

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta

DIPLOMOVÁ PRÁCE

2018

Marek Smolík

Univerzita Hradec Králové

Přírodovědecká fakulta
Katedra fyziky

METODY KONTINUÁLNÍCH MĚŘENÍ PRODUKCE BIOPLYNU V ZEMĚDĚLSKÝCH BIOPLYNOVÝCH STANICÍCH

Diplomová práce

Autor: Bc. Marek Smolík

Studijní program: Fyzikální měření a modelování

Vedoucí práce: Ing. Lidmila Hyšplerová, CSc.

Konzultanti: Doc. RNDr. Jan Kříž, PhD.
Ing. Jan Hons
Ing. Radomír Hyšpler, CSc.

Oponent: Ing. Karol Radocha, PhD.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval pod vedením vedoucího práce a konsulantů samostatně a uvedl jsem všechny použité prameny a literaturu.

V Hradci Králové dne

.....
Marek Smolík

Poděkování:

Chtěl bych poděkovat paní ing. L. Hyšplerové, CSc. za zadání zajímavého tématu a vedení a konzultantům. doc. J. Křížovi, PhD., ing. R. Hyšplerovi, CSc. a zejména panu ing. S. Honsovi za cenné rady, informace a pomoc při řešení problémů mé mezioborové práce. Můj dík patří také paní prof. A. Dołhańczuk-Śródke a panu prof. Z. Ziembikovi z katedry Biotechnologie Přírodovědno-technické fakulty Univerzity Opole za to, že se mi věnovali v průběhu mých opakovaných odborných stáží a pobytů a panu Z. Bednářovi z BPS Lhota pod Libčany a pracovníkům BPS Dříteč za nevšední ochotu při řadě mých konzultací. Mgr. J. Loskotovi děkuji za technickou pomoc při přípravě posterů pro naše účasti na odborných akcích a při přípravě společných publikací. Svě rodině děkuji za všestrannou podporu při mém studiu.

Anotace

Marek Smolík: Metody kontinuálních měření produkce bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích. Hradec Králové: Přírodovědecká fakulta Univerzity Hradec Králové, 2018. Diplomová práce, 75 s.

V práci jsou definovány základní pojmy používané v oblasti zemědělských bioplynových technologií a popsány principy měření objemu a složení bioplynu na dvou bioplynových stanicích v okolí Hradce Králové, včetně ukázek možností predikce produkce bioplynu ze zemědělských substrátů v praxi. Na závěr je uveden návrh moderního měřicího systému objemu a složení bioplynu pro zemědělské bioplynové stanice.

KLÍČOVÁ SLOVA

Anaerobní fermentace, zemědělské bioplynové stanice, produkce bioplynu ze zemědělských substrátů, kontinuální měření složení bioplynu

Annotation

Marek Smolík: Methods for continuous measurement of biogas production in agricultural biogas plants. Hradec Králové : Faculty of Science, University of Hradec Králové, 2018. Diploma Thesis. 75 s.

The thesis defines the basic terms used in the field of agricultural biogas technologies, the methods and principles of measuring the volume and composition of biogas at two agricultural biogas plants around Hradec Králové, including examples of possibilities of biogas production prediction from agricultural substrates in practice. Finally, a proposal for a modern biogas composition measurement system for agricultural biogas stations is presented.

KEYWORDS

anaerobic fermentation, agricultural biogas plants, biogas production, continuous biogas composition measurements

OBSAH:

1	ÚVOD	8
2	TEORETICKÁ ČÁST	10
2.1	Procesy anaerobní fermentace a vzniku bioplynu	10
2.2	Modelování anaerobních fermentačních procesů	14
2.3	Metody predikce výtěžnosti bioplynu ze zemědělských substrátů	18
2.4	Zemědělské bioplynové stanice	22
2.5	Měření složení bioplynu na bioplynových stanicích	26
3	ÚKOLY A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	30
4	PRAKTICKÁ ČÁST	31
4.1	Zemědělská bioplynová stanice Lhota pod Libčany.....	31
4.1.1	Technické parametry bioplynové stanice.....	31
4.1.2	Technika kontinuálních měření objemu, tlaku a složení bioplynu	35
4.1.3	Popis řídicího systému bioplynové stanice.....	40
4.1.4	Ukázka výsledků kontinuálních měření I.	43
4.1.5	Ukázka výsledků kontinuálních měření II.....	48
4.2	Zemědělská bioplynová stanice Dříteč.....	52
4.2.1	Technické parametry bioplynové stanice.....	52
4.2.2	Predikce produkce metanu BPS Dříteč květen 2018	57
4.2.3	Provozní výsledky	58
4.2.4	Predikce produkce metanu pomocí metanizačních tabulek	59
4.3	Návrh měření složení bioplynu na bioplynové stanici.....	60
5	DISKUSE A ZÁVĚRY	67
6	Použitá literatura.....	69
	PŘÍLOHY	73
I.	Seznam použitých zkratk a symbolů	73
II.	Seznam obrázků.....	74
III.	Seznam tabulek	75

1 ÚVOD

Využívání bioplynu jako způsobu získávání obnovitelné energie je považováno ve vyspělých zemích za aktivní ochranu klimatu a za technologii trvale udržitelného rozvoje. Bioplynové stanice dávají, na rozdíl od slunečních a větrných elektráren, stabilní výkon po celý rok. Ke konci roku 2017 bylo v České republice provozováno celkem 567 bioplynových stanic. Z toho bylo 382 zemědělských, ostatní jsou komunální, čistírenské a průmyslové stanice. Výzkum a vývoj v této oblasti, včetně provozních zkušeností s těmito zařízeními je v ČR v porovnání s vyspělými evropskými státy na velmi dobré úrovni.

Bioplynové stanice, které používají jako substráty produkty ze zemědělské činnosti, jsou dnes již nedílnou součástí české zemědělské výroby. Jejich „krmivem“ mohou být jak produkty pouze určené k výživě zvířat (kukuřičné siláže, travní siláže atd.), vedlejší výrobky z hlavní zemědělské činnosti (chlévková mrva, kejda, aj.) a potravinářských výrob, např. cukrovarské řízky, mláto atd. Vedle těchto typů zemědělských bioplynových stanic, u kterých je mnohdy prvotním zájmem zamezení ekologickým problémům při zemědělské prvovýrobě (např. v oblastech v blízkosti zdrojů podzemních pitných vod není možné volné skladování hnoje atd.), vzniká v poslední době řada zemědělských bioplynových stanic s prvoplánovým zaměřením na energetickou produkci. Pro Českou republiku je biomasa, díky přírodním podmínkám, bezesporu jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie. To by mělo dle záměrů přispět k tomu, aby ČR zajistila splnění cíle 13 % obnovitelné energie do r. 2020.

Existují však názory, že ekonomika těchto pouze rostlinných farem s výrobou bioplynu (a tepla) je sice lepší, ale z ekologického hlediska by zapojení nových bioplynových stanic do komplexní zemědělské činnosti mělo být preferováno. Vzhledem k poklesu rozsahu živočišné výroby však dnes již výroba bioplynu není přímým konkurentem chovu zvířat, protože s poklesem živočišné výroby poklesl i požadavek na pěstování krmných plodin. Dá se tedy konstatovat, že „výživa“ bioplynových stanic je v ČR pro zemědělské podniky především doplňkovou výrobou proměněnou na přísun finančních prostředků.

Rozvoj zemědělských bioplynových stanic je také jedním ze záměrů deklarovaných "Energetickou politikou Polska do roku 2030". Výstavba zemědělské bioplynové stanice v každé obci s vhodnými podmínkami do roku 2020 je hlavním cílem "Pokynů pro rozvoj zemědělských bioplynových stanic v Polsku v letech 2010-2020". Zejména v česko-polské přeshraniční oblasti jsou velké plochy často nevyužívané zemědělské půdy, které mohou sloužit k zásobování bioplynových stanic biomasou. Tento vývoj by měl přispět k harmonizaci společné zemědělské politiky EU.

Na obou stranách česko-polské příhraniční oblasti proto získaly obě Univerzity, konkrétně Katedra Biotechnologie Technicko-přírodovědné fakulty Univerzity Opole (WPT UO) a Katedra fyziky Přírodovědecké fakulty Univerzity Hradec Králové (PřF UHK) opakovaně dotace EU pro vzdělávání odborníků pro tyto činnosti. A to jak pro výměnné odborné stáže studentů na obou Univerzitách a v odborných firmách obou regionů, tak i pro jejich účasti na mezinárodních seminářích a konferencích.

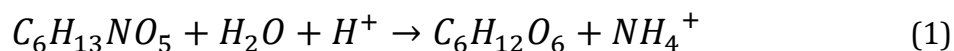
2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Procesy anaerobní fermentace a vzniku bioplynu

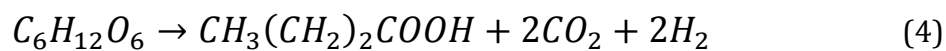
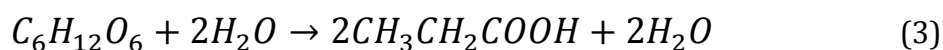
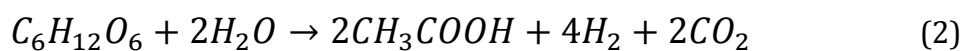
Anaerobní fermentace a vznik bioplynu je přirozený komplexní biochemický proces, který probíhá v přírodě zcela samovolně (např. na dně jezer a moří). Účastní se ho několik typů mikroorganismů bez přítomnosti vzdušného kyslíku. Produkty jedné skupiny mikroorganismů slouží jako substrát pro další skupinu. Procesy biochemické konverze jsou navzájem propojené tak, že nedochází k hromadění přechodných produktů v systému. Hlavními činiteli anaerobního procesu jsou mikroorganismy dvou biologických říší, *Bacteria* a *Archaea*.

Rozklad organických látek až na konečné produkty, metan a oxid uhličitý, vyžaduje jejich koordinovanou metabolickou součinnost. Nedostatečná aktivita jen jedné skupiny může způsobit porušení dynamické rovnováhy v celém systému a snížení účinnosti procesu či úplné zastavení fermentačního procesu, protože je produkt jedné skupiny mikroorganismů substrátem skupiny druhé. [6], [7].

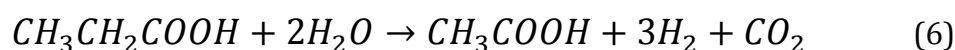
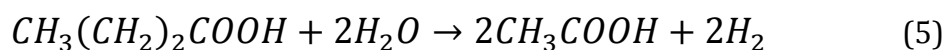
V prvním stádiu rozkladu - hydrolýze - jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, produkovaných hlavně acidogenými bakteriemi. Rozklad komplexního organického materiálu na glukózu (1) a následné konverze glukózy až na finální produkty anaerobní fermentace jsou znázorněny rovnicemi (2) až (13).



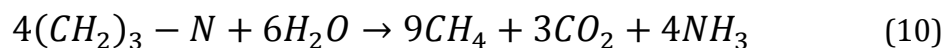
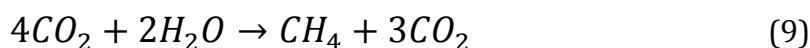
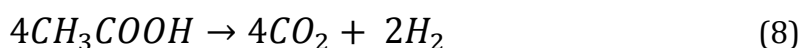
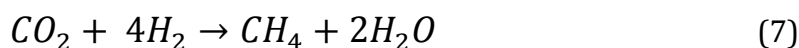
Produkty hydrolýzy, nízkomolekulární látky, jsou následně rozkládány na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO₂, H₂). Při velmi nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány hlavně kyselina octová, H₂ a CO₂, při vyšší koncentraci vodíku v systému se tvoří organické kyseliny vyšší než octová, dále kyselina mléčná, etanol apod.



