

## ANALYSIS USING OF STARCH WASTE BY ANAEROBIC FERMENTATION

**Szabó T., Groda B.**

Department of Agricultural, Food and Environmental Engineering, Faculty of Agronomy, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, 613 00 Brno, Czech Republic

E-mail: teress@centrum.cz, tereza.szabo@mendelu.cz

---

### ABSTRACT

An increase in demand for renewable energy sources resulting from a number of legislative orders gives rise to dynamic development of biogas production technologies. Properties of substrates suitable for anaerobic fermentation are tested by Mendel University in Brno which has built the “Biomass Transformation Reference Laboratory of the Republic” and that is where the university performs the tests. This laboratory is provided with reactors of various volumes controlling all the variables on which the course of the process, measurement of the quantity of the biogas being generated, temperature measurement, and openings for sampling the substrate and biogas depend.

One group of tests was focused on waste produced by starch industry that can be used within the mesophilic anaerobic fermentation. Composition of the dosed substrate was as follows: pentoses 22.57%, bran 22.57%, B-starch 4.07%, draff 5.64% and floater 45.15%. Tests were performed by means of co-fermentation with an inoculation substrate from an agricultural biomass power plant in 10 reactors of which 2 were kept without substrate additions. Biogas production out of these checked reactors was then subtracted from the total production of biogas out of the reactors with substrate.

On the basis of the test results the average production of biogas or methane per one kilogram of dry matter respectively was calculated.

On the basis of the results it is possible to say that the starch waste of the specified quantity and composition may be used as a substrate for a biomass power plant.

On the basis of the tests an average production of biogas per a kilogram of the dry matter was calculated after fifteen days  $0.9053 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  and  $0.9708 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  after twenty-two days and  $0.4779 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  methane after 15 days and  $0.5176 \text{ m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$  after 22 days.

The planned production at the residence time of 15 days would be  $6938.13 \text{ m}^3$  of biogas,  $3662.58 \text{ m}^3$  of methane and at 22 days the values would be  $7440.11 \text{ m}^3$  of biogas and  $3966.83 \text{ m}^3$  methane.

Subsequently, on the basis of the production the biomass power plant was designed which is to become a part of the starch factory premises.

**Key word:** biomass, starch waste

**Acknowledgement:** This project has done with the support of Internal Grant Agency of Agronomy faculty and BGS Biogas a.s.

## ÚVOD

V posledních letech jsme svědky stoupajícího zájmu o bioplynové transformace, což se projevuje rostoucím počtem projektovaných a stavěných bioplynových stanic. Nermalou roli na tomto rozvoji hraje přijetí zákona o obnovitelných zdrojích energie. V současnosti nelze předpokládat, že by nahradily fosilní paliva, avšak lze konstatovat, že technologie využívající bioplyn jako zdroj energie, výrazně tuto substituci podporují. Jednak jde o systémy s perspektivním potenciálem do budoucna, které sebou nesou pozitivní vliv na životní prostředí, vedou k udržitelnosti zemědělství a venkova (zajištění zemědělcům nových a stabilních příjmů, tvorba a stabilizace pracovních míst), ale především přispívají k energetické nezávislosti země.

Pro potravinářský průmysl a jiné subjekty se vznikem gastronomických, zemědělských aj. odpadů využitelných k anaerobní fermentaci nabízí bioplynová technologie možnost využít organické zbytky a odpady, jichž stále přibývá. Nejvyšší význam mají bioplynové stanice prozatím v zemědělství, kde dochází k využívání energie z bioplynu často ve vlastním provozu, za současné úspory nákladů za nakupovanou energii, ale i vedlejších příjmů za odprodej vyráběné energie.

Každá výstavba bioplynové stanice sebou nese několik zásad, které musí být dodržovány. Již samotná příprava a realizace výstavby musí být v souladu s řadou zákonů, které se na tento proces váží (ovzduší, hnojiva, energetika...), a proto je potřeba důkladně promyslet a zvážit již přípravné kroky, které tvoří základní stavební kámen pro následný projekt tj. jeho ekonomickou efektivnost, životnost a funkčnost. V této přípravné fázi je důležitá jak včasná a správná komunikace s úřady, tak i otevřenost a komunikace s obyvateli, jichž se záměr jakkoliv dotýká.

