	0,125	64,2	36,9	0	240	41
9	0,106	70,7	30,4	0	70	40	0,11	71,9	28,9	0	210	38
10	0,065	70,8	27,9	0,1	0	23	0,044	71,3	28,5	0	70	33
11	0,029	70,5	29,8	0	80	34	0,021	68,8	30,7	0	290	0
12	0,016	69,6	31,8	0	120	38	0,017	67,5	32,9	0	320	38
13	0,016	69	33,5	0	200	41	0,015	67,7	34,4	0	340	37
14	0,014	68,8	34,7	0	340	40	0,013	66,9	35,4	0	380	38
15	0,016	68,2	36,1	0	250	42	0,016	67	36,6	0	420	41
16	0,017	67,5	37,1	0	400	38	0,018	65,8	37,4	0	460	38
17	0,007	68,8	35,1	0	170	31	0,006	67,8	35,7	0	30	108
18	0,005	68,8	35,1	0	170	31	0,004	67,8	35,7	0	30	108
19	0,006	68,8	35,1	0	170	31	0,007	67,8	35,7	0	30	108
20	0,015	66,5	37,6	0	320	33	0,016	64,6	38	0	410	31
21	0,011	65	38,5	0	190	37	0,0105	63,2	39	0	430	36
22	0,009	64,9	39	0	350	31	0,0095	63,8	39,3	0	480	34
23	0,011	63,4	39,2	0	300	41	0,011	62	39,7	0	480	31
24	0,005	63,4	40	0	130	30	0,007	61,4	40	0	200	27
25	0,01	63,4	40	0	130	30	0,007	61,4	40	0	200	27
26	0,01	63,4	40	0	130	30	0,008	61,4	40	0	200	27

Pro další zpracování výsledku se testovalo také samotné inokolum, které tvořilo vždy podstatnou část směsi v reaktorech s testovaným materiálem. Hodnoty naměřené při testování inokula se při dalším zpracování výsledků odečítaly od hodnot naměřených v reaktorech s testovaným materiálem, aby se zjistila přesná výnosnost daného testovaného materiálu.

## 5.2 Naměřené hodnoty – reaktory 0,003 m<sup>3</sup>

Testy probíhaly simultánně s testováním materiálu ve velkých reaktorech. V každém testu se vždy otestoval materiál ve třech reaktorech, přičemž ve dvou dalších se vždy testovalo jen samotné inokulum jako kontrola, které se při dalším zpracování výsledků bude odečítat od naměřených hodnot.

Tabulka 10 - Naměřené hodnoty malých reaktorů (Veltlínské zelené)

Tabulka naměřených hodnot – reaktor 0,003 m <sup>3</sup> Veltlínské zelené						
	Reaktor 1			Reaktor 2		
Den	Bioplyn [×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	Bioplyn [×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
1	322,9	20,2	15	359,1	11,6	15,5
2	337,3	19,4	15	430,2	11,6	15,5
3	550,2	24,1	24	687,8	29,0	27
4	468,1	49,6	32	596,0	40,0	26
5	404,6	42,3	32	504,5	50,0	36
6	402,9	35,0	32	517,2	50,0	36
7	350,0	36,1	34	449,9	55,0	39
8	393,0	30,4	34	515,8	55,0	39
9	386,3	23,1	27	486,3	53,0	27
10	338,3	23,2	27	442,1	53,0	27
11	268,7	31,7	36	359,1	53,0	34
12	254,1	33,8	36	328,7	53,0	34
13	232,7	41,8	28	322,9	58,0	37
14	180,8	38,2	28	236,4	58,0	37
15	210,0	24,3	35	266,9	58,0	37
16	178,7	29,8	35	232,7	53,0	35
17	189,4	32,0	35	262,7	53,0	35
18	191,2	37,5	35	247,7	53,0	35
19	220,7	26,9	35	222,6	53,0	35
20	167,0	26,0	35	196,7	53,0	35
21	142,9	42,0	35	178,7	57,0	25
22	98,8	43,1	35	53,9	57,0	25
23	81,2	35,0	35	217,2	57,0	25
24	145,2	34,3	35	164,4	57,0	25

Při testování odrůdy Veltlínské zelené došlo k vypnění třetího reaktoru, a proto do výsledných výpočtů budou zahrnuty pouze dva reaktory uvedené v Tabulce 10.

Tabulka 11 - Naměřené hodnoty malých reaktorů (Zweigeltrebe)

Tabulka naměřených hodnot – reaktor 0,003 m <sup>3</sup>									
Zweigeltrebe									
	Reaktor 1			Reaktor 2			Reaktor 3		
Den	Bioplyn [×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	Bioplyn [×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]	Bioplyn [×10 <sup>-6</sup> m <sup>3</sup> ]	CH <sub>4</sub> [%]	CO <sub>2</sub> [%]
1	595,96	19,0	7,0	559,34	25,5	11,4	559,34	22,0	12,0
2	416,39	57,9	7,0	424,99	25,5	11,4	424,99	22,0	12,0
3	1037,98	40,9	13,0	1047,19	47,9	20,0	983,25	43,6	20,0
4	835,55	53,0	28,0	494,56	54,0	27,0	466,16	49,0	21,0
5	706,20	49,0	28,0	687,79	53,0	27,0	669,39	56,0	21,0
6	743,08	47,0	22,5	724,63	57,0	27,0	687,79	54,0	29,0
7	504,54	48,0	30,0	504,54	57,0	32,0	486,30	57,0	30,0
8	723,78	48,0	31,0	742,66	57,0	40,0	704,30	57,0	39,0
9	614,29	48,0	31,0	632,64	54,0	40,0	595,96	55,0	39,0
10	559,34	53,0	30,0	632,64	53,0	35,0	541,06	55,0	37,0
11	541,06	45,0	31,0	651,01	39,0	38,0	513,66	44,0	37,0
12	449,88	57,0	27,0	541,06	39,0	31,0	396,15	44,0	32,0
13	459,94	57,0	40,0	568,49	49,0	31,0	449,88	58,0	32,0
14	431,69	23,0	40,0	509,36	49,0	34,0	422,77	58,0	34,0
15	385,33	23,0	12,0	468,08	43,0	34,0	377,22	43,0	34,0
16	359,10	55,0	12,0	423,14	43,0	35,0	439,80	43,0	29,0
17	273,55	55,0	37,0	395,36	40,0	35,0	340,99	49,0	29,0
18	241,68	57,0	37,0	329,27	40,0	25,0	291,66	49,0	31,0
19	226,40	57,0	34,0	278,38	40,0	25,0	258,58	49,0	31,0
20	211,57	57,0	34,0	307,15	42,0	25,0	270,53	44,0	31,0
21	211,57	57,0	34,0	307,15	42,0	29,0	270,53	44,0	26,0
22	188,61	56,0	23,0	288,82	38,0	26,0	252,27	43,0	27,0
23	188,61	56,0	23,0	288,82	38,0	28,0	252,27	43,0	27,0
24	163,84	56,0	25,0	268,72	43,0	28,0	220,09	43,0	25,0

Testování odrůdy Zweigeltrebe proběhlo bez problémů a všechny tři reaktory budou zahrnuty do konečných výsledků. Opět se současně testovalo samotné inokulum, jehož hodnoty se při zpracování výsledků odečítaly od hodnoty naměřených v reaktorech s testovaným materiálem.

### **5.3 Měrná produkce bioplynu**

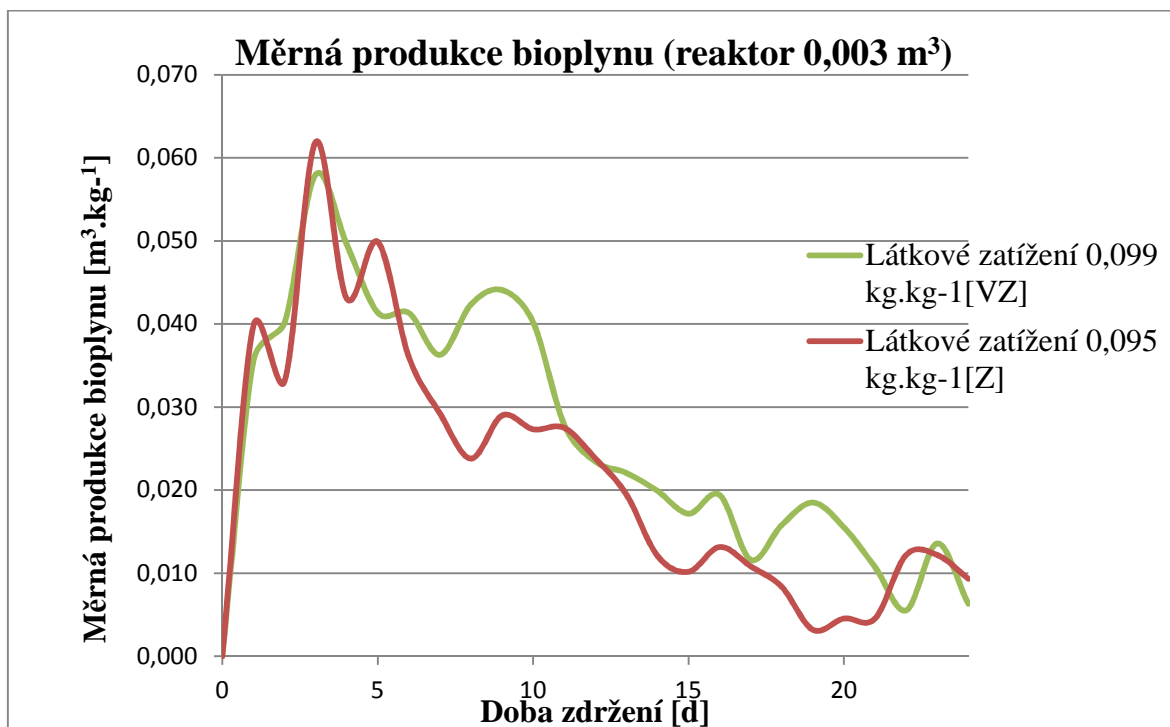
Cílem testování bylo zjistit potenciál výtěžnosti bioplynu, který testovaný materiál má. Testy mají vždy opakování, abychom zjistili co nejpřesnější a nejvíce vypovídající hodnoty. Základem pro zjištění měrné produkce bioplynu je znát sušinu materiálu. Ta je uvedena již v Tabulce 6 a Tabulce 7. Od naměřených hodnot, uvedených v předchozí kapitole, se odečtou hodnoty zjištěné testováním samotného inokula. Poté se z výsledných hodnot stanoví aritmetický průměr, který se podělí množstvím sušiny materiálu aplikovaného do reaktoru. Konečná hodnota je vypovídající o tom, jaký potenciál výtěžnosti bioplynu materiál skutečně má. Hodnoty měrné produkce bioplynu jsou uvedeny v Tabulce 12.