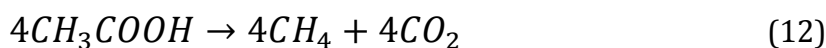
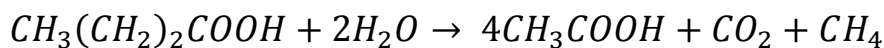
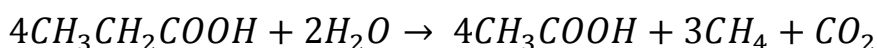
V následné fázi rozkladu - acetogenezi - probíhá oxidace vyšších produktů acidogeneze na H₂, CO₂ a kyselinu octovou. Acetogenní mikroorganismy produkující vodík rozkládají organické kyseliny vyšší než kyselina octová (hlavně kyselina propionová), alkoholy a některé aromatické sloučeniny. Zvýšení parciálního tlaku vodíku ve fermentoru způsobuje přebytek vodíku v systému a ten inhibuje činnost těchto acetogenních mikroorganismů.



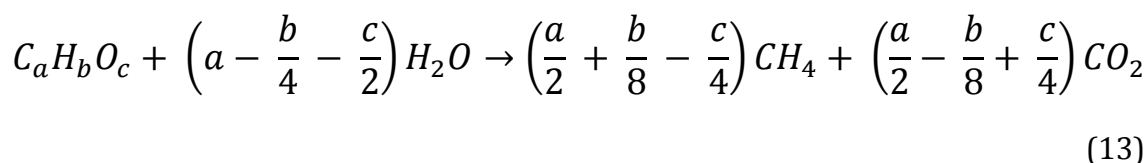
V posledním stádiu - methanogenezi - metanogení mikroorganismy rozkládají specifické substráty, což jsou některé jednoduhlíkaté látky (metanol, kyselina mravenčí, metylaminy, CO_2 , CO , H_2), z víceuhlíkatých látek pouze kyselinu octovou. Produkty rozkladu jsou metan a oxid uhličitý.



Přibližně 70% metanu je vytvořeno z kyseliny octové, zbývajících přibližně 30% metanu je vytvořeno pomocí využití vodíku.

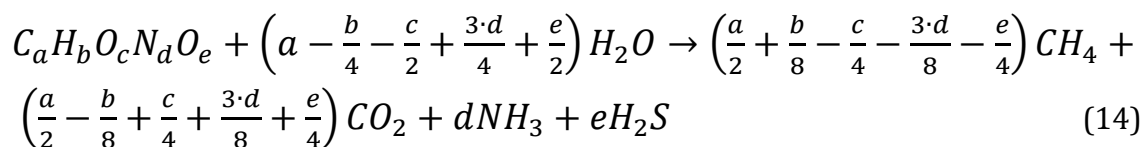


Celý proces methanizace je možné modelovat chemickými rovnicemi, a proto pro tento způsob existuje celá řada modelů. Jedná se o jednoduché výpočty, kdy je tvorba bioplynu z organických sloučenin vypočítávaná nezávisle na čase ze základního složení vstupních substrátů. Z těchto rovnic získáme pouze hodnoty pro tvorbu metanu a oxidu uhličitého. V rovnicích nejsou (vzhledem k nezávislosti na čase) nezahrnuty žádné předpoklady nebo ovlivňující faktory. Při znalosti chemického složení vstupních substrátů, pro výtěžnost metanu a oxidu uhličitého platí rovnice:



indexy a, b, c označují počet atomů jednotlivých prvků.

Model zahrnující dusík a síru umožňuje bilancovat podíl amoniaku a sulfanu ve vznikajícím bioplynu.



Při hydrolýze dochází k rozkladu polymerních materiálů (polysacharidy, tuky, bílkoviny) na mono nebo oligomery. Na rozkladu polymerních látek se podílejí extracelulární enzymy hydrolytických bakterií.

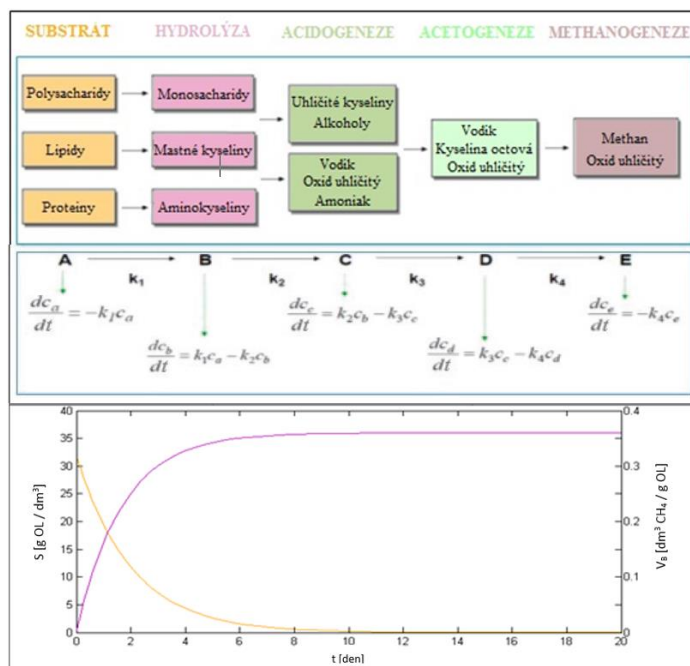
Rychlost a stupeň hydrolýzy materiálů je různý. Z cukrů jsou dobře hydrolyzovatelné hemicelulózy a celulóza, hůře pektiny a škrob vyžadující delší časové období, lignin je prakticky nehydrolyzovatelný.

Stupeň hydrolýzy bílkovin je nižší než u cukrů a často nižší ve srovnání s tuky. Hydrolýza se stává limitujícím faktorem anaerobní fermentace v případě, pokud do ní vstupují těžko rozložitelné materiály.

Acidogeneze navazuje na hydrolýzu, účastní se jí fakultativně anaerobní a obligátně anaerobní kyselinotvorné bakterie. Meziprodukty hydrolýzy jsou dále rozkládány na nižší mastné kyseliny, oxid uhličitý a vodík.

Při acetogenezi vzniká kyselina octová, elementární vodík a oxid uhličitý. Protože předchozí fáze jsou uskutečňovány fakultativně anaerobními mikrobiálními společenstvy, probíhá acetogeneze po vyčerpání kyslíku již v anaerobním prostředí. Tím se vytváří podmínky pro rovnovážný rozvoj symbiotických methanogenních mikroorganismů.

Methanogeneze je poslední fází anaerobní fermentace, produktem je bioplyn s majoritními složkami metanem a oxidem uhličitým [6], [7], [4, 21 spoluautor].



Obr. 1. Schéma čtyřstupňové methanizace organických substrátů při vsádkovém experimentu se znázorněnými kinetickými rovnicemi meziproduktů (schéma vlastní), upraveno podle [21 spoluautor].

2.2 Modelování anaerobních fermentačních procesů

Pro stabilitu procesu methanizace organických substrátů je velmi důležitá optimální rovnováha v kinetice jednotlivých fází, které probíhají různou rychlostí. Prvním a limitujícím stupněm methanizace je hydrolýza, v této fázi se určuje rychlost úbytku výchozích látek, růst mikrobiálních organismů i produkci bioplynu [6], [7].

Hydrolýzu je možné považovat za chemickou reakci prvního řádu a popsat rovnicí

$$\frac{dS}{dt} = -k \cdot S \quad (15)$$

S – koncentrace hydrolyzovaného substrátu [g/l]

t – čas [s]

k – rychlostní konstanta hydrolýzy [-]

Rychlost tvorby bioplynu a v něm obsaženého metanu souvisí s rychlostí biodegradace organických substrátů. Integrováním rovnice (15)

$$\int_{S_0}^S \frac{dS}{S} = -k \cdot \int_0^t dt \quad (16)$$

získáme vztah pro množství substrátu v čase t

$$S = S_0 \cdot e^{-kt} \quad (17)$$

S_0 – koncentrace (množství) substrátu na začátku hydrolýzy [g/l]

k – rychlostní konstanta hydrolýzy [-]

Rychlostní konstanta hydrolýzy k je závislá na místních podmínkách.

Časová závislost vývoje bioplynu z daného substrátu je analogicky popsána rovnicí

$$B = B_0 \cdot (1 - e^{-kt}) \quad (18)$$

B – výtěžek bioplynu [CH₄l/g OL]

k – rychlostní koeficient reakce 1. řádu [-]

B_0 – maximální výtěžek bioplynu z daného substrátu [CH₄l/g OL]

Jedná se o limitní hodnotu časové závislosti výtěžku bioplynu při vsádkovém experimentu [4], [7].

$$\lim_{t \rightarrow \infty} B_0(1 - e^{-kt}) = B_0 \quad (19)$$

Při matematickém modelování fermentačních procesů je vyžadována přesná definice jednotlivých fází procesu a z dostupných hodnot získat co nepřesnější

údaje o průběhu procesů a jejich výsledků. Existuje již velké množství matematických modelů pro anaerobní digesci a s každým novým poznatkem o průběhu těchto procesů se tento počet stále zvyšuje. Ke zkoumání kinetiky bioprodukce je nutné znát růst mikroorganismů, degradaci substrátu a tvorbu produktů. Růst mikroorganismů lze vyjádřit tzv. růstovou křivkou [13].

Podle druhu přísunu biomasy do fermentorů se procesy dělí na diskontinuální a kontinuální. Diskontinuální systémy se naplní pouze jednou a poté nastává proces vyhnívání po předem stanovenou dobu. Produkce metanu a degradace substrátu se mění v závislosti na čase, ale podmínky pro růst mikroorganismů zůstávají stále. Při kontinuálním procesu se substrát v reaktoru neustále doplňuje novým a starý se odvádí pryč. Bilance substrátu při obou typech procesů se dá vyjádřit jako:

$$\frac{dS}{dt} = D \cdot S_0 - D \cdot S + \frac{dS}{dt} \quad (20)$$

D – zředovací rychlost [1/h]

S – koncentrace substrátu [g/l]

Zředovací rychlost D je hlavním parametrem pro kontinuální proces. Je to obrácená hodnota k době zdržení biomasy ve fermentoru a udává dobu, za kterou se vymění celý jeho obsah. Je dána vztahem:

$$D = \frac{Q}{V} \quad (21)$$

Q – objemový přítok živin [m³/h]

V – objem reaktoru [m³]

Tzv. Monod model je nejčastěji používaným kinetickým modelem využívaným pro popsání jak substrátu, tak produktu při biologických procesech v závislosti na čase. U těchto typů modelů vycházíme z kinetiky prvního řádu, která je:

$$\frac{dX}{dt} = \mu \cdot X \quad (22)$$

X – koncentrace biomasy [g/l]

μ – specifická růstová rychlost [čas⁻¹]

Pro specifickou růstovou rychlost existuje dnes již mnoho rovnic, ale většina z nich vychází právě z Monodovy rovnice

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \quad (23)$$

μ_{max} – maximální specifická růstová rychlost pro daný mikroorganismus [čas⁻¹]

S – koncentrace substrátu [g/l]

K_S – saturační konstanta, což je koncentrace substrátu při polovině maximální hodnoty μ_{max}

Další model např. vychází také z modelu Monodova [13]. Rozdíl těchto dvou modelů je v tom, že Monodův model počítá s tím, že saturační konstanta K_S je nezávislá na hustotě buněk, kdežto v tomto modelu je definovaná K_S jako funkce hustoty buněk ($K_C \cdot X$) a tím vznikl modifikovaný model:

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_C \cdot X + S} \quad (24)$$

Dalším typem modelů jsou modely, které zahrnují inhibici. Jelikož při rozkladu vzniká i mnoho nežádoucích látek, které negativně působí na bakterie, musí se toto chování projevit i na modelech.