V dalším kroku je potřeba prozkoumat a ověřit dostatek vstupních substrátů a zajištění jejich pravidelných a včasných dodávek. Předem je tedy potřeba určit jaké materiály budou zpracovávány, zda bude zajištěn jejich dostatečný „přísun,“ ale také zamezení výrazných změn používaného substrátu, což by mohlo vést k inhibici procesu ve fermentorech a následnému přerušení výroby bioplynu.

Třetím a velice důležitým faktorem funkční bioplynové stanice je stanovení výtěžnosti bioplynu z jednotlivých materiálů. Produkce bioplynu se velkou mírou odvíjí od sušiny daných substrátů. Je potřeba také dobře určit směs ke kofermentaci s ohledem na složení (množství dusíku aj.), dávkované množství a jeho působení na aktivitu anaerobních společenstev i s ohledem na následné složení vznikajícího bioplynu. Toto vše lze získat laboratorním testováním, kterým se níže zabývá i tato práce.

Vzhledem k tomu, že fermentace je soubor na sebe navazujících procesů, v nichž dochází k přeměně biologicky rozložitelných materiálů za pomoci mikroorganismů, je nutné nastavit a udržovat podmínky (kyslík, teplota, živiny, pH, inhibiční látky, aj.), za kterých nedochází k inhibici či přerušeni činnosti těchto mikroorganismů.

S bioplynovou stanicí je spojeno využívání energetického potenciálu bioplynu. Nejčastějším způsobem využití bioplynu je kombinovaná výroba elektřiny a tepla v tzv. kogeneračních jednotkách. Zůstává na zvážení počet pořízených kogeneračních jednotek a to tak, aby byla zaručena jejich provozní spolehlivost, optimální využití bioplynu a s tím spojený také jejich servis a kontrola. Spalováním bioplynu v kogenerační jednotce dochází souběžně s výrobou elektřiny i ke vzniku (poměrově větší) tepla, které by již ve fázi studie proveditelnosti mělo mít stanovenou perspektivní využití.

Po zvážení všech těchto kritérií nesmí být opomenut ani další výstup z bioplynové stanice, kterým je fermentační zbytek. Způsob s jeho nakládáním závisí na konkrétních podmínkách, avšak často je využíván jako hnojivo, ať již po registraci k prodeji, či pro vlastní potřebu.

Mezi poslední zásady patří spíše otázky ekonomické, týkající se optimalizace investičních a provozních nákladů.

U mnoha projektů bioplynových stanic nedošlo vůbec k jejich schválení, realizaci, popř. správnému chodu, což bylo zapříčiněno především nedodržením některé z těchto zásad. Právě předejití těchto chyb je úkolem následně popsané studie, která předchází výstavbě nové bioplynové stanice zpracovávající škrobárenské odpady, jež jsou jako substrát pro toto využití jen velmi málo prozkoumány.

## MATERIÁL A METODIKA

Testování probíhalo v Republikové referenční laboratoři bioplynových transformací na Mendelově univerzitě v Brně. Součástí laboratoře je i 10 reaktorů o objemu  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ . Reaktory jsou vyhřívány vodní lázní a denně je u nich prováděno kvanti-kvalitativní měření vznikajícího bioplynu. Pro aplikaci přídatných látek jsou reaktory vybaveny sondou, teploměrem pro měření teplot substrátu, prostupy pro odběr vzorků substrátu a zajištění odvodu bioplynu. Všechny výše jmenované zařízení byly na reaktoru instalovány tak, aby nedošlo k vniknutí okolního vzduchu do reaktoru.