Je zřejmé, že lepších výsledků bylo dosaženo při menším látkovém zatížení reaktoru. U reaktorů o objemu 0,003 m<sup>3</sup> testování probíhalo pouze 24 dní. V porovnání odrůd dosahuje Veltlínské zelené lepších výsledků.

Tabulka 12 - Měrná produkce bioplynu

Tabulka měrné produkce bioplynu				
	Veltínské zelené		Zweigeltrebe	
	<i>Látkové zatížení</i> <i>0,496 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení</i> <i>0,099 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení</i> <i>0,474 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení</i> <i>0,095 kg.kg<sup>-1</sup></i>
Den	Měrná produkce bioplynu [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	Měrná produkce bioplynu [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	Měrná produkce bioplynu [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ]	Měrná produkce bioplynu [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ]
1	0,123	0,036	0,001	0,040
2	0,078	0,040	0,001	0,033
3	0,070	0,058	0,000	0,062
4	0,017	0,050	-0,001	0,043
5	0,013	0,041	-0,001	0,050
6	0,011	0,041	0,053	0,036
7	0,009	0,036	0,088	0,029
8	0,009	0,042	0,070	0,024
9	0,008	0,044	0,061	0,029
10	0,008	0,040	0,029	0,027
11	0,008	0,028	0,012	0,027
12	0,008	0,023	0,007	0,024
13	0,008	0,022	0,007	0,019
14	0,006	0,020	0,006	0,012
15	0,004	0,017	0,007	0,010
16	0,004	0,019	0,008	0,013
17	0,004	0,012	0,003	0,011
18	0,004	0,016	0,001	0,008
19	0,004	0,019	0,003	0,003
20	0,003	0,016	0,003	0,005
21	0,003	0,011	0,003	0,005
22	0,003	0,006	0,004	0,012
23	0,003	0,014	0,004	0,012
24	0,002	0,006	0,002	0,009
25	0,003		0,004	
26	0,002		0,004	
<b>Σ</b>	<b>0,41</b>	<b>0,66</b>	<b>0,38</b>	<b>0,54</b>

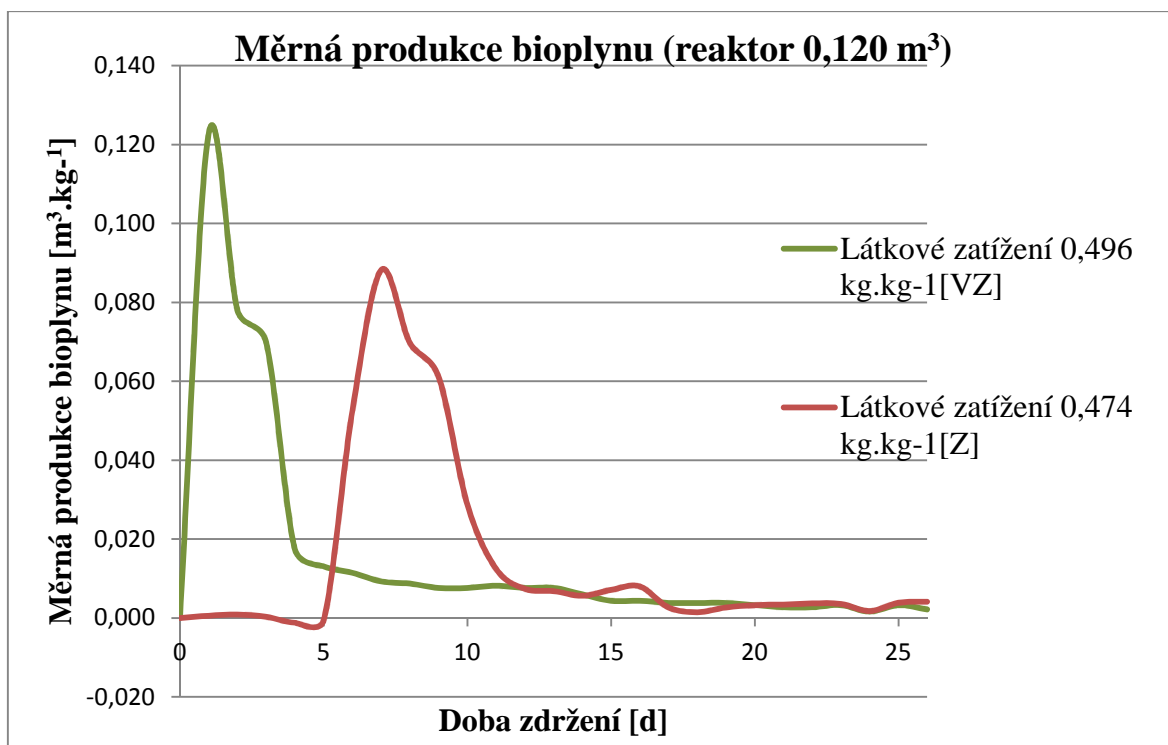
Graf vývoje měrné produkce bioplynu v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup> po dobu testování je zobrazen na Obrázku 10. Vývoj měrné produkce bioplynu v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup> je znázorněn na Obrázku 11.



Obrázek 10 - Graf vývoje měrné produkce bioplynu – reaktory 0,003 m<sup>3</sup>

Z grafu je patrné, že největší produkce bioplynu je v prvních dnech testování. Důvodem je vysoký obsah sacharidů, tedy lehce rozložitelných látek. Je vidět, že měrná produkce bioplynu se podle odrůdy mění, což je způsobené rozdílným chemickým složením a rozdílným zpracováním odrůd při výrobě vína.

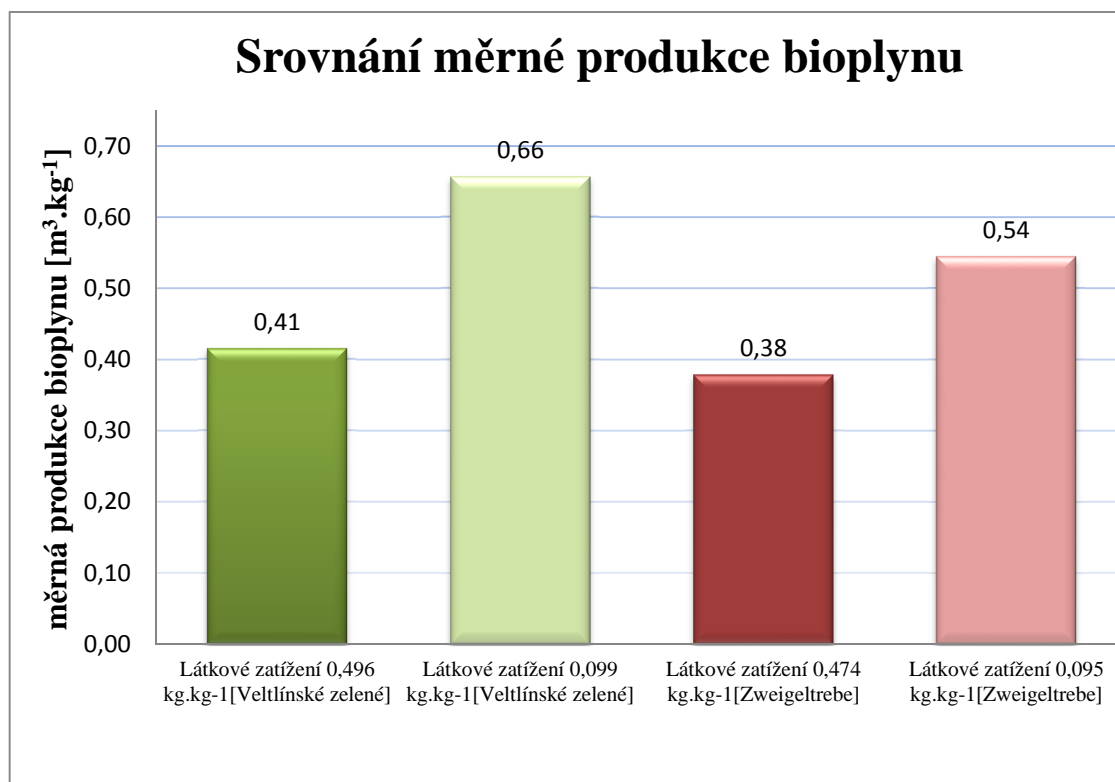
Na obrázku 11 je viditelné, že u většího zatížení reaktorů odrůdy Zweigeltrebe se hodnoty výtěžnosti bioplynu zvyšují až u 5. dne procesu anaerobní fermentace. V té době u odrůdy Veltlínské zelené hodnota měrné produkce bioplynu již klesá. To je pravděpodobně zapříčiněno faktem, že hrozny odrůdy Zweigeltrebe se při výrobě červeného vína nechají nakvasit po dobu 12 dní a poté se teprve lisují a vznikají matoliny. V tomto procesu již tedy dojde k rozkladu části snadno rozložitelných látek.



Obrázek 11 - Graf vývoje měrné produkce bioplynu – reaktory 0,120 m<sup>3</sup>



Při nižším látkovém zatížení reaktoru je proces anaerobní fermentace stabilnější a nedochází k výkyvům v měrné produkci bioplynu. Některé hodnoty dosahují záporných hodnot, což je způsobené tím, že v daném časovém úseku produkoval kontrolní reaktor s inokulem více bioplynu než reaktor s testovaným materiálem. Celková měrná produkce bioplynu je zobrazena na Obrázku 12.