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{S}{K_S + S} \cdot \frac{K_i}{S + K_i} \quad (25)$$

Další model je založen na předchozím modelu s tím rozdílem, že počítá s inhibicí enzymu při vysoké koncentraci substrátu.

$$\mu = \mu_{max} \cdot \frac{1}{1 + \frac{K_S \cdot S}{S \cdot K_i}} \quad (26)$$

Tzv. modely s kinetikou substrátu vycházejí z materiálových vlastností a využívají zjednodušujícího předpokladu, že téměř veškerá část vstupního substrátu je při fermentaci rozložena na bioplyn. Modely založené na kinetice tvorby produktu pracují podobně. Na základě kinetiky degradace substrátu resp. produktu je možné modelovat i meziprodukty v jednotlivých krocích.

Proces anaerobní digesce je obvykle popisován kinetickou reakcí prvního řádu:

$$Y = Y_{max}(1 - e^{-k_1 t}) \quad (27)$$

Y – výtěžek metanu [CH_4 l/g OL]

k_1 – rychlostní konstanta reakce 1. řádu [-]

Y_{max} – maximální výtěžek metanu [CH_4 l/g OL]

Složitější modely a metody výpočtů zohledňují více proměnných, například biodegradabilitu výchozího substrátu, růstovou rychlost mikroorganismů, enzymovou kinetiku, atd.

Víc proměnných zohledňuje například Chen a Hashimotoův model pro výpočet teoretického výtěžku metanu [12].

Pro sledování kinetiky procesu anaerobních rozkladů ve fermentorech se využívá závislost mikrobiálního růstu na koncentraci suspenze a mikrobiální hmoty. Matematický popis specifické růstové rychlosti bakterií popisuje vztah:

$$\mu = \frac{\mu_m \cdot \frac{S}{S_0}}{K + \frac{(1-K) \cdot S}{S_0}} \quad (28)$$

μ – měrná rychlost růstu mikroorganismů [čas⁻¹]

μ_m – maximální měrná rychlost růstu mikroorganismů [čas⁻¹]

K – kinetický parametr [-]

S – koncentrace biologicky rozložitelného substrátu na výstupu z reaktoru [%]

S_0 – koncentrace biologicky rozložitelného substrátu na vstupu do reaktoru [%]

Kinetický parametr K může být stanoven z grafické závislosti hydraulické doby zdržení, pomocí závislosti na koncentraci substrátu na vstupu do reaktoru nebo maximální měrnou rychlostí růstu mikroorganismů a poměrné výtěžnosti metanu.

$$K = 0,6 + 0,0206 \cdot \exp(0,051 \cdot S_0 \cdot 10) \quad (29)$$

Maximální měrnou rychlost růstu mikroorganismů μ_m lze získat, podobně jako kinetický parametr K , z grafické závislosti hydraulické doby zdržení a poměrné výtěžnosti metanu, nebo na základě teplotních závislostí. Odhad hodnoty μ_m je u různých autorů rozdílný, pro výpočet byl proto zvolen nejčastěji používaný vztah dle Chena, Hasimota.

$$\mu_m = 0,013 \cdot t_r - 0,129 \quad (30)$$

μ_m – maximální měrná rychlost růstu mikroorganismů [čas⁻¹]

t_r – teplota fermentačního procesu [°C]

Objemová rychlost vývinu metanu závisí na kinetických parametrech vstupních surovin a růstu mikroorganismů a na hydraulické době zdržení. Pro odhad měrné objemové rychlosti vývinu metanu je použit vztah dle Chena a Hasimota [12]

$$V_M = V_{max} \left(1 - \frac{K}{H \cdot \mu_{max} + K - 1} \right) \quad (31)$$

V_M – produkce metanu [m³ CH₄/t OL]

V_{max} – maximální výtěžek metanu [m³ CH₄/t OL]

H – doba zdržení biomasy ve fermentoru [dny]

μ_{max} – maximální růstová rychlost mikroorganismů [den⁻¹]

K – Chen a Hashimotova kinetická konstanta [-]

$$V_{max} = \sum_i \frac{X_i V_{max_i}}{i} \quad (32)$$

V_{max_i} – maximální výtěžek metanu pro substrát daného typu [m³ CH₄/t OL]

i – počet typů substrátů [-]

X_i – i -tý hmotnostní zlomek sušiny daného typu substrátu [-]

2.3 Metody predikce výtěžnosti bioplynu ze zemědělských substrátů

K procesnímu řízení technologií anaerobních fermentačních procesů a projektování bioplynových technologií je nutné znát vlastnosti zpracovávaného substrátu a parametry produkce metanu [5].

Pro teoretické výpočty produkce a koncentrace metanu existuje několik postupů. Většina těchto výpočtů je platná pouze pro ideální podmínky a vypočítané výtěžky jsou větší, než je ve skutečnosti možné [14].

Teoretickou produkci metanu lze snadno vypočítat, jestliže známe průměrné oxidační číslo uhlíku nebo chemickou spotřebu kyslíku (CHSK) výchozího substrátu. Výpočet vychází z předpokladu, že k úplné oxidaci metanu vzniklého z daného substrátu se spotřebuje stejné množství kyslíku jako k oxidaci původního substrátu. Výtěžnost metanu je poté závislá na oxidačním stupni substrátu. Měřítkem oxidačního stupně organické hmoty je také průměrné oxidační číslo uhlíkového atomu (POXČ), které je nepřímo úměrné výtěžnosti metanu.

POXČ je úměrné teoretické spotřebě kyslíku (CHSK) dané látky vztažené na množství organického uhlíku (C_{org}).

$$POXČ = 4 - 1,5 \cdot CHSK / C_{org} \quad (33)$$

Teoretickou výtěžnost metanu lze pak spočítat dle vztahu

$$Y_{CH_4, mteor} = 0,35 [l/g] \cdot (CH_4^*, CHSK_{substrátu}) \quad (34)$$

(* - platí pro standardní podmínky, teplota 0 °C, tlak 101,3 kPa.)

Teoretická výtěžnost metanu se pak spočítá podle vztahů

$$\%CH_4 = 18,75 \cdot CHSK / C_{org} \quad (35)$$

$$\text{nebo } \%CH_4 = \frac{4 - POXČ}{8} \cdot 100 \quad (36)$$

Přítomnost akceptorů volných elektronů v oxidačně-redukčních reakcích v molekule substrátu způsobuje snížení množství elektronů pro tvorbu metanu. To následně vede ke snížení výtěžnosti metanu. Jako akceptor působí zejména dusík a síra a jejich sloučeniny, míra jejich ovlivnění je závislá na oxidačním stupni daného prvku, pro korekci výtěžnosti metanu je nutné od celkové CHSK odečíst CHSK substrátu, který je spotřebován na redukci dusíku a síry.

Reálný výtěžek metanizace zemědělských substrátů je ovšem nižší než teoretický. Výpočet vychází z hodnoty CHSK substrátu, která v sobě obsahuje část, která není biologicky rozložitelná [14].

Praktickými testy stanovení výtěžku bioplynu a koncentrace metanu ze zemědělských substrátů se zabývá řada vědeckých pracovišť. Převážná část těchto vědeckých prací se ale různí jak zvolenými metodami měření, tak podmínkami

prováděných testů. Tato skutečnost často vede k značné rozdílnosti a z toho vyplývající neporovnatelnosti získaných hodnot.

Uvedené metody jsou založeny na předpokladu, že celkový rozklad organické hmoty anaerobní digescí se nejlépe odhaduje z rychlosti produkce metanu a že rychlost produkce metanu a jeho obsah v plynu jsou srovnatelná měřítka pro posuzování průběhu procesu [7], [8].

Analýzy složení bioplynu jsou využívány k hodnocení mikrobiální aktivity a možné kontroly průběhu procesu. Výtěžkové parametry jsou nejčastěji uváděny jako objem plynu na hmotnost organické sušiny.

Fluorescenční stanovení koncentrace koenzymu F420 je jednou z dalších možností, jak přímo určit methanogenní aktivitu mikroorganismů v anaerobním procesu. Tato metoda je poměrně přesná, ale její značná náročnost na vybavení laboratoře je limitující pro větší využití v praxi [9], [10].

Nejvíce využívanými substráty na zemědělských bioplynových stanicích jsou cíleně pěstované rostlinné materiály spolu se statkovými hnojivy. Většinou jsou aplikovány v silážovaném stavu, v čerstvém stavu to jsou sezónní materiály, čerstvá seč a odpadní materiály jako např. nedožerky a podestýlka.

Silážování se provádí z důvodu zachování kvality materiálů, dlouhodobé stabilizace a snížení ztrát. Sklizeň a příprava jsou klíčové pro kvalitu používaných substrátů a následnou efektivní produkci bioplynu. Základním parametrem pro bilanci provozu bioplynové stanice je obsah sušiny a organické sušiny [11].

Obsah sušiny v substrátu slouží pro sledování spotřeby a k celkové bilanci, z hlediska odbouratelnosti není ovšem vypovídající a měrné produkce bioplynu, k tomu je potřeba sledovat také další kvalitativní parametry.

Produkce bioplynu se stanovuje experimentálně pomocí tzv. fermentačních testů. Tato metoda je spolehlivá, její nevýhodou je časová a finanční náročnost.

Na základě laboratorních a provozních pokusů bylo vytvořeno několik typů modelů pro hodnocení kvality vstupních materiálů a predikcí jejich teoretické produkce metanu [14], [15].

Laboratorními testy stanovení výtěžku bioplynu a koncentrace metanu ze zemědělských substrátů se zabývá řada pracovišť. Uvedené metody obvykle měří rychlost produkce metanu a jeho obsah v bioplynu. Pro přesnější stanovení teoretické produkce bioplynu je nutné sledovat skutečnou míru rozkladu materiálu. Za tímto účelem byly vytvořeny modely vycházející z experimentálně zjištěných výsledků pomocí fermentačních testů. Během těchto testů byla zjišťována závislost produkce metanu a kvalitativních parametrů používaných v krmivářské praxi.

Thomas Amon vytvořil model MEVM (*Methane Energy Value Model*) vycházející z Weendské krmivářské analýzy [16].

Při základním krmivářském rozboru (tzv. weendská analýza) se zjišťují voda, sušina, popel, organická hmota, dusíkaté látky, bílkoviny, dusíkaté látky nebílkovinné, tuk, vláknina a bezdusíkaté látky výtěžkové. Zbavením krmiva při teplotě 103 ± 2 °C vody zbývá sušina veškerých látek (VL). Spálením sušiny při

teplotě 550 ± 20 °C, se zoxidovala (shořela) organická hmota a zůstal popel. Organická hmota je nositelkou energie, popel zdrojem makro- i mikroelementů.