### Charakteristika substrátu

Do reaktorů byl dávkován substrát z reaktoru zemědělské bioplynové stanice v Čejčích, kde je zpracovávána směs kukuřičné siláže a kejdy. Substrát byl odebrán v množství dostačujícím pro potřebné naplnění všech reaktorů, aby byly zajištěny stejné výchozí podmínky pro všechny testy. Do reaktorů byl substrát umístěn bezprostředně po transportu, aby došlo k co nejmenším změnám

jeho vlastností. Následující tabulka udává procentuální zastoupení jednotlivých látek v připravené směsi. Procentuální výsledky vychází z předpokládané denní dávky 88 600 kg škrobářenských odpadů.

Tab.1 Složení testovaného substrátu

| <b>Substrát</b> | <b>Procento zastoupení (%)</b> |
|-----------------|--------------------------------|
| Pentosany       | 22.57                          |
| Otruby          | 22.57                          |
| B-škrob         | 4.07                           |
| Mláto           | 5.64                           |
| Flotát          | 45.15                          |

#### Postup testu

Do jednotlivých reaktorů bylo nadávkováno inokulum se směsí odpadů, pouze dva reaktory byly ponechány bez přídavku dodané směsi jako srovnávací. Testy probíhaly po dobu 22 dní za podmínek anaerobní mezofilní fermentace (38°C).

#### Sledované parametry

Před zahájením testů byla změřena hodnota pH, dále pak sušina, spalitelné organické látky substrátu z bioplynové stanice a testované směsi. Teplota v reaktorech byla udržována za pomoci vyhřívané vodní lázně regulované termostatem.

Během testů byly každý den měřeny tyto parametry:

- celkové množství vzniklého bioplynu pomocí vodního plynojemu
- objemové zastoupení vybraných plynů v bioplynu ( $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$ ,  $\text{H}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$ ) pomocí přístroje BINDER

Po ukončení testu byla stanovena sušina, spalitelné organické látky a pH.

Reaktory ponechané pouze s inokulem sloužily jako kontrolní a průměrná hodnota jejich produkce bioplynu byla odečtena od celkových produkcí každého reaktoru. Tímto byla získána skutečná hodnota bioplynu vyprodukovaného z testované směsi. Výsledky měření v testovacích reaktorech byly převedeny na množství dávkované sušiny. Následně pak bylo možno přepočítat získaná data na odpovídající produkci bioplynu pro různé velikosti reaktorů.

Další testy, které byly zadavatelem vyžadovány, se týkaly stanovení CHSK, dusíkatých a jiných látek ve fermentačním zbytku. Stanovení si provedla čistírna odpadních vod, kam bude odváděn fugát.

Popis použitého přístrojového vybavení laboratoře se specifikací analyzovaných parametrů:

Analyzátor plynů BINDER : měření kvality bioplynu  $\text{CH}_4$ ,  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{O}_2$

Muflová pec LMH 07/12: stanovení sušiny a spalitelných organických látek

Laboratorní váhy RADWAG AS 220/C/2: vážení vzorku při stanovení sušiny

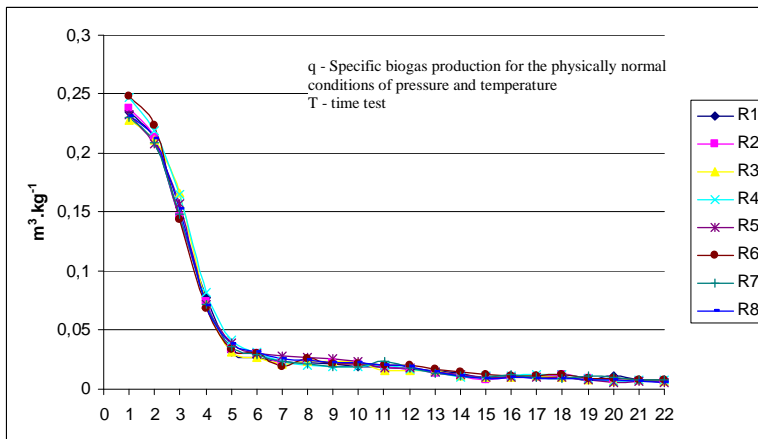
Spektrofotometr HACH-LANGE DR 2000: stanovení CHSK, N, P, K, Na, S