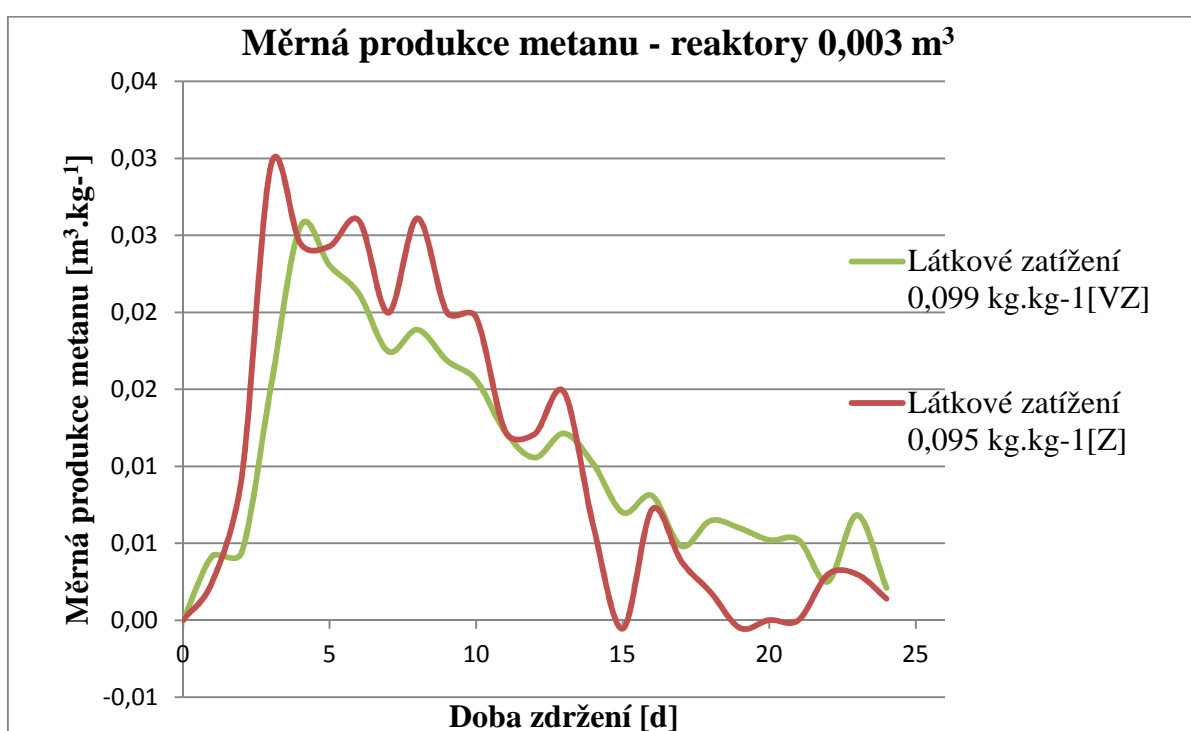
*Obrázek 12 - Graf srovnání celkové měrné produkce bioplynu*

Největší měrná produkce bioplynu byla dosažena u odrůdy Veltlínské zelené při zatížení látkovým zatížení 0,099 kg.kg<sup>-1</sup>. Měrná produkce dosáhla hodnoty 0,66 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Nejnižší hodnota se naměřila u odrůdy Zweigeltrebe, při látkovém zatížení 0,474 kg.kg<sup>-1</sup>. Celkově má odrůda Veltlínské zelené lepší výtěžnost bioplynu na kilogram sušiny. Avšak důležitým ukazatelem je až měrná produkce metanu.

## 5.4 Měrná produkce metanu

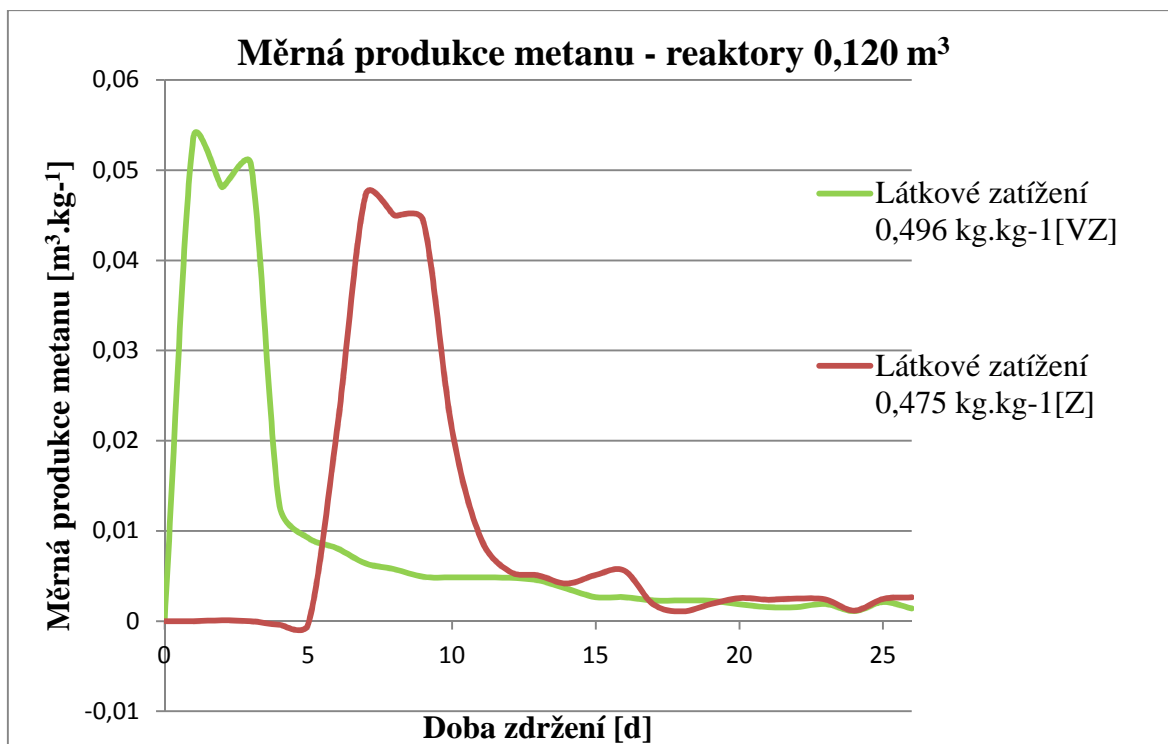
Energetický potenciál, který získáme fermentací daného materiálu, ukazuje až hodnota měrné produkce metanu. Složení plynu se měřilo každý den, kdy bylo zřejmé, jaký objem z měřeného množství bioplynu zaujímá právě metan. Vývoj měrné produkce metanu v reaktorech je zobrazen na Obrázcích 13 a 14.

V reaktorech o menším látkovém zatížení je proces fermentace a vývoje metanu stabilnější. U odrůdy Zweigeltrebe došlo v některých dnech k menší produkci metanu, než byla naměřena u kontrolních reaktorů s inokulem. Nejvyšší měrná produkce metanu byla naměřena od 3. do 10. dne procesu anaerobní fermentace.



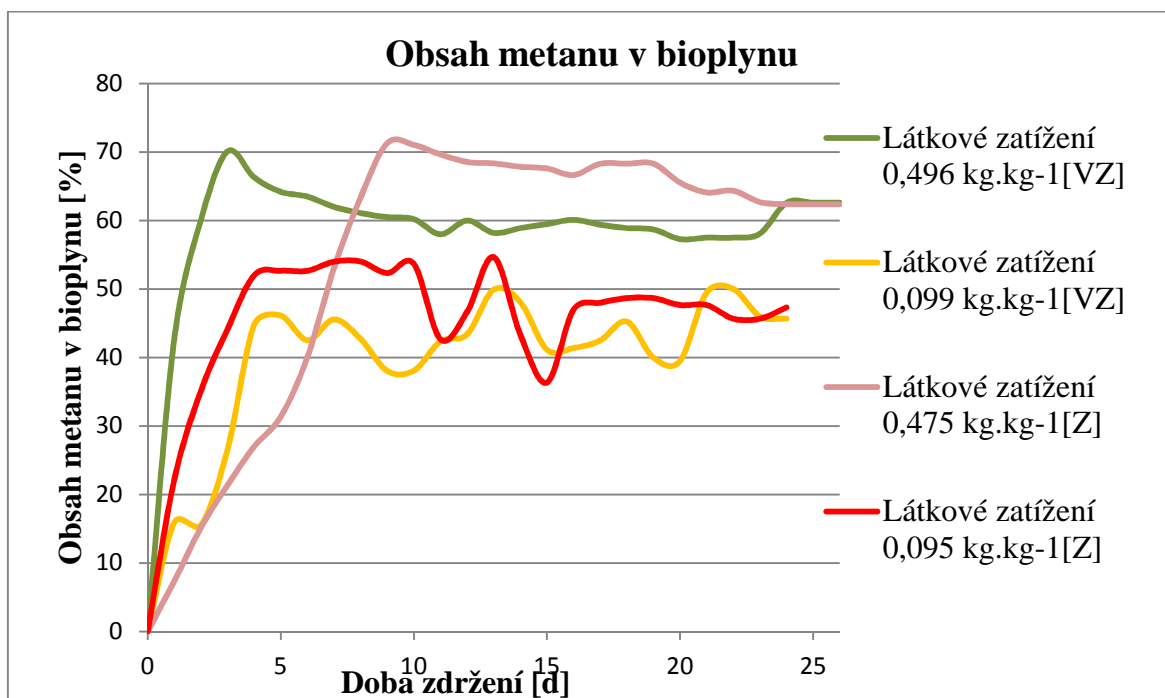
Obrázek 13 - Graf vývoje měrné produkce metanu v reaktorech 0,003 m<sup>3</sup>

U většího zatížení je možné sledovat podstatné odchylky v měrné produkci metanu. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo u odrůdy Veltlínské zelené do 4. dne procesu anaerobní fermentace. U Zweigeltrebe se obsah metanu v bioplynu zvyšuje až po několika dnech, obvykle v době, kdy obsah metanu v bioplynu u odrůdy Veltlínské zelené klesá, tedy od 5. do 10. dne procesu anaerobní fermentace.