Dusíkaté látky zahrnují bílkoviny tvořené dlouhými řetězci aminokyselin, ale i dusíkaté látky nebílkovinné (peptidy, tj. kratší řetězce aminokyselin, volné aminokyseliny i jednoduché látky, např. amoniak). Předpokladem je, že dusíkaté látky krmiva obsahují v průměru 16 % dusíku. Za tuk je v krmivářské terminologii považuje nejen samotný tuk, tj. sloučenina vyšších mastných kyselin a glycerolu, ale vše, co je rozpustné v éteru, tedy také silice, pryskyřice, xantofyly, chlorofyl aj.

Vláknina je zbytek nerozpustný v kyselině a louhu. Je obsažena pouze v krmivech rostlinného původu. Zvířata nemají pro trávení vlákniny potřebné enzymy, mohou ji však rozkládat bakterie žijící v jejich trávicích traktech.

Přesnější analýza dle Van Soesta, z které vycházel i výše uvedený autor používá jednotlivé složky vlákniny, rozpustných cukrů a škrobu. Friedrich Wießbach vytvořil model, který vychází ze stanovení stravitelné složky organické sušiny.

Pro získání přibližných hodnot produkce materiálů se používají tabulkové hodnoty měrných produkcí bioplynu resp. metanu. Níže je v tabulce uvedena ukázková hodnota pro jednotlivé substráty používané na bioplynových stanicích k predikci vývoje bioplynu. Každá dobře fungující zemědělská stanice by měla mít svoje vlastní interní tabulky zpracované renomovanými pracovníky pro konkrétní danou stanici zpracovávané substráty [16].

Substrát	suš. [%]	org. suš. [%]	Bioplyn [Nm ³ /t čerstvé hmoty]	CH ₄ [Nm ³ /t ČH]	CH ₄ [Nm ³ /t org. suš]
Statková hnojiva					
Hovězí kejda	10	80	25	14	210
Prasečí kejda	6	80	28	17	250
Hovězí hnůj	25	80	80	44	250
Cíleně pěstované plodiny					
Kukuřičná siláž	33	95	200	106	340
Obilí zrno	87	97	620	329	389
Travní senáž	35	90	180	98	310
Cukrová řepa	23	90	130	72	350
Krmná řepa	16	90	90	50	350
Slunečnice	25	90	120	68	298
Čirok súdánský	27	91	128	70	286
Čirok cukrový	22	91	108	58	291
Žito na zeleno	25	88	130	70	319
Seč na zeleno					
Travní seč	12	87,5	175	105	369

Tab. 1. Měrné produkce bioplynu a metanu vybraných materiálů vhodných k výrobě bioplynu [16].

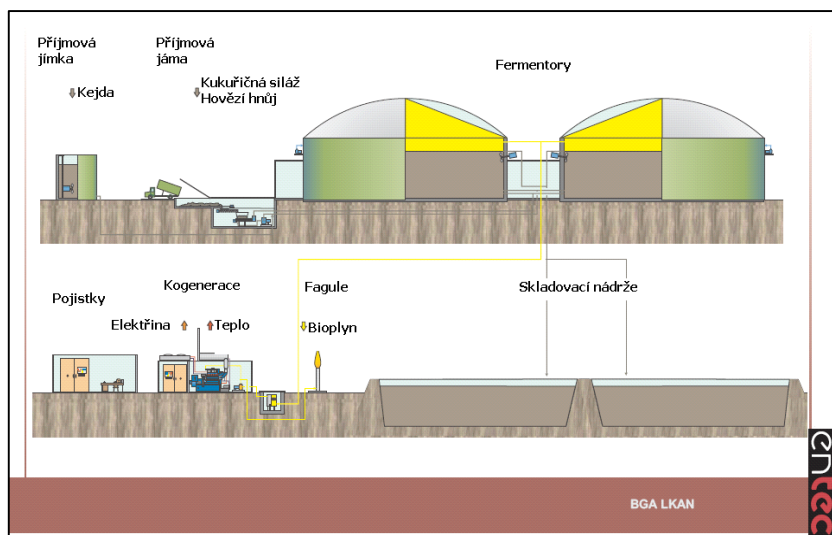
2.4 Zemědělské bioplynové stanice

První doložené experimenty s využitím bioplynu v Evropě prováděli Leonardo da Vinci a Jean-Baptiste van Helmont, kteří využívali bioplyn ke svícení. Také anglický fyzik Michael Faraday experimentoval s bioplynem. Za objevitele řízené anaerobní fermentace je považován italský fyzik A. Volta, který v r. 1776 provozoval laboratorní anaerobní fermentor se spalováním bioplynu. Využití bioplynu z čistírny odpadních vod k ohřevu vody se uvádí v nemocnici v Bombay v roce 1897. V roce 1922 čistírna odpadních vod v Essenu údajně předávala bioplyn do městské plynárny. Upravený bioplyn jako motorové palivo se začínal využívat v r. 1937 v Německu, v Itálii a ve Francii. Snahy o využívání bioplynu v Evropě ustaly s nástupem rozvoje ropného průmyslu. V Číně, Indii a dalších rozvojových zemích je provozováno několik milionů velmi jednoduchých rodinných zemědělských bioplynových stanic, které využívají na svícení a topení bioplyn z bioodpadu a fekálií [5], [7].

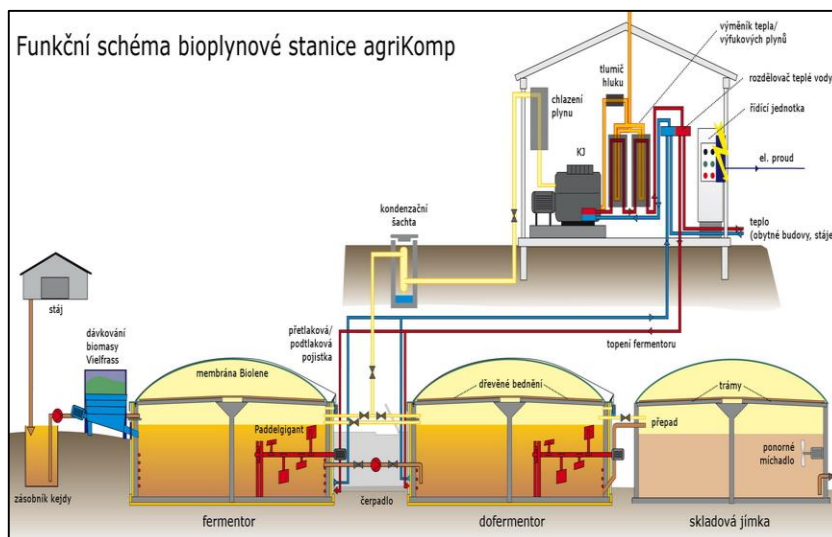
Zemědělské bioplynové stanice jsou technologická zařízení, která zpracovávají biomasu (statková hnojiva, kejda, hnůj, odpady organického původu ze zemědělských výrob, záměrně pěstované energetické plodiny, např. kukuřici) v reaktorech, tzv. fermentorech prostřednictvím řízeného procesu anaerobní fermentace (anaerobní digesce). Produktem anaerobní digesce je tzv. digestát, což je tuhý zbytek po vyhnutí, tzv. fugát, tekutý zbytek po vyhnutí a bioplyn, který je energeticky využíván. Digestát může sloužit jako kvalitní hnojivo, fugát má charakter odpadní vody a je většinou odváděn do čističky odpadních vod.

Proces řízené anaerobní digesce vyžaduje zajištění vhodných životních podmínek pro mikroorganismy. Základním předpokladem je anaerobní prostředí (bez přístupu vzduchu) s dostatečnou vlhkostí (minimálně 50 %), optimální hodnota pH (6,5-7,5) a stálá teplota.

Nejčastěji je využívána, pro nižší energetickou náročnost, tzv. mezofilní oblast (cca 38 °C). Využívání tzv. termofilní oblasti (cca 55 °C) umožňuje sice poměrně značné zefektivnění procesů, je však energeticky podstatně náročnější. Podmínkou úspěšnosti procesů anaerobní digesce je zabránění přístupu inhibitorů (kyslík, nízké pH, baktericidní léčiva, těžké kovy). Biomasa se zahřívá na provozní teplotu ve vzduchotěsném reaktoru, tzv. fermentoru, kde zůstává pevně stanovenou dobu (doba zdržení) [14], [4, 20, 22 spoluautor].



Obr. 2. Schéma vstupů a výstupů zemědělské bioplynové stanice [18].



Obr. 3. Funkční schéma zemědělské bioplynové stanice fy Agrikomp [25].

Zemědělské bioplynové stanice jsou nejrozšířenějším typem bioplynové stanice, převážně jsou zpracovávány tekuté substráty. Obsah sušiny substrátu (5–15 %) je omezen ekonomickými náklady na provoz těchto zařízení.

Při velmi nízké sušině dochází ke zvýšeným nákladům na ohřev a čerpání fermentovaného materiálu při nízké produkci bioplynu. Vysoký obsah sušiny znamená hrozbu tvorby krust a riziko nedostatečné homogenity teplotní a materiálové. Zvýšená intenzita míchání představuje preventivní opatření spočívající, které ovšem přináší zvýšení nákladů na provoz zařízení.

V současnosti jsou ve většině případů používány kontinuální technologie. Materiál je několikrát denně v pravidelných intervalech dávkován do fermentoru a stejné množství je pomocí přepadu či pump odvedeno. Je potřeba kontrolovat množství denně dávkovaných krmiv, aby nedocházelo ke zkracování doby zdržení ve fermentoru a bylo docíleno jeho maximálního využití. Diskontinuální dávkování se používá u netekuté fermentace garážového typu [7], [16].

Využívány jsou jak jednostupňové tak vícestupňové systémy. Častěji jsou využívány vícestupňové systémy v mezofilním teplotním režimu. Ve složení krmné dávky jsou zastoupeny materiály rostlinného a živočišného původu, nejčastěji kukuřičná siláž a kejda hospodářských zvířat. Fermentační zbytek z těchto bioplynových stanic se využívá jako hnojivo na zemědělské půdy [17].

Doba zdržení materiálu H udává dobu, po kterou materiál setrvává v reaktoru. H musí být zvoleno tak, aby nedocházelo k odstranění většího množství metanogenních mikroorganismů z reaktoru spolu s výstupním materiálem, než které bylo dodáno v novém substrátu nebo stačilo po tuto dobu narůst. [16].

Aby nedocházelo k nadměrnému vyplavování metanogenních mikroorganismů, je zapotřebí minimální H v rozmezí 55–75 dnů. Stupeň rozkladu substrátu je ovlivněn délkou doby zdržení materiálu ve fermentoru. Z ekonomického hlediska je nejvhodnější HRT odpovídající odstranění $\frac{3}{4}$ obsahu CHSK [8].

Bioplynová stanice s krátkou dobou zdržení materiálu v reaktoru (30–40 dnů) vyžaduje výrazně vyšší dávku v porovnání s bioplynovou stanicí s dlouhou dobou zdržení (70 a více dnů) pro dosažení stejného výkonu. Při návrhu bioplynové stanice je proto nezbytné velmi pečlivě zvolit vhodnou velikost fermentorů na substráty, které budou zpracovávány.

U vícestupňových technologií je z pohledu použité technologie dosaženo delší doby zdržení a lepšího využití materiálů. S tím souvisí i analýza kvality vstupních materiálů a výpočet jejich teoretické produkce bioplynu. S rozměry fermentorů a množstvím dávkovaných krmiv souvisí parametr zatížení organickou hmotou.