Magic gryf - měření pH XB-4-KS

## VÝSLEDKY A DISKUZE

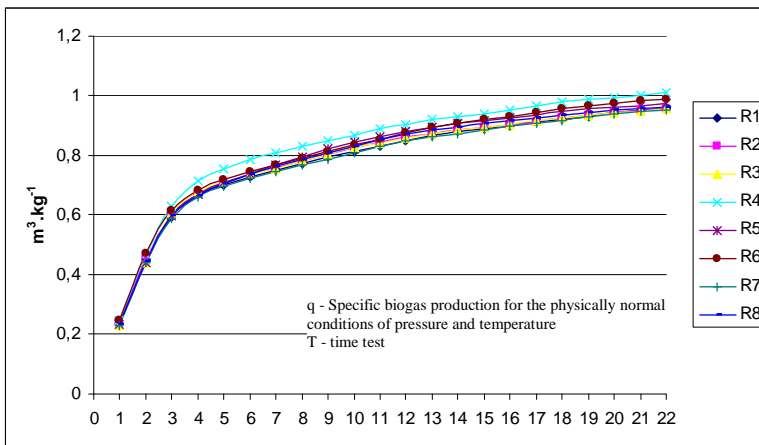
Testování probíhalo opakovaně v 10-ti reaktorech o objemu  $3 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3$ , přičemž složení substrátu bylo vždy stejné. Na grafickém zobrazení výsledků lze vidět, že produkce jednotlivých reaktorů nezobrazují výraznější odchylky, proto lze konstatovat, že vypovídající hodnota testu je na vysoké úrovni a testovaný proces fermentace byl po celou dobu stabilní. Měření bylo prováděno v tolika opakováních, aby byla dosažena průkaznost testu produkce s hladinou spolehlivosti 0.05. Na grafech jsou zobrazeny denní a kumulativní produkce bioplynu a metanu vztažených na kg sušiny. Z výsledků lze následným přepočtem stanovit potřebnou velikost plánované bioplynové stanice.

Obr. 1 Denní produkce bioplynu

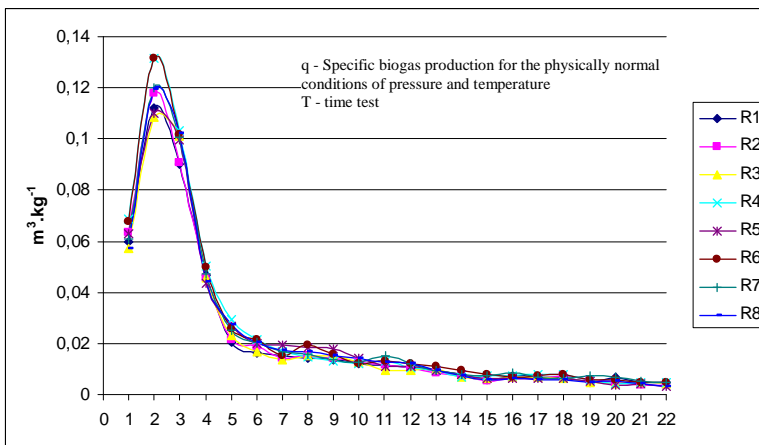


Z denní i kumulativní produkce bioplynu je patrné, že nejvyšších hodnot dosahoval test prvních patnáct dní. Stabilizace po patnáctém dnu je způsobena diskontinuální technologií, která je charakteristická spotřebou organických látek, tedy poklesem využitelné sušiny.