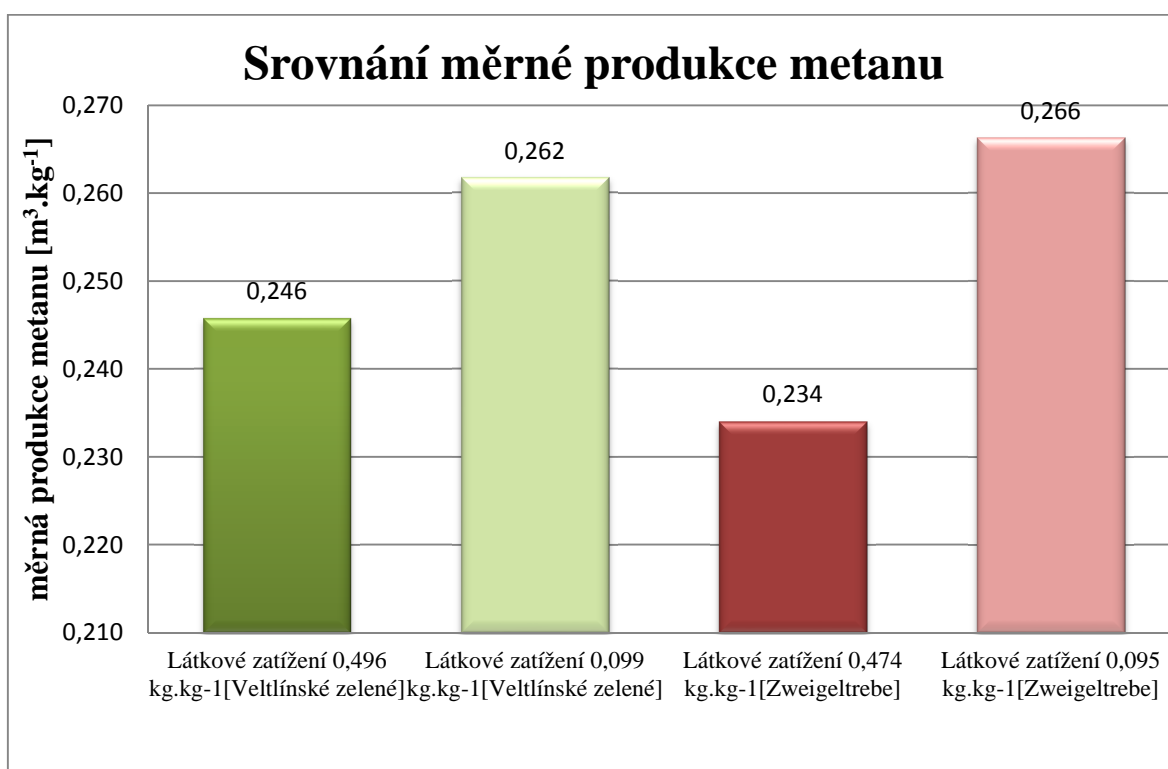
Obrázek 14 - Graf vývoj měrné produkce metanu v reaktorech 0,120 m<sup>3</sup>

Obsah metanu v bioplynu je velice důležitý pro spalování bioplynu v kogenerační jednotce při výrobě elektrické energie. Vývoj obsahu metanu v bioplynu během procesu anaerobní fermentace je možné vidět na Obrázku 15.



Obrázek 15 - Graf vývoje obsahu metanu v bioplynu průběhu testování

Aby nedocházelo k poškozování kogenerační jednotky, musí procentuální obsah metanu v bioplynu dosahovat minimální hodnoty 50 %. Takových hodnot obsahu metanu v bioplynu však bylo dosaženo pouze při větších zatížení reaktorů. U odrůdy Veltlínské zelené dosahovala průměrná hodnota 59,3 % a u Zweigeltrebe 61,9 %. V reaktorech s menším zatížením byla kvalita bioplynu nižší a celkové procentuální zastoupení metanu ve vyprodukovaném bioplynu u odrůdy Veltlínské zelené dosáhlo hodnoty 39,8 % a u odrůdy Zweigeltrebe 48,9 %. Vývoj obsahu metanu v bioplynu během procesu anaerobní fermentace je možno vidět na Obrázku 15.

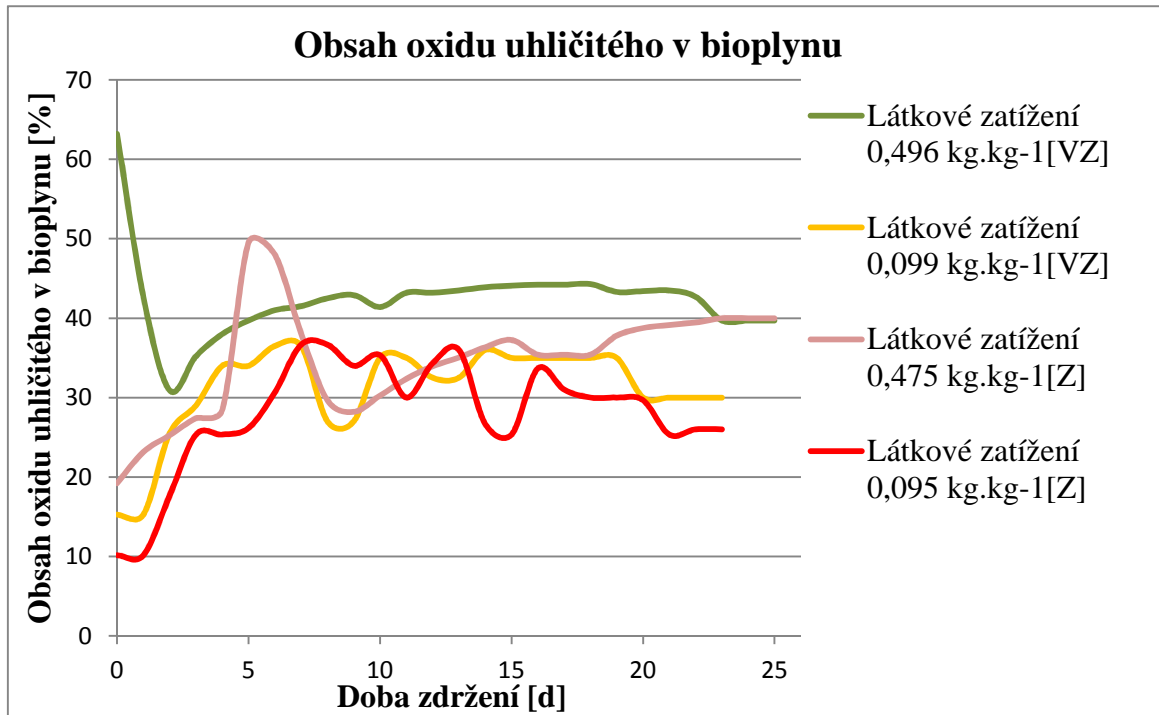


Obrázek 16 - Graf srovnání měrné produkce metanu

Na Obrázku 16 lze vidět, že nejvyšších hodnot výtěžnosti metanu na kilogram sušiny materiálu má odrůda Zweigeltrebe při nižším látkovém zatížení a to 0,266 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>, při vyšším látkovém zatížení pak dosáhla hodnoty 0,234 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Odrůda Veltlínské zelené dosáhla hodnoty 0,246 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> při vyšším zatížení a při nižším látkovém zatížení 0,262 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Při vyšších látkových zatíženích byla kvalita bioplynu vyšší, avšak celková produkce byla menší. Proto reaktory o objemu 0,003 m<sup>3</sup> dosahují lepších výsledků.

## 5.5 Obsah CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, H<sub>2</sub> v bioplynu

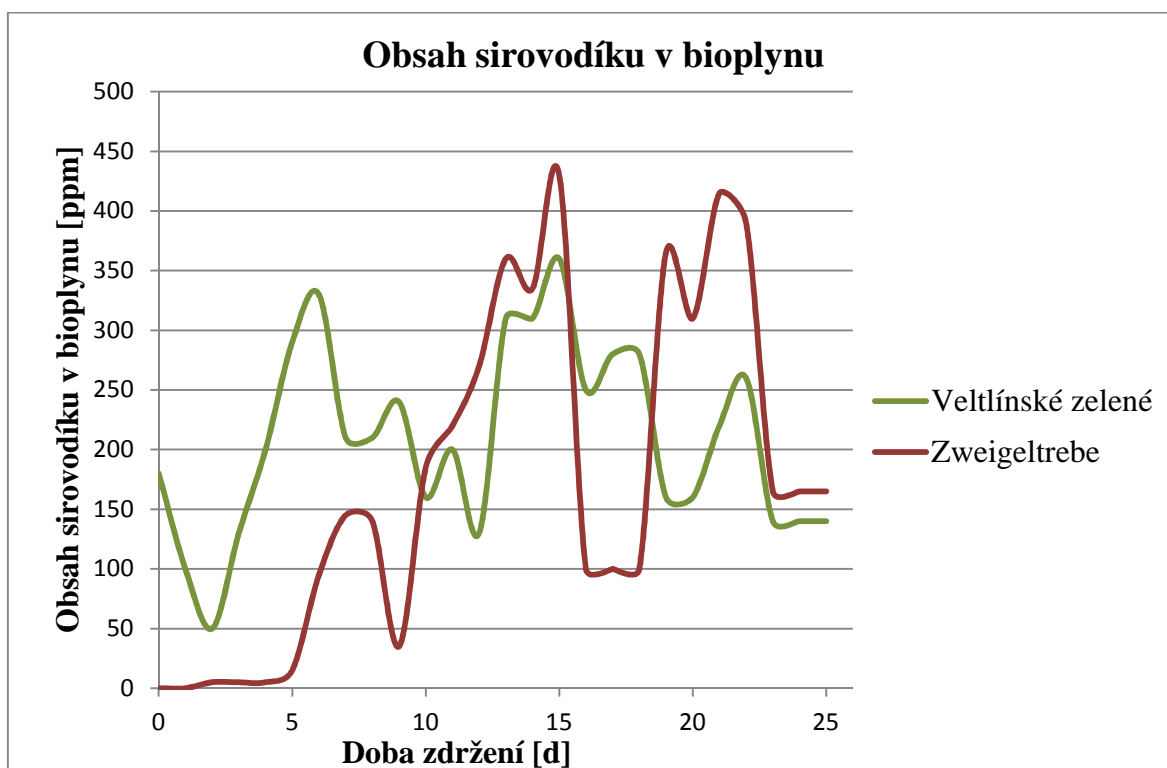
Kromě metanu se v bioplynu vyskytují i jiné složky, které ovlivňují jeho kvalitu. Další významně zastoupenou složkou v bioplynu je oxid uhličitý. Jeho vysoký obsah v bioplynu je zejména při spalování v kogenerační jednotce nežádoucí. Na Obrázku 17 je možné vidět graf vývoje obsahu CO<sub>2</sub> ve vzniklém bioplynu.