Vedle doby zdržení je zatížení reaktoru organickými látkami jedním z určujících parametrů při návrhu bioplynové stanice. Vyjadřuje množství organické hmoty denně dodané do fermentoru.

$$B_R = \frac{m \cdot c}{V_R} \quad (37)$$

B_R - zatížení organickými látkami [kg org.suš · m⁻³]

m - denní dávka materiálu [kg/den]

c - koncentrace sušiny organických látek (OL) v substrátu, někdy označované jako (*VS volatile solids*) [% org. suš.]

V_R - objem fermentoru [m³]

Pomocí fermentačních testů lze experimentálně stanovit produkci bioplynu. Tato metoda je přesná, její nevýhoda je v časové a finanční náročnosti. Na základě laboratorních a provozních pokusů bylo vytvořeno několik modelů pro hodnocení kvality vstupních materiálů a predikci teoretické produkce metanu. Bylo zjištěno přibližné složení rostlinné biomasy $C_{38}H_{60}O_{26}$. Jako první byla použita rovnice (14) viz kap. 2.1.

Modely na základě chemických rovnic udávají maximální možnou produkci bioplynu a počítají s kompletním rozkladem materiálů, který není ovšem v praxi dosažen.

Tzv. zkouška EulOS je založena na účinku enzymů (celulázy a pepsin). Parametr EulOS je srovnatelný s obsahem hrubé vlákniny, s tím rozdílem, že na místo účinku kyselin a louhu jsou zde použity trávicí enzymy.

Obsah stravitelné složky v materiálu představuje množství využitelné mikroorganismy při anaerobní fermentaci. Tento parametr má vysokou vypovídací hodnotu kvality materiálu. V porovnání s laboratorními fermentačními testy je tato metoda rychlejší a méně nákladná.

2.5 Měření složení bioplynu na bioplynových stanicích

Bioplyn produkovaný na zemědělských bioplynových stanicích obsahuje směs plynů. Tyto plyny jsou v bioplynu zastoupeny v následujících koncentracích:

metan CH ₄	-	(45-75) %
oxid uhličitý CO ₂	-	(25-55) %
vodu H ₂ O	-	(2-7) %, při 40 °C
sulfan H ₂ S	-	< 1 %
dusík N ₂	-	< 5 %
kyslík O ₂	-	< 3 %
vodík H ₂	-	< 1 %

Výhřevnost bioplynu je v intervalu 18-26 MJ/m³, závisí na obsahu metanu. 100 % CH₄ má výhřevnost 35,8 MJ/m³, bioplyn s 55 % CH₄ má 19,7 MJ/m³, zemní plyn má 33,5 MJ/m³. Výbušná koncentrace metanu se vzduchem je 5-15 %.

Minoritními složkami bioplynu jsou potom sulfan, který je v bioplynu zastoupen v intervalu hodnot (0,1 – 1 % obj.), amoniak (stopová množství), těkavé organické látky C₂ - C₆ a další sloučeniny, např. na bázi křemíku (tzv. siloxany). Metan je hlavní spalitelnou složkou bioplynu.

Předpokladem pro správné řízení procesu výroby bioplynu a předcházení problematickým situacím je průběžné sledování kvality výsledného produktu. Z hodnot obsahu metanu, oxidu uhličitého, kyslíku, vodíku, sirovodíku či amoniaku a jejich vývoje je možné poměrně jednoduše vysledovat, co se ve fermentoru děje a jakým způsobem případně anaerobní digesci vhodně upravit.

Kvalitní kontinuální měření složení bioplynu je významné pro zvýšení účinnosti procesu metanizace zemědělských substrátů.

Jedním z produktů, které jsou vhodné pro analýzu bioplynu a efektivní řízení výroby, může být například Air LF, analyzátor od společnosti ASEKO. Je vysoce odolný a dodává stabilně měřená data. Monitorování a porovnávání dat je podpořeno možností připojení do cloudu air.aseko.cz [19].

Aseko Detection System (ADS) je určen pro detekci a kontinuální měření koncentrace toxických a výbušných plynů a par v rozmezí koncentrací desítek až tisíců ppm. Pro měření jsou využity elektrochemické, katalytické nebo infračervené senzory.

Elektrochemické senzory pracují v podstatě na principu palivových článků, v nichž na pracovní elektrodě jsou molekuly detekované látky oxidovány nebo redukovány a na opačné elektrodě dochází podle typu reakce ke spotřebě nebo vývoji kyslíku. Jejich hlavní předností je vysoká citlivost, vynikající selektivita a lineární závislost odezvy na koncentraci. Nevýhodou je jejich kratší životnost, která se v průměru pohybuje kolem dvou let.

Infračervené senzory fungují na principu nedisperzní infračervené spektroskopie a na rozdíl od dříve uvedených typů jsou použitelné na velmi širokém rozsahu koncentrací.

Detekčními prvky systému ADS jsou snímače koncentrace s proudovým výstupem 4-20 mA, který může uživatel zpracovat sám, nebo lze použít ústřednu ASIN ACU, která snímače napájí a výstup převádí na jeden až čtyři reléové výstupy.



Obr. 4. Detail desky tištěných spojů pro čidlo metanu [19].

Kalibrace analyzátoru Air LF se provádí kalibračním plynem, který se z firmy dopravuje pomocí speciálního vaku.



Obr. 5. Vak s kalibračním plynem fy ASEKO [19].



Obr. 6. Obrázek analyzátoru Air LF fy ASEKO [19].

Výhodami analyzátoru Air LF jsou kompaktní design, jednoduché a snadné připojení, dotykové ovládání, snadná kalibrace, kompaktní rozměry (500 x 300 x 155 mm, případně laboratorní design 500 x 155 x 400 mm) a zejména unikátní ASEKO lineární NDIR technologie. Přístroj obsahuje rovněž prachový filtr, průtokoměr, regulátor průtoku či detektor kondenzátu. Analyzátor nyní umožňuje měření koncentrace maximálně šesti složek bioplynu a to CH_4 , CO_2 , O_2 , H_2S , H_2 a NH_3 .

Měřené hodnoty jednotlivých složek jsou zobrazeny na displeji a na výstupních konektorech je k dispozici signál 4-20 mA a RS485. Analyzátor je také vybaven možností připojení k síti LAN pro dálkový dohled servisního technika [19].

TECHNICKÉ ÚDAJE			
Měřené plyny	CH ₄ , CO ₂ , O ₂ , H ₂ S, H ₂ , NH ₃	Výstup chybových hlášení	Vniknutí kondenzátu
Princip měření			Nedostatečný průtok
Infračervený	metan, oxid uhličitý,		Porucha IR systému
Elektrochemický	kyslík, sulfan, vodík, amoniak	Průtok plynu	cca 50 l/h
Rozsah		Opakovatelnost měření	2% F.S.
Metan	0 – 100 %	Doba náběhu po zapnutí	20 min.
Oxid uhličitý	0 – 100 %	Rychlost odezvy 90%	max. 40 s
Kyslík	0 – 25 %	Klimatická odolnost	0 až 40 °C
Sulfan	0 – 2 000 ppm	Životnost senzoru	
Vodík	0 – 2 000 ppm	metan, oxid uhličitý, kyslík	4 roky
Amoniak	0 – 2 000 ppm	sulfan, vodík, amoniak	cca 2 roky
Zobrazení	Dotykový displej 120 x 80 mm	Napájení	230 V, 50 Hz, 50 W
Výstup	4-20 mA, RS485, LAN, USB	Rozměry (v x š x h)	300 x 500 x 155 mm
		Hmotnost	cca 10 kg

Tab. 2. Technické údaje analyzátoru Air LF fy ASEKO [19].

Analyzátor je velice vhodným a žádoucím doplněním vybavení bioplynové stanice, které umožní optimalizovat její provoz a ekonomiku.

3 ÚKOLY A CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

Úkolem diplomové práce je popsat procesy anaerobní fermentace organických substrátů a vzniku bioplynu a matematické vztahy pro modelování anaerobních fermentačních procesů, uvést metody predikce výtěžnosti bioplynu ze zemědělských substrátů a vysvětlit a objasnit odlišná poslání a funkce ekologicky a energeticky zaměřených zemědělských bioplynových stanic (BPS).

Jedna ze sledovaných zemědělských BPS by měla být zapojena do komplexní zemědělské činnosti s kladením důrazu na zamezení ekologickým problémům při zemědělské prvovýrobě. Vzhledem k tomu, že pro Českou republiku je díky přírodním podmínkám biomasa jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie, druhá sledovaná zemědělská bioplynová stanice by měla být zaměřena prvoplánově na energetickou produkci.

Cílem práce je u obou sledovaných zemědělských BPS popsat jejich technické parametry, jejich řídicí systémy a techniku kontinuálních měření objemu, tlaku a příp. složení bioplynu, včetně ukázek výsledků kontinuálních měření a způsobů výpočtů predikce produkce bioplynu a metanu.

Pro energeticky zaměřenou bioplynovou stanici, kde většinou složení bioplynu nebývá sledováno, navrhnout systém pro měření složení bioplynu včetně předběžné cenové kalkulace jako významný prostředek pro intenzifikaci výroby bioplynu a zvyšování obsahu metanu.

Texty v teoretické i praktické části práce by měly být zpracovány takovým způsobem, aby mohly sloužit jako součást studijních podpor pro studenty při jejich exkurzích a odborných praxích na bioplynových stanicích v přeshraniční česko-polské oblasti.

4 PRAKTICKÁ ČÁST

4.1 Zemědělská bioplynová stanice Lhota pod Libčany

4.1.1 Technické parametry bioplynové stanice

Bioplynová stanice Lhota pod Libčany je součástí Agrodružstva Lhota pod Libčany, které se věnuje podnikání v zemědělské prvovýrobě. Rostlinná výroba obdělává výměru cca 2900 ha. Rozhodujícími plodinami jsou pšenice ozimá, ječmen ozimý i jarní, řepka ozimá, kukuřice, cukrová řepa, vojtěška a mák. Živočišná výroba je zaměřena na produkci mléka, cca 1400 kusů skotu.

Bioplynová stanice FARMTEC je v provozu od konce roku 2010 a součástí její instalace je i výroba elektřiny pro vlastní potřebu a nadprodukce pro prodej silové elektrické energie. V této technologii se jako vstupní biomasa využívá hlavně odpad z živočišné výroby ustájení skotu (kejda), z produkce kukuřičné výroby (kukuřičná siláž, senáž) a v menším poměru odpad z cukrovarů (vyslazené cukrovarské rýzky). Elektrický výkon BPS je cca 660 kW/h elektrické energie a zhruba stejný výkon je u produkce tepelné energie. Odpadní teplo se využívá prostřednictvím výměníků tepla k vytápění celého areálu družstva a to hlavně v zimním období. Ve vegetační době rostlin je teplo využito ve dvou instalovaných sušárnách.

Na technologii BPS je celá řada zabezpečovacích prvků, které pracují automaticky, včetně odpojení kogenerační jednotky od sítě a zastavení produkce elektrické energie. Odpojení kogenerační jednotky je možné i dálkově od odběratele elektrické energie. Při překročení povolených emisních limitů technologie, nebo během poruchy na kogenerační jednotce dochází k pálení bioplynu na instalované fléře, kdy spaliny odcházejí přímo do ovzduší.