Obr.2 Kumulativní produkce bioplynu

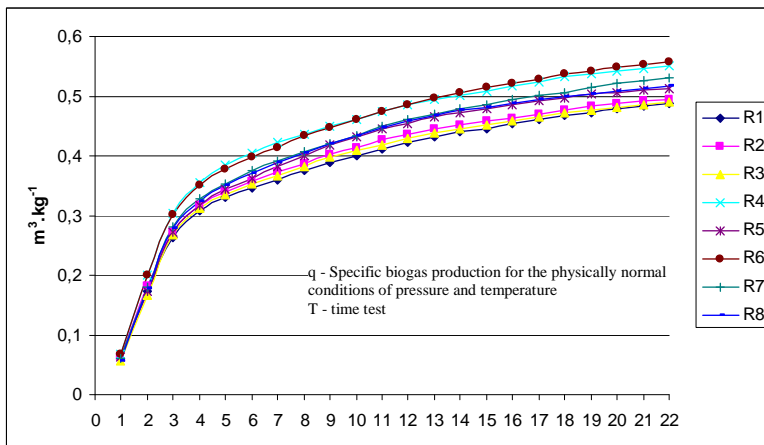
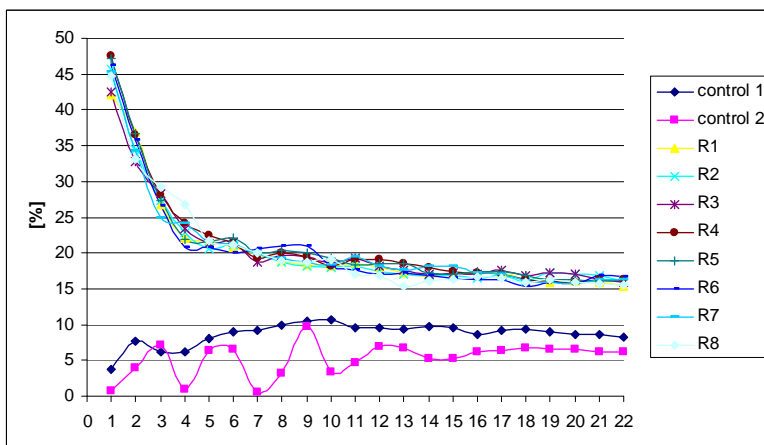


Obr.3 Denní produkce metanu



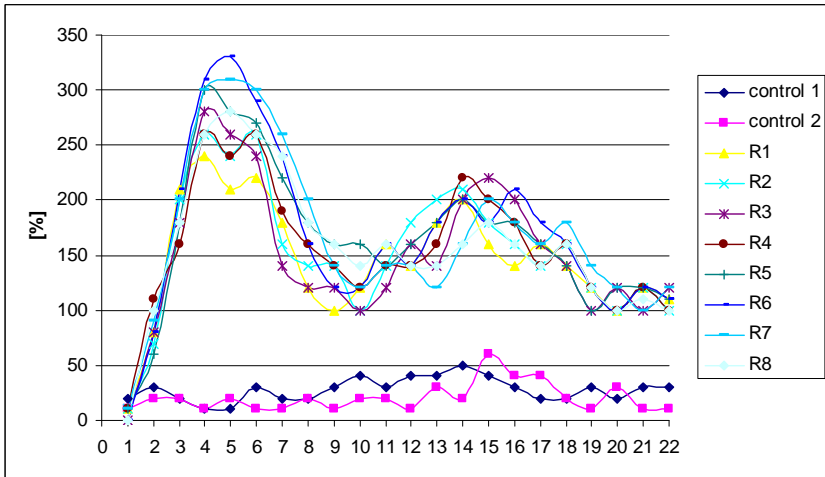
Metan je hlavní složkou bioplynu, která se podílí na jeho výhřevnosti a tím tedy i kvalitě. Proto je produkce bioplynu přepočítána i na čistý metan, aby byl patrný energetický potenciál vzniklého bioplynu. Stejně jako u produkce bioplynu zaznamenáváme nejvyšší hodnoty do 15tého dne.