Obrázek 17 - Graf vývoje produkce CO<sub>2</sub> v bioplynu během testování

Oxid uhličitý patří mezi hlavní složky bioplynu a vzniká ve všech fázích anaerobní fermentace. Jeho zvýšený obsah na úkor metanu indikuje nestabilitu procesu. Obvykle je to způsobeno zvýšením zatížení reaktoru. Vyšší hodnoty můžeme pozorovat tedy při vyšším látkovém zatížení a na začátku procesu anaerobní fermentace.

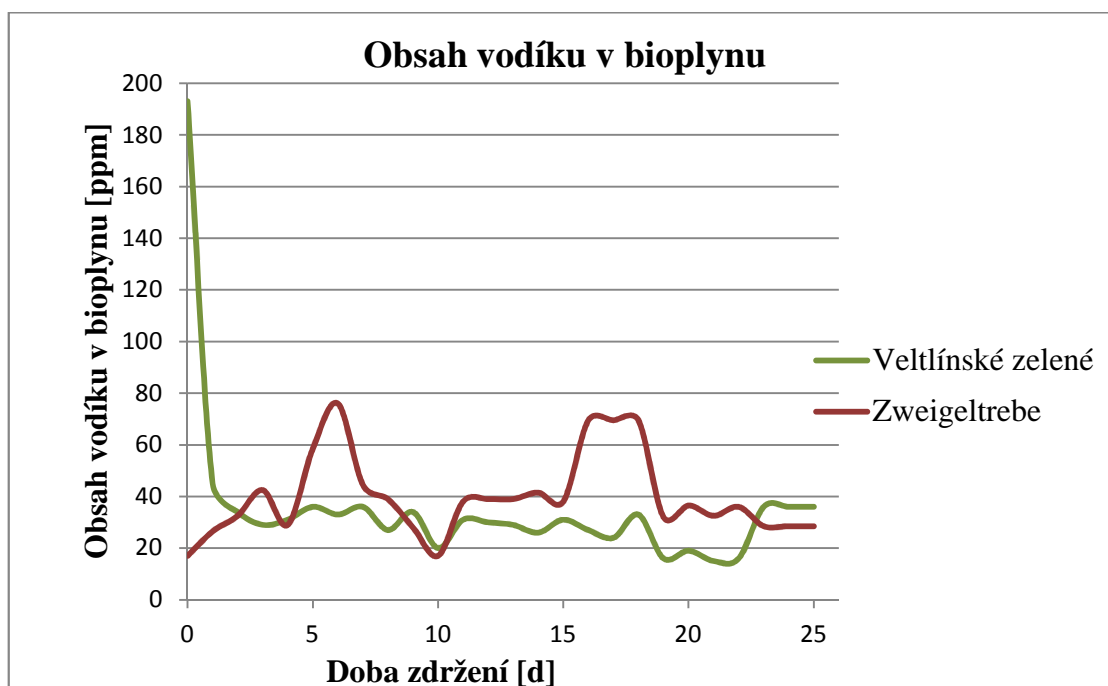
V menším množství je zastoupen také sirovodík. Metody jeho odstranění z bioplynu jsou popsány v kapitole 3.4. Obsah sirovodíku se měřil pouze u reaktorů o objemu 0,120 m<sup>3</sup>. Obrázek 18 zobrazuje vývoj obsahu H<sub>2</sub>S ve vzniklém bioplynu.



Obrázek 18 - Graf zastoupení sirovodíku v bioplynu v průběhu testování

Vyšších hodnot dosahovala odrůda Zweigeltrebe, přičemž maximálně bylo dosaženo hodnoty 430 ppm. Z grafu je patrné, že u odrůdy Veltlínské zelené byly zaznamenány vyšší hodnoty na začátku testu, tedy v období, kdy bylo produkováno nejvíce bioplynu. Sirovodík vzniká rozkladem polysacharidů. Nižší hodnoty u odrůdy Zweigeltrebe na počátku testování mohou být opět způsobené kvašením, které lisování hroznů předcházelo. Odrůda Zweigeltrebe dosahovala vysokých hodnot na konci testování, kdy byla hodnota výtěžnosti bioplynu již menší.

Vodík v bioplynu vzniká ve všech fázích anaerobní fermentace a kromě metanu se jedná o další energeticky využitelnou složku bioplynu. Vývoj jeho obsahu je znázorněn na Obrázku 19.



Obrázek 19 - Graf zastoupení  $H_2$  v bioplynu v průběhu testování

Odrůda Veltlínské zelené v prvních dnech testování dosáhla nejvyšších hodnot obsahu  $H_2$ . V celkovém výsledku se u odrůdy Zweigeltrebe vytvořilo větší množství  $H_2$ .

V Tabulce 13 jsou pro přehlednost shrnuty všechny důležité údaje zjištěné během testování.

Tabulka 13 - Shrnutí důležitých údajů

Tabulka shrnutí důležitých údajů				
	Veltlínské zelené		Zweigeltrebe	
Sušina[%]	36,653	36,653	33,687	33,687
Látkové zatížení[ $kg \cdot kg^{-1}$ ]	0,496	0,099	0,474	0,095
Spalitelné látky [%]	84,640	84,640	91,191	91,191
Měrná produkce bioplyn [ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ]	0,415	0,656	0,378	0,544
Měrná produkce metanu[ $m^3 \cdot kg^{-1}$ ]	0,246	0,262	0,234	0,266
Obsah metanu v bioplynu [%]	59,3	39,8	61,9	48,9

## 5.6 Odbouratelnost organických látek

Při předchozím zpracování výsledků se především stanovovala výtěžnost bioplynu a hlavně výtěžnost metanu při anaerobní fermentaci daného substrátu. Bioplynová stanice je však také zařízení ke zpracování odpadů a důležitým ukazatelem je odbouratelnost organických látek. Pro vypočítání odbouratelnosti organických látek bylo nejdříve důležité vypočítat hmotnost vytěženého bioplynu. Podle Avogadrova zákona zaujímá 1 mol základních částic kterékoli plynné látky při normálních podmínkách objem 0,02241 m<sup>3</sup>. Z toho odvodíme vzorec, který použijeme pro vypočítání hmotnost CH<sub>4</sub> a CO<sub>2</sub>, jakožto dvou hlavních složek bioplynu.

$$m = \frac{V \times 1000}{22,41 \times M}$$

kde:

$m$  = hmotnost plynu [g]

$V$  = objem plynu [m<sup>3</sup>]

$M$  = molární hmotnost plynu [g.mol<sup>-1</sup>]

Molární hmotnost metanu je 16 g.mol<sup>-1</sup> a molární hmotnost oxidu uhličitého je 44 g.mol<sup>-1</sup>. Jako objem bioplynu je použit absolutní objem. Z hodnot sušiny a obsahu spalitelných látek, uvedených v Tabulce 6 a Tabulce 7 můžeme pomocí směšovací rovnice určit obsah sušiny a organických látek ve směsi na začátku testu. V následující tabulce jsou uvedeny hodnoty hmotností sušiny a organické složky v reaktorech na začátku a na konci testu. Výsledná odbouratelnost látek je vyhodnocena pro celý reaktor i pro daný substrát.



Tabulka 14 - Odbouratelnost organických látek

Tabulka měrné produkce bioplynu				
	Veltlínské zelené		Zweigeltrebe	
	<i>Látkové zatížení 0,496 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení 0,099 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení 0,474 kg.kg<sup>-1</sup></i>	<i>Látkové zatížení 0,095 kg.kg<sup>-1</sup></i>
<b>Hmotnost sušiny na začátku[kg]</b>	5,574	0,081	5,280	0,077
<b>Hmotnost org. látek na začátku[kg]</b>	3,779	0,050	3,710	0,051
<b>Hmotnost vyprodukované bioplynu[kg]</b>	1,124	0,011	0,944	0,016
<b>Hmotnost sušiny na konci [kg]</b>	4,449	0,070	4,342	0,062
<b>Hmotnost org. látek na konci[kg]</b>	2,654	0,040	2,771	0,035
<b>Odbouratelnost org. látek v reaktoru [%]</b>	29,8	20,5	25,3	31,4
<b>Odbouratelnost org. látek substrátu [%]</b>	43,3	81,9	41,4	67,7

Při výpočtu odbouratelnosti organických látek z materiálu bylo důležitá měrná produkce bioplynu, která je již uvedena v Tabulce 13. Tato hodnota udává objem bioplynu vytvořeného jedním kilogramem sušiny daného materiálu. Tuto hodnotu musíme podle složení bioplynu přepočítat na hmotnost bioplynu. V Tabulce 6 a v Tabulce 7 je uveden obsah spalitelných látek v sušině daného materiálu, který k výpočtu musíme znát. Následující vzorec popisuje výpočet procentuální odbouratelnosti organických látek z daného materiálu.

$$Odb. = m \times Obs. spal. látek$$

kde:

*Odb.* = odbouratelnost organických látek [%]

*m* = hmotnost bioplynu vytěženého z kilogramu sušiny substrátu [kg]

*Obs. spal.látek* = obsah spalitelných látek v sušině substrátu [%]

Z tabulky je zřejmé, že nejlepší odbouratelnost organických látek byla při menší zátěži reaktoru. Nejvyšší úroveň dosáhla odrůda Veltlínské zelené. Vysokou odbouratelnost způsobil fakt, že kontrolní reaktor s inokulem vyprodukoval pouze malé množství bioplynu. To zapříčinilo i celkové nejmenší odbourání organických látek, co se týká celé směsi substrátu s inokulem. To znamená, že pokud bylo do reaktoru nadávkováno 20 g substrátu, tak pouze 6,2 g mohlo být při procesu anaerobní fermentace přeměněno na bioplyn. V případě odrůdy Veltlínské zelené se přeměnilo v reaktoru o objemu 0,003 m<sup>3</sup> 5 g z nadávkovaného substrátu.