Stavba bioplynové stanice, s plánovaným výkonem 537 kW/h – elektrické energie probíhala v období jaro až podzim 2010. Zkušební provoz celé technologie BPS byl spuštěn 27. 11. 2010. Generálním dodavatelem celé stavby byla firma Farmtec a.s., výrobcem technologie bioplynové stanice je Biogest energie – und Wassertechnik GmbH Austria. Od dubna 2011 byl krátkodobě navýšen výkon vyprodukované elektrické energie na 600 kW/h, ale z důvodu přehřívání technologie kogenerační jednotky, se výkon ustálil na hodnotě kolem 570 kW/h [23].



Obr. 7. BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany, foto [9] spoluautor.

Technologie bioplynové stanice:

Fermentor, na principu tzv. kruh v kruhu představuje spojené nádoby. Použitým stavebním materiálem je armovaný betonový skelet.

Hlavní fermentor (vnější) je objemově konstruován na 2 280 m³ substrátu.

Dofermentor (vnitřní) umožňuje dodatečné dávkování kejdy. Tato možnost je využita v případě přebytku kejdy a nedostatku její skladovací kapacity, nebo v případě nutnosti podpory činnosti BPS pro udržení kontinuity výroby bioplynu.

Pro zajištění přeměny dávkovaných materiálů na bioplyn je nutná celková doba zdržení substrátu 70 dnů, kdy 35 dnů je doba zdržení v hlavním fermentoru a 35 dní je doba zdržení v dofermentoru. Dávkování pevné části vstupního substrátu (kukuřičná siláž, senáž, cukrovarské řízky apod.) se provádí přes dávkovač pevného substrátu umístěného na začátku technologie. Každou hodinu se kolem 10 minut dávkuje vstupní substrát (cca 1 tuna) do hlavního fermentoru. Obsluha bioplynové stanice naváží pevný substrát pomocí nakladače do dávkovače, kde dochází k základnímu promíchání. Dávkování kapalného vstupního substrátu (kejdy) se provádí pomocí dopravních čerpadel z příjmové jímky (zásobník na kejdu je konstruovaný jako betonová jímka o objemu 85 m³). Z této jímky je každé 2,5 hodiny dávkováno zhruba 6 m³ kejdy do fermentoru. Množství dávkovaného objemu všech vstupních substrátů je prováděno automaticky a je závislé na množství produkovaného bioplynu. Aby technologie měla ideální podmínky na přeměnu substrátu na bioplyn, je ideální sušina substrátů kolem 7 %. Při jejím zvýšení nad 8 % provádí obsluha bioplynové stanice jednorázově ředění dešťovou vodou v množství zhruba 200 m³ a to do hlavního fermentoru. Ve fermentoru je instalováno celkem 5 míchadel. V hlavním fermentoru jsou 3 míchadla a v dofermentoru se nachází 2 míchadla. Tato míchadla jsou v automatickém provozu a jejich náběh začíná cca 10 minut před dávkováním substrátu a končí

přibližně 12 minut po dokončení dávkování. Doba míchání vychází z potřeby udržení ideální homogenity substrátu. Celková doba chodu míchadel za jeden den se pohybuje okolo 9 hodin.

Produkce bioplynu (90 %) vzniká v hlavním fermentoru a 10 % produkce se vytváří v dofermentoru. Odcházející substrát z dofermentoru neboli (digestát) je uskladňován v meziskladu, který je konstruován na 95 m³. Z meziskladu je digestát čerpán do separátoru, kde se odděluje pevná část a kapalná část. Pevná část – separát – má obsah sušiny kolem 20 %. Z části je používán zpět jako stelivo, z části se aplikuje na pole rozmetadly na hnůj jako hnojivo. Kapalná část – fugát – má obsah sušiny kolem 4 % a shromažďuje se ve výtokové jímce o objemu 115 m³, odkud je přečerpáván do koncového skladu. Tento sklad o celkovém objemu 9 000 m³ by měl pokrýt půlroční produkci fugátu. Výstupní substrát (fugát, separát) z bioplynové stanice je velice kvalitní hnojivo.

Pod pojmem ostatní jsou procentuálně nevýznamné vstupní složky jako např. mláto, nedožerky, šrot, cibule apod. Je zde znázorněna celková roční (denní) bilance spotřebovaného množství substrátu.

Bioplyn vyprodukovaný bioplynovou stanicí je skladován v zásobníku bioplynu, který objemově pojme cca 600 m³. Ze zásobníku je bioplyn čerpán do regulační soustavy s měřením průtoku a tlaku do kogenerační jednotky a zde je přeměněn na elektrickou energii (600 kW/h) a tepelnou energii (kolem 608 kW/h). Zmíněná tepelná energie vzniká jednak udržováním konstantní teploty spalovacího motoru pomocí chladicí soustavy (asi 300 kW/h), tak i odchodem spalinových plynů (kolem 308 kW/h) v přibližné teplotě 440 °C. Tepelná energie, která vzniká chlazením spalovacího motoru, se využívá k ohřevu technologie vlastní BPS, k vytápění budov a v sušárně zemědělských komodit [24].

Tepelnou energii ze spalinových plynů lze dále využít (díky spalinovému výměníku) pro dodání tepla buď k sušení, nebo k ohřevu TUV.

Srdcem kogenerační jednotky je zážehový, vodou chlazený, dvanáctiválcový, plynový čtyřtákní motor MWM Deutz, s obsahem válců 26 litrů a jmenovitým výkonem 850 Hp (přibližně 650 kW). Provozní otáčky jsou automaticky udržovány na hodnotě 1 500 za minutu. Plnění palivovou směsí se provádí pomocí turbomíchadla. Kogenerační jednotka spotřebovává kolem 280 m³ bioplynu za hodinu. Rezerva zásobníku bioplynu je tedy cca na dvě hodiny provozu.



Obr. 8. Kogenerační jednotka Agrodružstva Lhota pod Libčany,
foto [9] spoluautor.

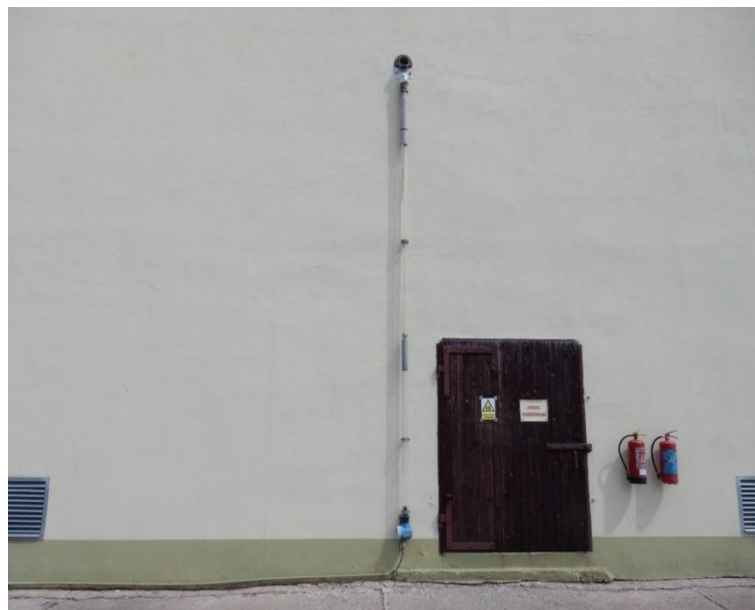
4.1.2 Technika kontinuálních měření objemu, tlaku a složení bioplynu

Měření objemu plynu v plynojemu

Objem plynu v plynojemu je měřen pomocí mechanického systému měření výšky „ H “ plynového vaku. V závislosti na naplnění vaku plynem se mění výška H , která je pomocí lanka a převodů převedena vně plynojemu do měřícího stavoznaku. Ve stavoznaku je na konci lanka upevněno závaží, které ukazuje výšku H úměrnou naplnění vaku. Převod polohy závaží na elektrický signál zajišťuje ultrazvukový snímač polohy umístěný v dolní části stavoznaku. Do řídicího systému (PLC) je veden proudový signál 4-20 mA reprezentující rozsah polohy závaží 0-100 %.

Ultrazvukový snímač polohy je od firmy Endress Hauser

Typ Prosonic M, FMU 40

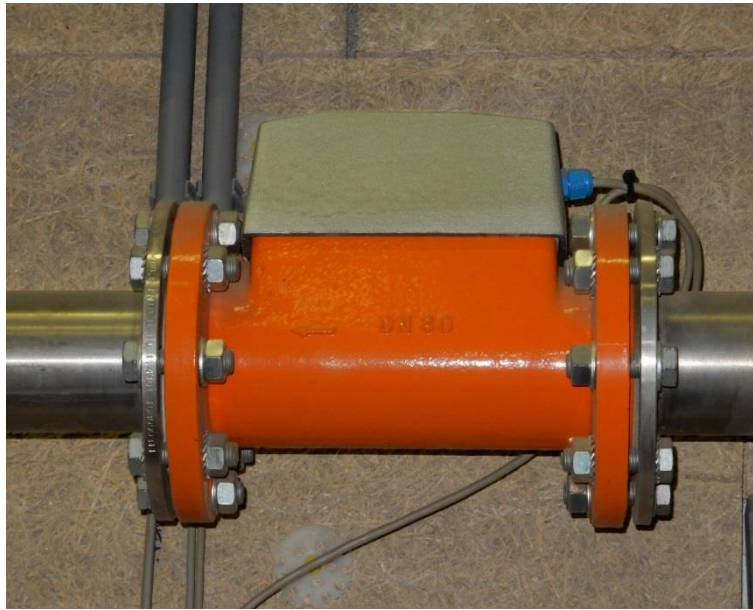


Obr. 9. Stavoznak, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].

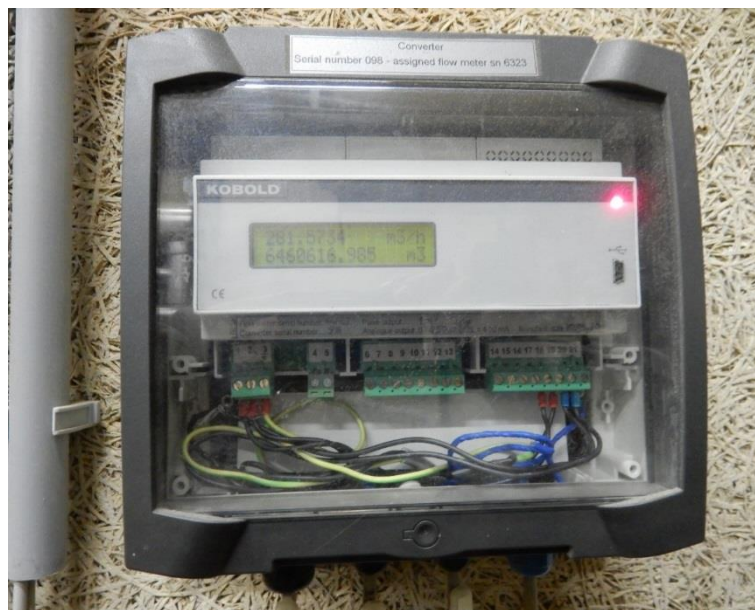
Měření množství a průtoku plynu do generátoru

Množství a průtok plynu do generátoru je měřen průtokoměrem KOBOLD. Průtokoměr poskytuje spojitý signál okamžitého průtoku v rozsahu 0-700 m³ a sumační signál množství 1 m³/impuls.