Obr.4 Kumulativní produkce metanu

Obr.5 Obsah  $\text{CO}_2$  v bioplynu

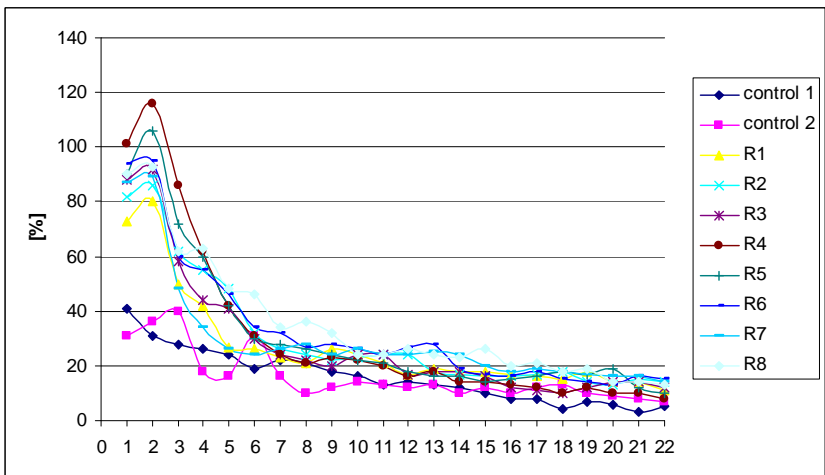
Na počátku testu byl obsah oxidu uhličitého v bioplynu velmi vysoký. To je způsobeno tím, že v reaktorech bezprostředně po uzavření zůstává kyslík. Nejprve tedy dojde k aerobnímu rozkladu, kde je hlavním produktem reakcí právě oxid uhličitý. Po vyčerpání kyslíku již probíhaly procesy anaerobně a obsah oxidu uhličitého se ustálil na průměrné hodnotě mezi 15-20 % obj.

Obr.6 Obsah  $H_2S$  v bioplynu



Sirovodík je toxický a silně reaktivní plyn, proto je jeho přítomnost v bioplynu nežádoucí z hlediska bezpečnosti provozu a ochrany zařízení. V případě velmi vysokého obsahu sirovodíku je nutné jej z bioplynu odstranit. Optimální koncentrace sirovodíku v bioplynu je pro efektivní provoz bioplynové stanice do 300 ppm. V úvodu testu jsme naměřili hodnoty výrazně vyšší. Tento problém však může být odstraněn použitím kontinuální technologie, kdy se plyn vznikající z různých fází rozkládá a koncentrace sirovodíku se tím snižuje.

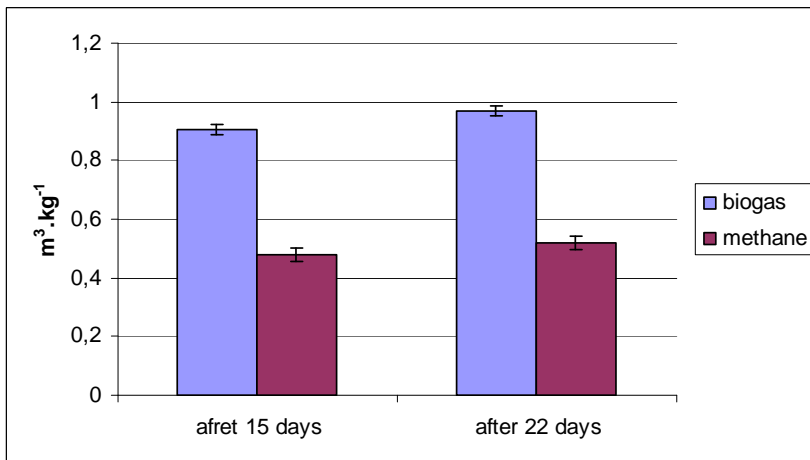
Obr.7 Obsah  $H_2$  v bioplynu





Vodík patří mezi nejcitlivější indikátory stability procesu. V bioplynu vždy signalizuje nestabilitu. V počátečních dnech byla jeho koncentrace zvýšená v důsledku přidání substrátu a zatížení systému. Následně se již proces stabilizoval a koncentrace vodíku se snížila.