## 5.7 Stanovení přesnosti měření

Žádné měření není zcela přesné, proto je nutné vypočítat odchylku od správného výsledku. Při měření bylo využito několik reaktorů, aby výsledky byly co nejvíce vypovídající. U reaktorů s objemem 0,003 m<sup>3</sup> proběhly dvě opakování, a u reaktorů s objemem 0,120 m<sup>3</sup> jedno opakování. Při určování relativní odchylky bylo počítáno pouze s konečnými hodnotami absolutní produkce bioplynu na konci procesu fermentace. Tyto hodnoty byly odečítány každý den po dobu testování materiálu. Nejdříve bylo třeba určit aritmetické průměry a to podle vzorce:

$$\bar{d} = \left( \frac{d_1 + d_2 + \dots + d_n}{n} \right)$$

kde:

$\bar{d}$  = aritmetický průměr naměřených hodnot

*d* = naměřené hodnoty

*n* = počet naměřených hodnot

Odchylku zjistíme odečtením naměřené hodnoty od aritmetického průměru. Poté opět uděláme aritmetický průměr absolutních hodnot odchylek. Pak se relativní odchylka vypočítá podle následujícího vzorce. (Bednařík, Šíroká, 2000)

$$\partial d = \frac{\Delta d}{\bar{d}} \times 100$$

*kde:*

$\Delta d$  = aritmetický průměr odchylek

$\bar{d}$  = aritmetický průměr naměřených hodnot

$\partial d$  = relativní odchylka [%]

U reaktorů o objemu 0,003 m<sup>3</sup> je relativní odchylka vždy vysoká. Veltlínské zelené má relativní odchylku 6,07 % a Zweigeltrebe je odchylka 3,36 %. Je to dáno tím, že opakování proběhlo vždy dvakrát. Jestliže tedy více testování má lepší vypovídající hodnotu, tak zároveň je vyšší šance, že výsledky se budou od sebe lišit. Navíc u těchto reaktorů docházelo k odečítání hodnot z odměrného válce a zapisování, zatímco u reaktorů s objemem 0,120 m<sup>3</sup> se naměřené hodnoty odečítaly z plynoměru. Zde má odrůda Zweigeltrebe relativní odchylku 0,85 % a u odrůdy Veltlínské zelené je nulová odchylka, protože došlo ve druhém reaktoru k poruše. Z tohoto důvodu byly pro další výsledky použity pouze hodnoty z jednoho reaktoru. Abychom mohli mluvit o přesném měření, měla by relativní odchylka dosahovat maximálně 1 %.

### 5.7.1 Přesnost měřících přístrojů

Každý přístroj má ve své průvodní dokumentaci uvedenou největší přípustnou chybu měření. Tímto je zaručeno, že hodnota veličiny naměřené přístrojem bude mít v celém jeho rozsahu chybu nanejvýš rovnou maximální chybě. Maximální chyba se pak vypočítá podle vzorce:

$$m_x = \frac{T_p}{100} x_m$$

kde:

$m_x$  = maximální chyba

$T_p$  = třída přesnosti [%]

$x_m$  = jmenovitý rozsah přístroje

Díky výpočtu maximální chyby měření se může následně vypočítat relativní chyba naměřených hodnot. A to podle vzorce:

$$m_{r,x} = \frac{m_x}{x}$$

kde:

$m_{r,x}$  = relativní chyba naměřené hodnoty

$m_x$  = maximální chyba

$x$  = nejvyšší naměřená hodnota

U reaktorů s objemem 0,120 m<sup>3</sup> se měřilo přístrojem Binder Combimass Ga-m, který sloužil k analýze složení bioplynu. Třída přesnosti tohoto přístroje je 0,2 % a jmenovitý rozsah 100%. Nejvyšší hodnota byla naměřena u obsahu metanu a byla 70,1 %. Z těchto údajů lze vypočítat, že relativní chyba naměřené hodnoty je 0,28 %.

U reaktorů s objemem 0,003 m<sup>3</sup> se k analýze složení bioplynu používal přístroj Dräger X-am 7000. Třída přesnosti přístroje je 0,5 % a rozsah 100 %. Nejvyšší naměřená hodnota obsahu metanu byla 58 %. Relativní chyba naměřených hodnot je tedy 0,86 %.

## 6 DISKUZE

V této kapitole se zjištěné výsledky podrobily srovnání. Nejprve byla zjištěna výhřevnost materiálu pomocí kalorimetrie. Hodnoty se porovnávaly s výhřevností vytěženého metanu. Poté se srovnávala výtěžnost metanu anaerobní fermentací podle odrůdy a zároveň s testy z University of Catania, které probíhaly za podobných podmínek jako v této práci. Výsledky byly ještě srovnány s výsledky, které dosahuje kukuřičná siláž, jež je jedním z nejpoužívanějších materiálů na bioplynových stanicích.

### 6.1 Energetický potenciál materiálu

Pomocí metody kalorimetrie bylo zjištěno spalné teplo testovaného materiálu. Spalné teplo je množství tepla, které se uvolní dokonalým spálením jednotkového množství paliva. U spalného tepla se předpokládá, že voda uvolněná spalováním zkondenzuje a tak energii reakce není třeba redukovat o její skupenské teplo. Při porovnání se předpokládalo, že se bude spalovat materiál bez úpravy, tedy s obsahem vody. Proto bylo třeba přepočítat spalné teplo na výhřevnost. Výhřevnost se od spalného tepla liší o měrné skupenské teplo, které vodu přivede do stavu plynného skupenství. Výhřevnost byla vypočtena podle vzorce, který je v souladu s normou ČSN ISO 1928.

$$Q_v = Q_s - \gamma(V_{w\%} + 8,94V_h)$$

kde:

$$Q_v = \text{Výhřevnost [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$$Q_s = \text{spalné teplo materiálu [kJ.kg}^{-1}\text{]}$$

$\gamma$  = koeficient, který odpovídá ohřevu a vypaření 1 % H<sub>2</sub>O při teplotě 25 °C (24,42) [kJ.kg<sup>-1</sup>]

$$V_{w\%} = \text{obsah vody v materiálu [\%]}$$

$$V_h = \text{obsah vodíku ve vzorku [\%]}$$

8,94 je koeficient přepočtu hmotnosti vodíku na vodu

Pro srovnání bylo ještě zapotřebí vypočítat výhřevnost metanu vyprodukovaného při anaerobní fermentaci materiálu. V tomto případě stačilo měrnou produkci metanu vynásobit výhřevností metanu při dokonalém spalování, která dosahuje hodnoty 33 806 kJ.m<sup>-3</sup>.

V Tabulce 15 jsou uvedeny hodnoty výhřevnosti při dokonalém spálení materiálu a výhřevnosti metanu vyprodukovaného při testování v reaktorech. Energetický potenciál byl využit nejvíce u odrůdy Zweigeltrebe testované v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup>. U stejné odrůdy, ale v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup> došlo k nejnižšímu využití energetického potenciálu. Díky tomu, že při kalorimetrii bylo zjištěno, že spalná tepla jsou u obou odrůd téměř shodná, rozhodujícím faktorem byla měrná produkce metanu.

*Tabulka 15 - Energetická bilance zpracování materiálu*

<b>Tabulka energetické bilance</b>				
	<b>Veltlínské zelené</b>		<b>Zweigeltrebe</b>	
<b>Látkové zatížení [kg.kg<sup>-1</sup>]</b>	0,496	0,099	0,474	0,095
<b>Obsah vody[%]</b>	63,4	63,4	66,3	66,3
<b>Spalné teplo materiálu [kJ.kg<sup>-1</sup>]</b>	17928,33	17928,33	17922,07	17922,07
<b>Výhřevnost materiálu [kJ.kg<sup>-1</sup>]</b>	15178,41	15178,41	15062,75	15062,75
<b>Výhřevnost vyprodukovaného metanu [kJ.kg<sup>-1</sup>]</b>	8316,27	8857,17	7910,61	8992,39
<b>Využití energetického potenciálu materiálu [%]</b>	<b>54,8</b>	<b>58,4</b>	<b>52,5</b>	<b>59,7</b>

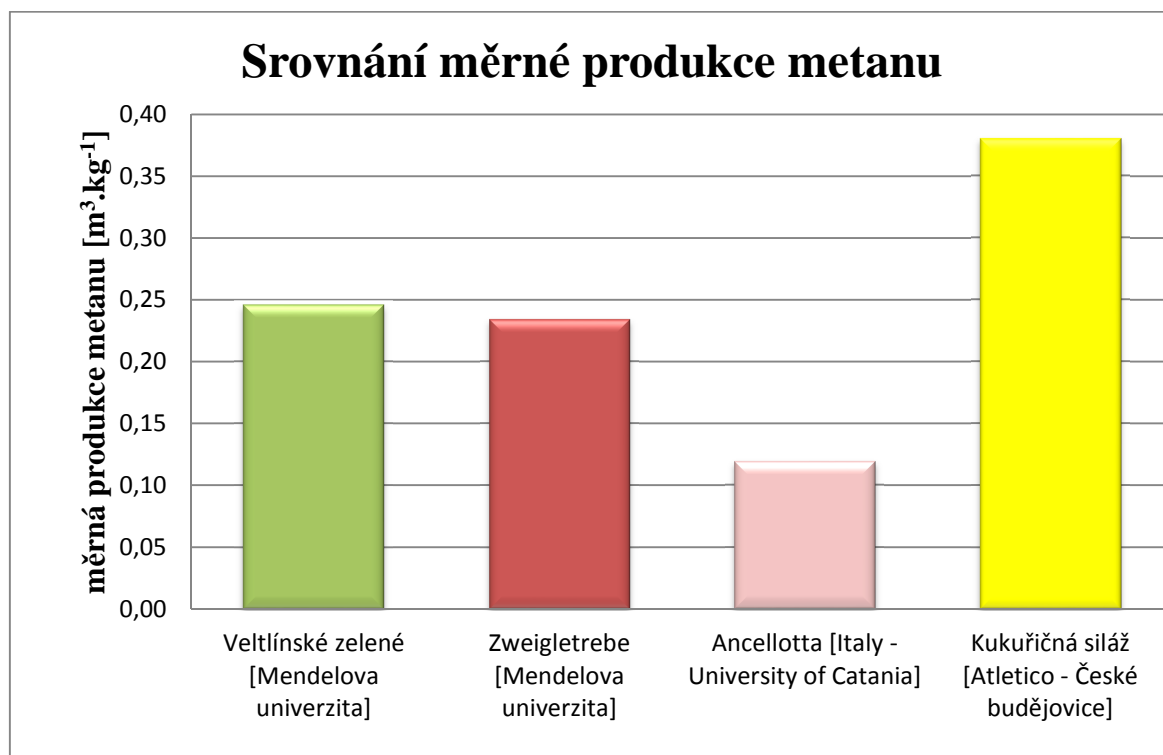
## 6.2 Porovnání výsledků

Z předchozích výsledků je zřejmé, že při anaerobní fermentaci odrůd Veltlínské zelené a Zweigeltrebe byly zjištěny podobné hodnoty. Znatelný rozdíl byl v porovnání látkových zatížení, kdy obě odrůdy dosáhly lepších výsledků při nižším látkovém zatížení.