Průtokoměr je tvořen snímací částí v potrubí v dimenzi DN80 a vyhodnocovací jednotkou v odděleném provedení. Do řídicího systému je zaveden spojitý signál 4-20 mA okamžitého průtoku a impulsní signál pro čítání proteklého množství. Průtokoměr je od firmy KOBOLD. Snímací část DN80, jednotka převodníku GVPA 300 Gexia.



Obr. 10. Těleso průtokoměru, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].



Obr. 11. Převodník průtokoměru, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
[foto vlastní].

Měření tlaku plynu v jímací soustavě a v plynojemu

Tlak plynu je měřen snímačem tlaku DELTABAR S. Odběrovým místem je přívodní potrubí plynu do plynojemu. Z odběrového šroubení s uzavíracím ventilem instalovaného do potrubí je tlakový signál veden hadičkou do měřící cely tlakoměru. Proudový spojitý signál 4-20 mA v rozsahu -10 mbar až 10 mbar je zapojen do řídicího systému.

Snímač je proveden z hlediska prostředí s nebezpečím výbuchu s vnitřním zajištěným obvodem. Z tohoto důvodu je proudový signál do řídicího systému zaveden přes bezpečnostní bariéru (Ex), která zajišťuje jiskrovou bezpečnost měřícího okruhu.

Tlakoměr je od firmy Endress Hauser, typ Deltabar S, PMD75



Obr. 12. Tlakoměr, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].

Měření složení plynu.

Na bioplynové stanici je pro kontrolu složení plynu osazen analyzátor BC50 od firmy CHEMEC. Analyzátor pracuje s měřícím systémem na IR principu. Je vybaven přívodem plynu s odlučovačem vlhkosti, filtrem mikročásteček a rotametrem s regulací průtoku. Vlastní „BiogasController“ obsahuje řídicí jednotku s analogovými výstupy měřících signálů jednotlivých složek a zobrazovací panel s naměřenými údaji.

Do řídicího systému jsou napojeny následující analogové měřící signály:

1. Obsah CO_2 – 4-20 mA/0-50 % Vol
2. Obsah H_2S – 4-20 mA/0-2000 ppm
3. Obsah O_2 – 4-20 mA/0-21 % Vol
4. Obsah CH_4 – 4-20 mA/0-100 % Vol

Do řídicího systému jsou napojeny následující digitální signály:

1. Suma chyb
2. Nová hodnota měření k dispozici
3. Měřící větve netestovat nebo kalibrovat



Obr. 13. Analyzátor plynu, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].

4.1.3 Popis řídicího systému bioplynové stanice

Řídicí systém bioplynové stanice je tvořen sestavou PLC od firmy B+R a vizualizační operátorskou stanicí. PLC je modulární systém z řady X20. Je tvořen centrálním systémem pro měření a řízení akčních členů a periferním systémem pro ovládání silové části.

PLC sestava centrálního systému:

CPU CP1484 s procesorem Celeron, 32MB DRAM a 1MB SRAM

Jednotka analogových vstupů AI-4622 6 ks

Jednotka analogových výstupů AO-2622 2 ks

Jednotka digitálních vstupů DI-9371 7 ks

Jednotka digitálních výstupů DO-9322 4 ks

Jednotka propojení sběrnice BT9100

Kapacita centrálního systému je 24 AI, 4 AO, 84 DI, 48 DO

PLC sestava periferie v silové části:

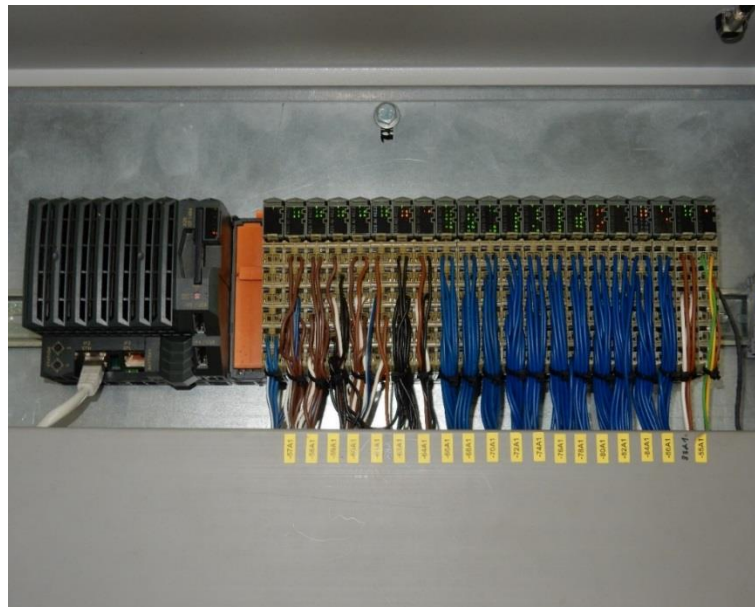
Jednotka analogových vstupů AI-4622 1 ks

Jednotka digitálních vstupů DI-9371 2 ks

Jednotka digitálních výstupů DO-9322 1 ks

Jednotka propojení sběrnice BR9300

Kapacita periferního systému je 4 AI, 24 DI, 12 DO



Obr. 14. PLC B+R, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].

Operátorská stanice:

Řídicí systém je ve velínu vybaven operátorskou stanicí s vizualizačním systémem. Na obrazovce je přehledné technologické schéma se zobrazením měřených hodnot a stavu akčních členů a pohonů. Dále jsou zde k dispozici dílčí panely pro nastavení parametrů automatického režimu, trendy a poruchová hlášení.

Systém je doplněn GSM modulem pro vysílání poruchového stavu formou SMS.

Komunikace řídicího systému:

Hlavní komunikační linií je Ethernet, po kterém vzájemně komunikuje PLC s vizualizací a s modemem pro připojení na internet. GSM modul komunikuje s operátorskou stanicí po sériové lince RS 232.

Systém umožňuje propojení s vnějším světem formou SMS hlášení a předávání dat po internetu na tablet operátora.

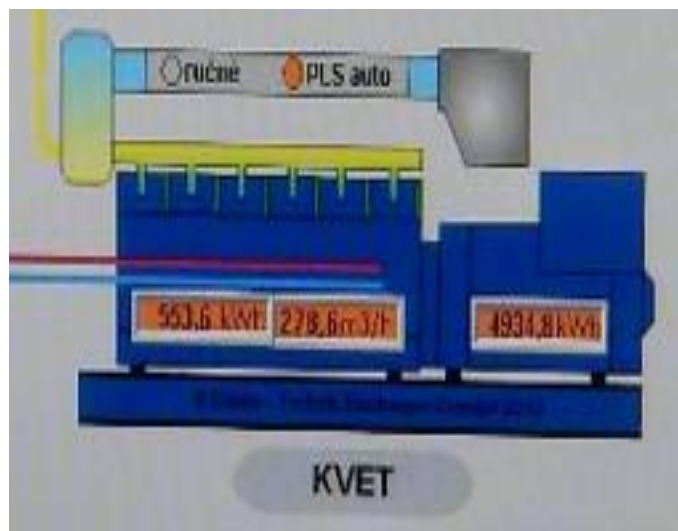


Obr. 15. Operátorská obrazovka, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany [foto vlastní].

Na obrazovce jsou ve střední části údaje o objemu plynu v ZP (zásobníku plynu) a údaje z analyzátoru plynu. Spotřeba plynu je zobrazena v dolní části generátoru KVET.

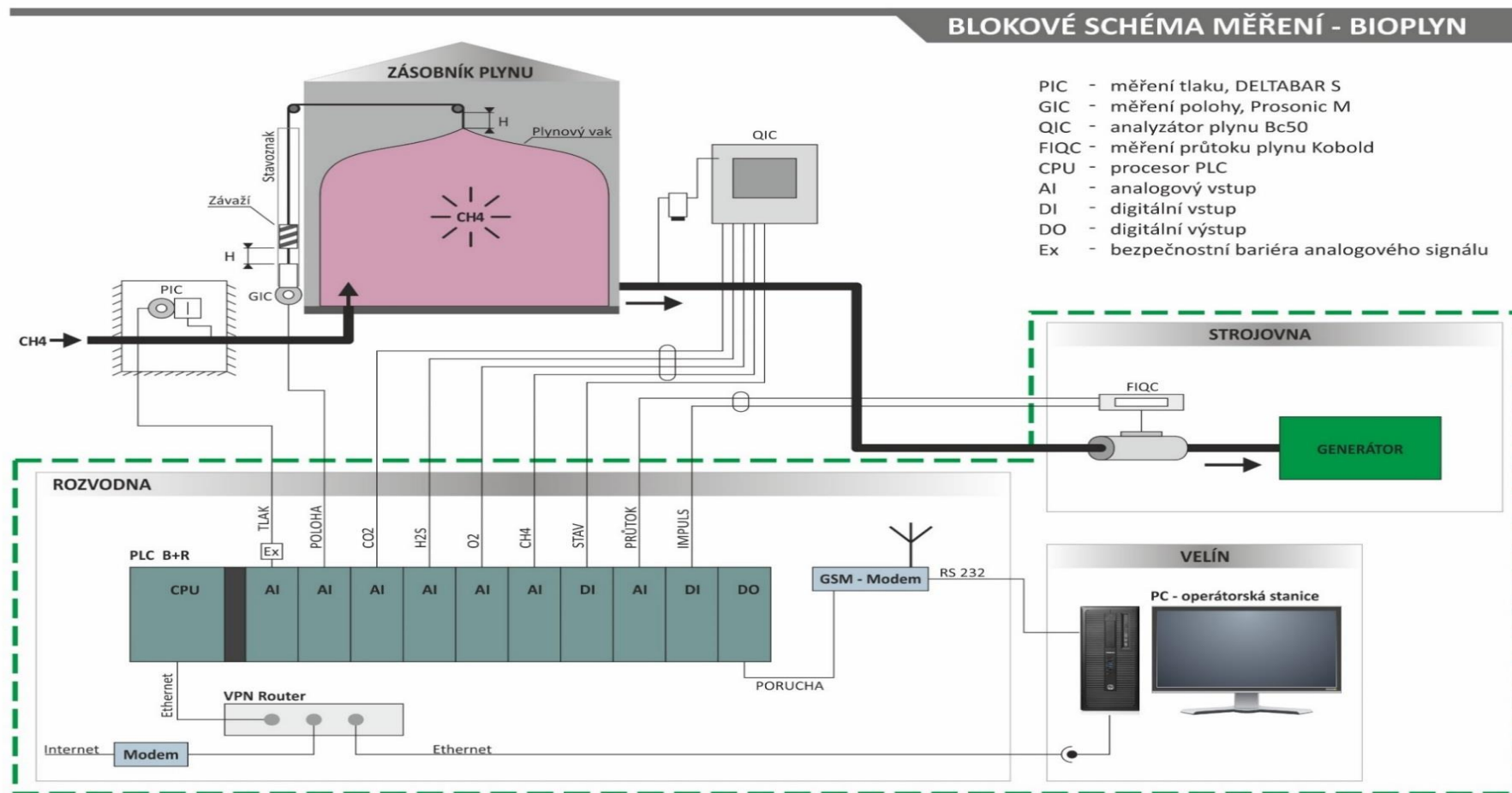


Obr. 16. Výřez operátorské obrazovky - zásobníku plynu BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany.



Obr. 17. Výřez operátorské obrazovky - spotřeba plynu v dolní části generátoru KVET BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany.