Obr.8 Produkce bioplynu a metanu škrobárenských odpadů



Tab. 2 Produkce metanu a bioplynu při dávce 88 600 kg

#### Odhad produkce bioplynu po 15-ti dnech

| Dávka substrátu | Množství sušiny | Dávka sušiny | Jednotková produkce | Plánované množství |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|
| [kg]            | [%]             | [kg]         | [m³.kg⁻¹]           | [m³]               |
| 88600           | 8.65            | 7663.9       | 0.9053              | 6938.13            |

#### Odhad produkce bioplynu po 22 dnech

| Dávka substrátu | Množství sušiny | Dávka sušiny | Jednotková produkce | Plánované množství |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|
| [kg]            | [%]             | [kg]         | [m³.kg⁻¹]           | [m³]               |
| 88600           | 8.65            | 7663.9       | 0.9708              | 7440.11            |

#### Odhad produkce metanu po 15-ti dnech

| Dávka substrátu | Množství sušiny | Dávka sušiny | Jednotková produkce | Plánované množství |
|-----------------|-----------------|--------------|---------------------|--------------------|
| [kg]            | [%]             | [kg]         | [m³.kg⁻¹]           | [m³]               |
| 88600           | 8.65            | 7663.9       | 0.4779              | 3662.58            |

### Odhad produkce metanu po 22 dnech

| Dávka substrátu | Množství sušiny | Dávka sušiny | Jednotková produkce                 | Plánované množství |
|-----------------|-----------------|--------------|-------------------------------------|--------------------|
| [kg]            | [%]             | [kg]         | [m <sup>3</sup> .kg <sup>-1</sup> ] | [m <sup>3</sup> ]  |
| 88600           | 8.65            | 7663.9       | 0.5176                              | 3966.83            |

Sušina směsi škrobářenských odpadů na začátku testu byla 8,65% a obsah spalitelných látek 95,78% sušiny.

## ZÁVĚR

Na základě výsledků lze konstatovat, že škrobářenské odpady ve stanoveném množství a složení je možno využít jako substrát pro bioplynovou stanici.

Dle testů byla vypočtena průměrná produkce bioplynu na kilogram sušiny po patnácti dnech 0.9053 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> a 0,9708 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> po dvaceti dvou dnech a 0.4779 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> metanu po 15ti dnech a 0,5176 m<sup>3</sup>.kg<sup>-1</sup> po 22 dnech.

Plánovaná produkce při době zdržení 15 dní by byla 6938.13 m<sup>3</sup> bioplynu, 3662.58 m<sup>3</sup> metanu a při 22 dnech by hodnoty činily 7440.11 m<sup>3</sup> bioplynu a 3966.83 m<sup>3</sup> metanu.

Dle naměřených hodnot byla naprojektována bioplynová stanice ve dvojím provedení, obě však předpokládají roční zpracované množství vstupní suroviny 153 614 t/rok, roční množství bioplynu zpracovávané v kogenerační jednotce 2 208 968 m<sup>3</sup>/rok, roční počet provozních hodin BPS: 8 160 h/rok.

### I. varianta

Bioplynovou stanici bude tvořit ekoFermentor s integrovaným plynojemem a IC reaktorem nebo EGSB reaktorem. Kapacita zařízení je optimalizována na množství surovin. Jedná se o projekt zahrnující vybudování jednoho železobetonového fermentoru o celkovém objemu 2 713 m<sup>3</sup>, který bude zastřešen fólií. V podstatě jde o kruhovou vertiální jímku částečně zakopanou pod zem. Součástí bioplynové stanice bude předjímka a skladovací jímka na fermentační zbytek. Suroviny budou do fermentoru dávkovány z přípravné jímky, která bude využita k prvotnímu promíchání surovin a za účelem jejich čerpatelnosti zde bude sušina substrátu vyrovnána na hodnotu kolem 10-ti %. Jímka bude zhotovena z betonu a zapuštěná do země. Bude opatřena vrtulovým lopatkovým míchadlem. Strop jímky je také betonový s uzavíratelným otvorem pro její plnění. Odtud pokračuje surovina do hlavního kruhového, betonového, vertikálního fermentoru, kde dojde k mezofilní fermentaci při teplotě cca 40°C. Fermentor bude vytápěn na jeho vnitřní stěně a bude vybaven několika rychloběžnými vrtulovými míchadly, které jsou výškově a směrově nastavitelné a navíc snadno přístupné v případě poruchy. Další částí fermentoru budou montážní otvory, prostupy na čerpání a dávkování surovin.