Rozdílná však byla dynamika celého procesu anaerobní fermentace. Při nižším látkovém zatížení byla křivka měrné produkce u obou odrůd téměř stejná, ovšem u většího látkového zatížení byly zaznamenány patřičné rozdíly. Matoliny obou odrůd prošly před testováním různými procesy při výrobě vína. Hrozny odrůdy Veltlínské Zelené jsou podrceny a vzniká rmut, který je ihned lisován. U odrůdy Zweigeltrebe je rmut po dobu 12 dní tzv. nakvašen, aby bylo získáno barvivo ze slupek.

Odrůda Veltlínské zelené měla nejvyšší produkci mezi 1. a 5. den testování. V těchto dnech ovšem odrůda Zweigeltrebe neprodukovala téměř žádný bioplyn. Skok u této odrůdy nastal až 5. den, od 12. dne se měrná produkce bioplynu ustálila. Při procesu nakvašení rmutu už dochází k přeměně snadno rozložitelných látek. To mohlo mít za následek téměř nulovou produkci bioplynu v prvních dnech u odrůdy Zweigeltrebe.

Na Obrázku 20 je vidět graf porovnání výtěžnosti metanu různých substrátů. V prvním a druhém sloupci je výtěžnost zkoušených odrůd, které se v této práci analyzovaly. V třetím sloupci je zobrazena výtěžnost metanu z odrůdy Ancellotta. Jedná se o odrůdu červeného vína pocházející z oblasti Emilia-Romagna v Itálii. Testování tohoto substrátu probíhalo na University of Catania. V tomto experimentu byly použity reaktory o objemu 0,004 m<sup>3</sup> a použito bylo látkové zatížení 0,5 kg.kg<sup>-1</sup>. Pokus trval 21 dní a stejně jako v této práci bylo použité inokulum jako kontrolní reaktor, jehož výsledná produkce se od produkci v reaktorech s materiálem odečítala. Inokulum bylo odebráno v bioplynové stanici, kde se používá směs prasečí kejdy s kukuřičnou siláží.



Obrázek 20 - Graf srovnání měrné produkce metanu z materiálů

Měrná produkce metanu odrůdy Ancellota byla  $0,116 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$  sušiny daného materiálu. Tato produkce je více než o polovinu menší, než při testování v této práci. Opět se ukazuje, že díky vysokému látkovému zatížení dochází během první fáze anaerobní fermentace ke vzniku těkavých mastných kyselin, které jsou sice důležité pro další fáze procesu anaerobní fermentace, ovšem je důležité hlídat meze koncentrace těchto látek. Vysoká koncentrace těchto látek totiž může způsobit inhibici procesu a tím nízkou výtěžnost bioplynu z organické složky materiálu. Stejně jako u odrůdy Zweigeltrebe, došlo u Ancellota k nárůstu produkce bioplynu až v 5. dni procesu anaerobní fermentace. (Failla, Restuccia, 2014)

Poslední sloupec ukazuje měrnou produkci metanu u kukuřičné siláže, jakožto nejpoužívanějšího substrátu pro výrobu bioplynu. V tomto případě se jedná o hybrid Atletico z oblasti Českých Budějovic. Experiment probíhal na Jihočeské univerzitě v Českých Budějovicích. Byly použity reaktory o objemu  $0,00012 \text{ m}^3$  a látkové zatížení bylo  $0,5 \text{ kg}.\text{kg}^{-1}$ . Produkce metanu je zde nejvyšší a dosahuje hodnoty  $0,383 \text{ m}^3.\text{kg}^{-1}$ . (Kajan et al., 2008)



## 7 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo otestovat výtěžnost bioplynu z vinných výlisků při anaerobní fermentaci. Testy probíhaly v Republikové referenční laboratoři bioplynových transformací na Mendelově univerzitě a to po dobu 24 dní v reaktorech s objemem 0,003 m<sup>3</sup> a 26 dní v reaktorech s objemem 0,120 m<sup>3</sup>.

Z výsledků vyplývá, že výtěžnost bioplynu byla nejvyšší u odrůdy Veltlínské zelené. Při testování v reaktorech s objemem 0,003 m<sup>3</sup> dosáhla hodnot 0,66 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny materiálu a u reaktorů s objemem 0,120 m<sup>3</sup> pak hodnoty 0,41 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny materiálu. Odrůda Zweigeltrebe dosáhla velmi podobných výsledků, kdy při nižším látkovém zatížení byla měrná produkce bioplynu 0,54 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a při vyšším látkovém zatížení 0,38 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny materiálu.

Z energetického hlediska však byl důležitý ukazatel získaného metanu anaerobní fermentací vinných výlisků. Zde opět nejvyšší hodnoty bylo dosaženo u nižšího zatížení odrůdy Zweigeltrebe a to 0,266 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny materiálu. Při vyšším zatížení byla měrná produkce metanu 0,234 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Odrůda Veltlínské zelené dosahovala velice podobných výsledků. V malých reaktorech byla výtěžnost metanu 0,262 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a ve velkých reaktorech byla výtěžnost 0,246 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup>. Jako nejčastější surovina do bioplynových stanic se využívá kukuřičná siláž, která může dosahovat výtěžnosti metanu až 0,42 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny (Korres, 2013). Pokud tedy srovnáme tyto hodnoty, tak výtěžnost metanu při anaerobní fermentaci matolin nedosahuje hodnot, kterých jsou schopné dosáhnout cíleně pěstované energetické plodiny.

Podle předpokladů měla celková výtěžnost jak bioplynu, tak metanu, dosahovat vyšších hodnot v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup>. V těchto reaktorech dochází k pravidelnému promíchávání směsi a tím dochází k rychlejšímu a dokonalejšímu kontaktu mikroorganismů s materiálem. Ovšem vyšších hodnot bylo dosaženo v reaktorech o objemu 0,003 m<sup>3</sup>. V těchto reaktorech bylo látkové zatížení nižší. To lze pokládat za důvod větší výtěžnosti bioplynu. Důvodem byla zvýšená koncentrace těkavých mastných kyselin. Tato koncentrace se musí udržovat ve stanovených mezích nebo může dojít k inhibici procesu anaerobní fermentace. Díky vyššímu obsahu sacharidů došlo na začátku anaerobní fermentace, ve fázích hydrolyzy a acidogeneze, k rychlému zvýšení koncentrace těkavých mastných kyselin a proces tvorby bioplynu tak byl náhle inhibován touto koncentrací. Tomu napovídá i průběh testu, který je

zobrazen v grafu na Obrázku 11, kde je patrný prudký pokles produkce bioplynu. Z toho vyplývá, že pokud chceme dosáhnout větších výtěžností bioplynu z matolin, musíme zvolit nižší látkové zatížení reaktoru.

Celková kvalita bioplynu byla lepší při vyšším látkovém zatížení, tedy při testování v reaktorech o objemu 0,120 m<sup>3</sup>. U odrůdy Zweigeltrebe byl obsah metanu ve vytěženém bioplynu 61,9 % a u odrůdy Veltlínské zelené byl obsah metanu ve vytěženém bioplynu 59,3 %. Takové hodnoty jsou již vhodné pro spalování bioplynu v kogenerační jednotce a tedy výrobě elektrické energie. U malých reaktorů o objemu 0,003 m<sup>3</sup> byly tyto hodnoty pod hranicí spalitelnosti v kogeneračních jednotkách. U odrůdy Veltlínské zelené to bylo 39,8 % a u odrůdy Zweigeltrebe pak 48,9 %.

Vzhledem k následnému použití fermentačního zbytku a sledování dokonalosti procesu anaerobní fermentace je zapotřebí znát odbouratelnost látek z materiálu na konci procesu. Nejvyšší hodnoty dosáhla odrůda Veltlínské zelené při nižším látkovém zatížení a to 81,9 %. Při vyšším látkovém zatížení bylo z organických látek v materiálu přeměněno 43,3 % na bioplyn. U odrůdy Zweigeltrebe bylo při vyšším látkovém zatížení odbouráno 41,4 % a při nižším látkovém zatížení 67,7 %. Zbytek organických látek zůstal ve fermentačním zbytku, který se následně aplikuje na půdu jako organické hnojivo.

Testované odrůdy se rovněž podrobily srovnání se zahraničními testy. V Itálii, na University of Catania, probíhal test anaerobní fermentace odrůdy Ancellota. Jedná se o odrůdu červeného vína. Testy probíhaly po dobu 21 dní a stejně jako v této diplomové práci, byl jeden reaktor vyhrazen jako kontrolní, ve kterém bylo pouze inokulum. Díky tomu, že inokulum bylo odebráno v bioplynové stanici, která zpracovává kukuřičnou siláž a prasečí kejdu, jsou podmínky obou testování téměř shodné. Látkové zatížení bylo 0,500 kg.kg<sup>-1</sup>. Měrná produkce metanu vyšla 0,116 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> sušiny daného materiálu. Tato hodnota je o polovinu nižší než hodnoty získané při našem testování. Opět je látkové zatížení značně vysoké a měrná produkce metanu dosahuje nízkých hodnot.

Podle Českého statistického úřadu bylo v roce 2014 sklizeno na území České republiky 78 507 tun hroznů. Dá se předpokládat, že při zpracování vína vzniklo z dané výtěžnosti zhruba 30 % matolin, tj. 23 552 tun. Místo odpadu při výrobě vína považujeme matoliny spíše za vedlejší produkt této činnosti. Z tohoto množství lze

potenciálně získat okolo 2 020 000 m<sup>3</sup> metanu. Spálením takového množství metanu v kogenerační jednotce lze získat 7676 MWh elektrické energie při účinnosti kogenerační jednotky 40 %. Tyto hodnoty jsou založeny na výsledcích, které byly získané během testování materiálu v laboratorních podmínkách. Takové množství elektrické energie se nedá ani zdaleka srovnat s cíleně pěstovanými energetickými plodinami, které se zejména v zemědělských bioplynových stanicích používají.

Plán odpadového hospodářství České republiky požaduje snižování biologicky rozložitelných odpadů ukládaného na skládky. Pro tento odpad se musí najít jiné využití nebo zpracování. Bioplynových stanic, které zpracovávají biologicky rozložitelný odpad, je na území České republiky pouze 18. Nejčastěji jsou zastoupené zemědělské bioplynové stanice, které zpracovávají právě cíleně pěstovanou biomasu. Nutno je však říci, že půda je náš nejcennější výrobní prostředek a díky pěstování energetické biomasy se zabírá území úrodné půdy, na kterém by se mohly pěstovat potraviny. V bioplynových stanicích zpracovávajících biologicky rozložitelný odpad ovšem není výtěžnost bioplynu tak vysoká, tudíž ani produkce elektrické energie nedosahuje vysokých hodnot. Důležitým faktorem je složení materiálu, který se dávkuje do reaktorů. Matoliny obsahují velké množství sacharidů, jejichž rychlý rozklad může iniciovat proces anaerobní fermentace, tudíž se dá předpokládat, že by mohly být využity ke kofermentaci s jiným materiálem.

Další možností je anaerobní fermentace materiálu v místě zpracování. Vzniklý metan by mohl být spalováním využit k výrobě tepla nebo elektrické energie. Vinařské závody by tedy mohly matoliny využít k vytápění budov nebo k výrobě elektrické energie pro pohon některých strojů. Ovšem z hlediska vysokých investičních nákladů je důležité před realizací projektu provést důkladnou ekonomickou studii.

Při testování bylo zjištěno, že matoliny nejsou materiál, který by byl vhodný k samostatné anaerobní fermentaci v bioplynové stanici, a to díky nízké sezónní produkci, nedostačujícímu množství zpracovaných hroznů v místě vzniku a nižší výtěžnosti bioplynu na kilogram sušiny. Avšak díky velkému obsahu sacharidů, jakožto snadno rozložitelných látek, mají matoliny potenciál ke kofermentaci s jiným materiálem, který má nízký obsah snadno rozložitelných látek. Právě kofermentace s jiným materiálem je další proces, který může být předmětem dalšího testování.

## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

BAČÍK, Ondřej: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. 2008-01-14 [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>. ISSN: 1801-2655.

BEDNAŘÍK, M., ŠIROKÁ, M.: Fyzika pro gymnázia – Mechanika. Prometheus Praha, 2000.

*Bioprofit*. Anaerobní technologie. [online]. 5.4.2014 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_popis.html](http://www.bioplyn.cz/at_popis.html)

*Bioprofit*. Využití fermentačního zbytku. [online]. 5.4.2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: [http://www.bioplyn.cz/at\\_fermantace.html](http://www.bioplyn.cz/at_fermantace.html)

Česká bioplynová asociace. Statistiky výroby bioplynu. [online]. 5.4.2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/statistiky-vyroby-bioplynu.html>

ČSN EN 14346. Charakterizace odpadů - Výpočet sušiny stanovením podílu sušiny nebo obsahu vody. Praha: Český normalizační institut, 2007.

ČSN ISO 1928. Tuhá paliva - Stanovení spalného tepla kalorimetrickou metodou v tlakové nádobě a výpočet výhřevnosti. Praha: Český normalizační institut, 1999.

CZ Biom, Bioplynová stanice Čejč. *Biom.cz* [online]. 2015-04-18 [cit. 2015-04-18]. Dostupné : <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynovе-stanice/bioplynova-stanice-cejc>

CZ Biom, Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. 2002-12-18 [cit. 2014-10-19]. Dostupné : <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spolehлива-a-overena-technologie-bioplynovе-stanice>. ISSN: 1801-2655.

DOHÁNYOS, Michal: Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace. *Biom.cz* [online]. 2008-11-17 [cit. 2014-10-19]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>. ISSN: 1801-2655.

*Encyklopedie vína, vinařství a vinohradnictví*. Matoliny. [online]. 5.4.2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.znalecvin.cz/matoliny/>

*Fortexbioplyn*. Bioplynové stanice „suchá“ anaerobní fermentace. [online]. 5.4.2015 [cit. 2015-04-05]. Dostupné z: <http://www.fortexbioplyn.cz/cz/sucha-fermentace/>

IBLER Z. A KOL.: Energetika technický průvodce, 2002 BEN - technická literatura, ISBN 80-7300-026-1

JELÍNEK A KOLEKTIV, Hospodaření a manipulace s odpady ze zemědělství a venkovských sídel, Agrospoj, Praha, 2001, 1-262.

KAJAN M., ŠTINDL P., PROCHÁZKA J.: Experiences with anaerobic digestion in the Czech Republic, příspěvek na konferenci: The future for Anaerobic Digestion of Organic Waste in Europe, Norimberk, 16. – 17. 1. 2008

KORRES N, O'KIELY P, BENZIE J, WEST S, Bioenergy Production by Anaerobic Digestion: Using Agricultural Biomass and Organic Wastes, Routledge, 2013, ISBN 1136489630

P. BURG, D. LUDÍN, Hodnocení energetického potenciálu u výlisků z hroznů, Odpadové fórum 2013.[cit. 2015-20-3] Dostupné z: [www.odpadoveforum.cz/DVD/dokumenty/prispevky/226.pdf](http://www.odpadoveforum.cz/DVD/dokumenty/prispevky/226.pdf).

P. BURG, P. ZEMÁNEK, Možnosti využití matolin z vinařské produkce. *Vinařský obzor*. 2012. sv. 105, č. 5, s. 258--259. ISSN 1212-7884.

S. FAILLA, A. RESTUCCIA, Methane potentials from grape marc by a laboratory scale plant, *Applied Mathematical Sciences*, Vol. 8, 2014, no. 132, 6665-6678

SLADKÝ, Václav: Metody úpravy bioplynu na kvalitu zemního plynu. *Biom.cz* [online]. 2009-03-30 [cit. 2015-02-09]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/metody-upravy-bioplynu-na-kvalitu-zemniho-plynu>. ISSN: 1801-2655.

SMRŽ, M.: Cesta k energetické svobodě, Energetický informační servis WISE Brno 2007

SOUSA, E.C et al. (2014) Chemical composition and bioactive compounds of grape pomace (*Vitis vinifera* L.) *Food Sci. Technol, Campinas*, 34(1): 135-142, Jan.-Mar. 2014

STRAKA, F. a kol. BIOPLYN příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů, 2.rozšířené vydání. GAS, Praha2006

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Složení bioplynu (Jelínek et al., 2001) .....	13
Tabulka 2 - Technologie bioplynových stanic (CZ BIOM, 2010) .....	15
Tabulka 3 - Chemické složení matolin (Sousa et al., 2014) .....	20
Tabulka 4 - Elementární složení matolin (Burg, Ludín, 2013).....	21
Tabulka 5 - Základní údaje o bioplynové stanici Čejč (BIOM CZ, 2015) .....	22
Tabulka 6 - Charakteristiky směsi v jednotlivých reaktorech (Veltlínské zelené) .....	31
Tabulka 7 - Charakteristika směsi v jednotlivých reaktorech (Zweigeltrebe).....	31
Tabulka 8 - Naměřené hodnoty u velkých reaktorů (Veltlínské zelené) .....	33
Tabulka 9 - Naměřené hodnoty u velkých reaktorů (Zweigeltrebe).....	34
Tabulka 10 - Naměřené hodnoty malých reaktorů (Veltlínské zelené) .....	35
Tabulka 11 - Naměřené hodnoty malých reaktorů (Zweigeltrebe).....	36
Tabulka 12 - Měrná produkce bioplynu .....	38
Tabulka 13 - Shrnutí důležitých údajů.....	47
Tabulka 14 - Odbouratelnost organických látek.....	49
Tabulka 15 - Energetická bilance zpracování materiálu.....	54

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Schéma anaerobní fermentace (Dohányos, 2008) .....	12
Obrázek 2 - Schéma tekuté fermentace (CZ Biom, 2010).....	15
Obrázek 3 - Schéma netekuté fermentace (Fortexbioplyn, 2015) .....	16
Obrázek 4 - Matoliny použité při testování (Vlastní foto).....	19
Obrázek 5 - Laboratorní váhy Pioneer OHAUS (Vlastní foto) .....	23
Obrázek 6 - Reaktory o objemu 0,120 m <sup>3</sup> (Vlastní foto).....	26
Obrázek 7 - Binder Combimass Ga-m (Vlastní foto).....	27
Obrázek 8 - Reaktory o objemu 0,003 m <sup>3</sup> (Vlastní foto) .....	28
Obrázek 9 - Dräger X-am 7000 (Vlastní foto).....	29
Obrázek 10 - Graf vývoje měrné produkce bioplynu – reaktory 0,003 m <sup>3</sup> .....	39
Obrázek 11 - Graf vývoje měrné produkce bioplynu – reaktory 0,120 m <sup>3</sup> .....	40
Obrázek 12 - Graf srovnání celkové měrné produkce bioplynu .....	41
Obrázek 13 - Graf vývoje měrné produkce metanu v reaktorech 0,003 m <sup>3</sup> .....	42

Obrázek 14 - Graf vývoj měrné produkce metanu v reaktorech 0,120 m <sup>3</sup> .....	43
Obrázek 15 - Graf vývoje obsahu metanu v bioplynu průběhu testování .....	43
Obrázek 16 - Graf srovnání měrné produkce metanu .....	44
Obrázek 17 - Graf vývoje produkce CO <sub>2</sub> v bioplynu během testování.....	45
Obrázek 18 - Graf zastoupení sirovodíku v bioplynu v průběhu testování .....	46
Obrázek 19 - Graf zastoupení H <sub>2</sub> v bioplynu v průběhu testování .....	47
Obrázek 20 - Graf srovnání měrné produkce metanu z materiálů .....	55