Surovina po fermentaci pokračuje z fermentoru pro přechodné skladování do skladovací jímky, což je kruhová železobetonová, monolitická stavba. Hlavním účelem je vyrovnat objemové rozdíly

produkce fermentačního zbytku a zároveň zajišťovat plynulé zásobování čistírny odpadních vod. Součástí této jímky je kontrolní systém pro průběžnou kontrolu těsnosti nádrže a monitorovací optické signalizační zařízení. V návaznosti na skladovací jímku se zde bude nacházet stáecí zpevněná plocha sloužící jako čerpací místo pro případné nouzové čerpání výstupu do cisterny (např. při odstávce ČOV). Čerpací plocha bude vyspádovaná do sběrné šachty, která bude odkanalizovaná přímo do homogenizační jímky.

Co se týče vzniklého bioplynu - z plynojemu bude odváděn plynovým potrubím k technologii na energetické využití a to za současného odstranění jeho vlhkosti a odsíření. Následně pak plyn pokračuje k motoru kogenerační jednotky.

Kogenerační jednotka a celé soustrojí motor-generátor včetně výše zmíněných součástí budou umístěny v budově z monolitického betonu. Celá jednotka bude opatřena protihlukovým krytem, řídicím a ovládacím rozvaděčem. Přebytky bioplynu budou v případě zastavení kogenerace či náhlého přebytku, páleny na bezpečnostním hořáku (fléře).

Výsledek celého procesu, tj. tepelná a elektrická energie, se využije v této i druhé variantě přímo v areálu. Pouze 5% elektrické energie se bude distribuovat do sítě.

Tepelná energie v BPS najde své uplatnění při fermentaci, resp. ohřevu substrátu a při chlazení kogeneračních jednotek. K dispozici je v sekundárním okruhu voda o teplotě 90 °C, která musí být bezpodmínečně v rámci cirkulace chlazená na cca. 70 °C. Teplu sekundárního okruhu je možné dále využívat pro otopné soustavy.

Kogenerační jednotku tvoří generátor na výrobu elektřiny, poháněný spalovacím motorem. V tomto případě zde budou instalované dvě kogenerační jednotky o celkovém elektrickém výkonu: 650 kW.

Využíván v této variantě bude IC reaktor či EGSB, které pracují na základě anaerobního procesu čištění odpadní vody. Fermentační zbytek s organickými látkami bude z vyrovnávací a acidifikační nádrže přes mix-tank veden do spodní části anaerobního IC či EGSB reaktoru. Anaerobní reaktor zde zbylé organické látky převede na bioplyn. Tento bioplyn se následně zpracuje v bioplynové stanici.

## II. varianta

Na základě předložených podkladů o surovinách je druhá varianta navržena za využití dvou železobetonových fermentorů, jež budou pokryty plynotěsným krytem a z kopule plynojemu bude odváděn bioplyn plynovým potrubím. Součástí odvodu bioplynu do kogenerační jednotky je také proces jeho sušení a odsíření. Vnější strany fermentoru budou izolované kontaktním zateplovacím systémem a opláštěny pohledovým plechem (ve vertikálním směru). Fermentory mohou být zapuštěny celé, nebo částečně do země. Proces je jako v předchozí variantě mezofilní.

Surovina z dávkovacího zařízení postupuje do fermentoru I, kde dojde k tvorbě bioplynu a následně se bude přečerpávat do fermentoru II, ve kterém dochází ke stabilizaci fermentačního zbytku s tvorbou dalšího metanu. Fermentační zbytek pak bude putovat do skladovací jímky jako

stabilizovaný produkt bez další tvorby bioplynu a následně odváděn na místní čistírnu odpadních vod.

Kogenerační jednotka bude mít stejné opatření jako ve variantě I. Také bude opatřena řídicím a ovládacím rozvaděčem. Přebytky budou ukládány do kopolí integrovaného plynojemu a v případě naplnění těchto kopolí bude spalován na fléře, která se nachází bezpečně daleko od objektu bioplynové stanice. Ostatní podmínky jsou stejné či podobné jako ve variantě I.