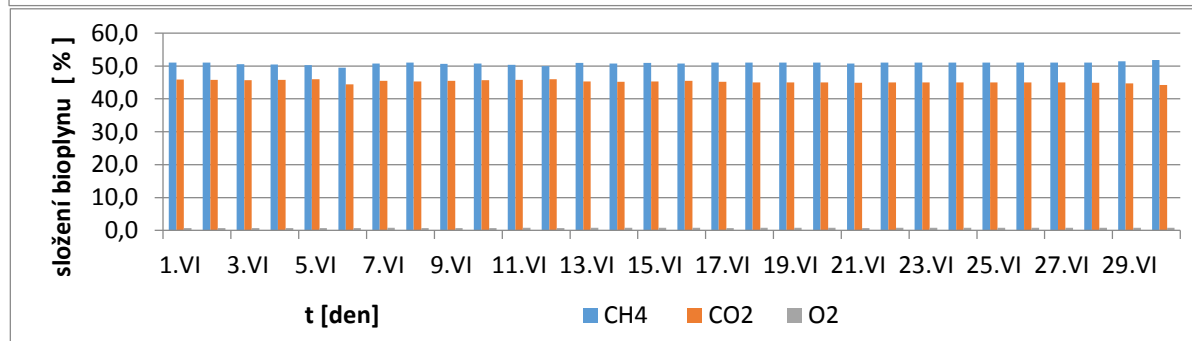
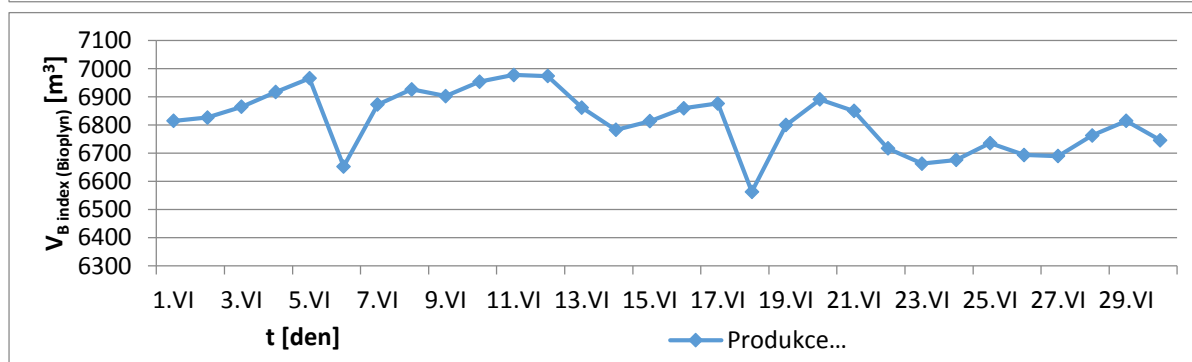
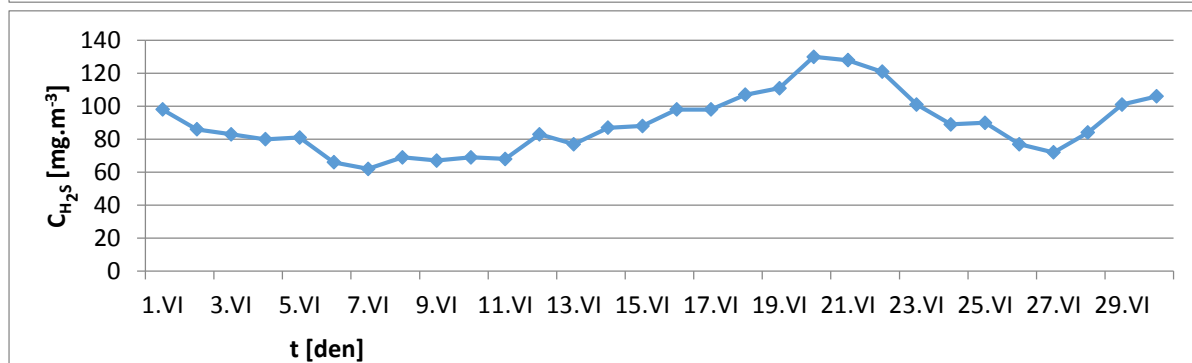
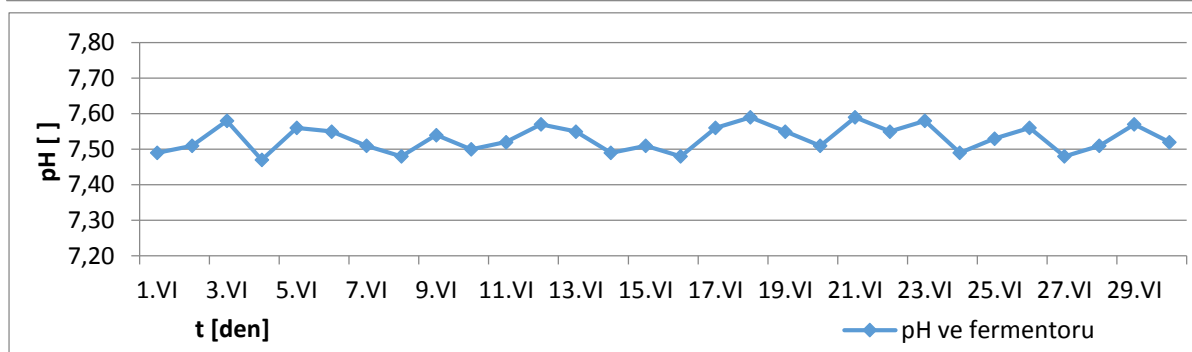
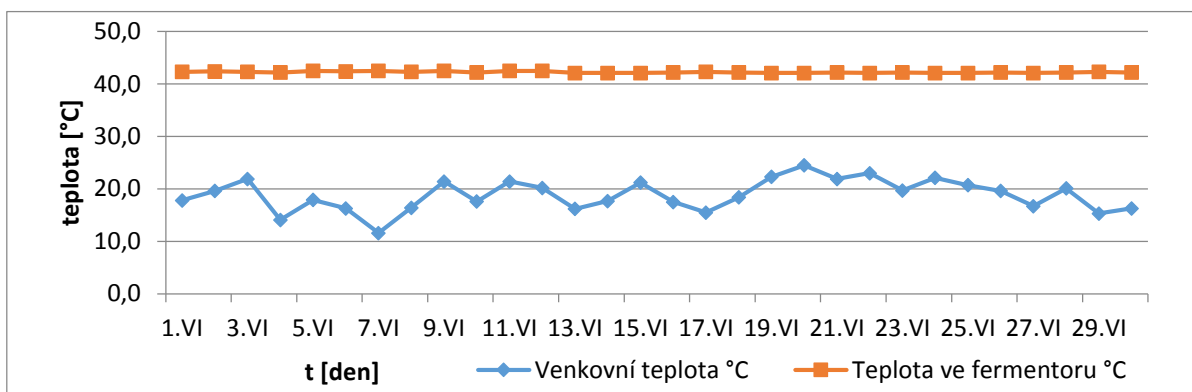
Blokové schéma měření



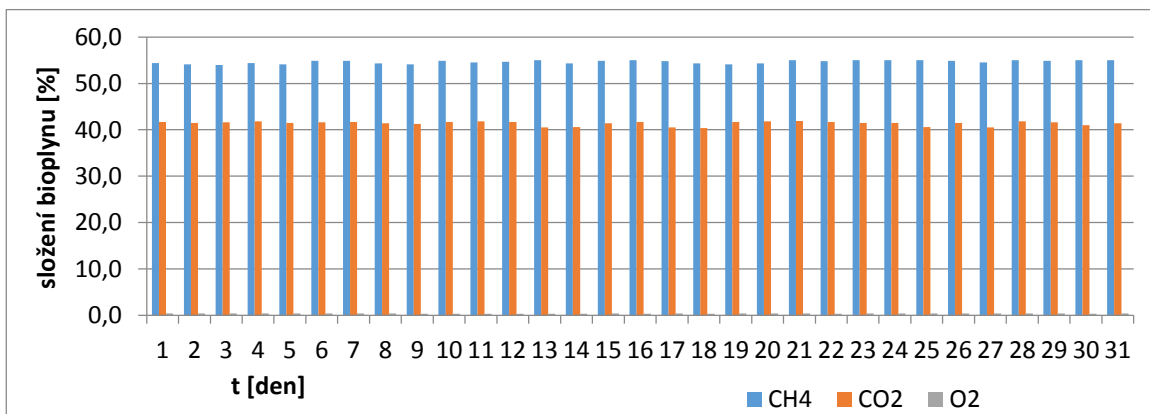
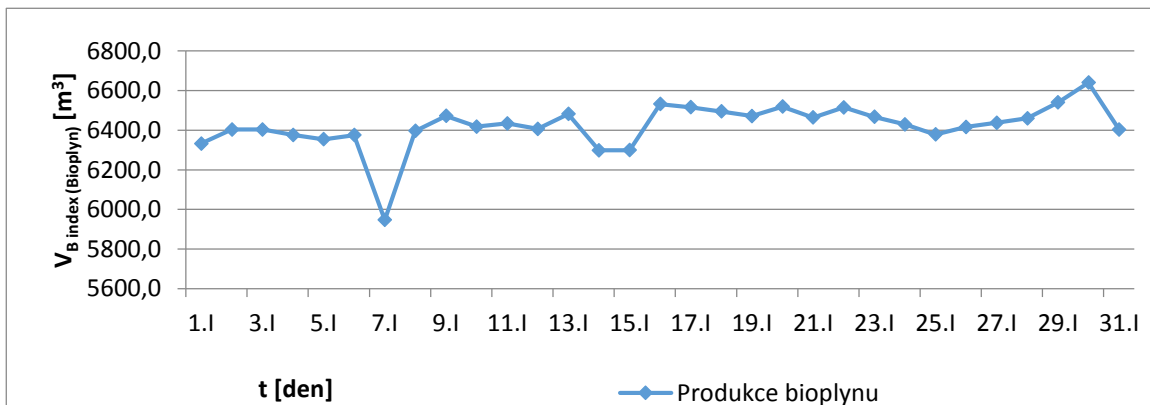
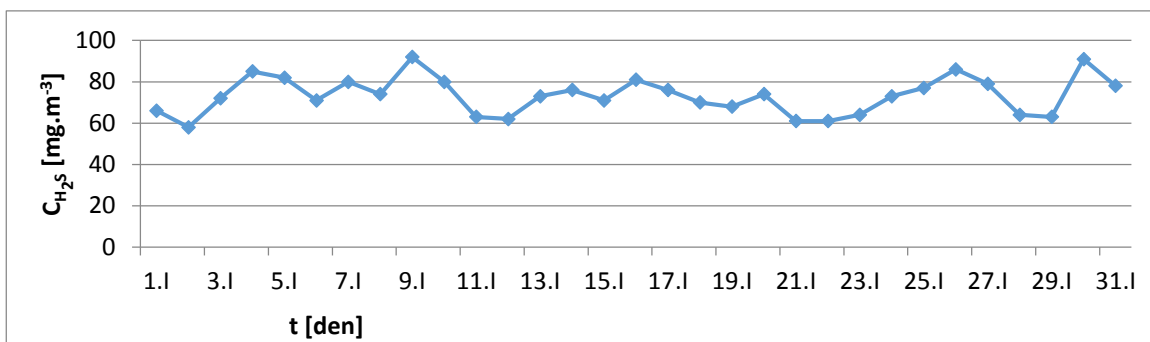
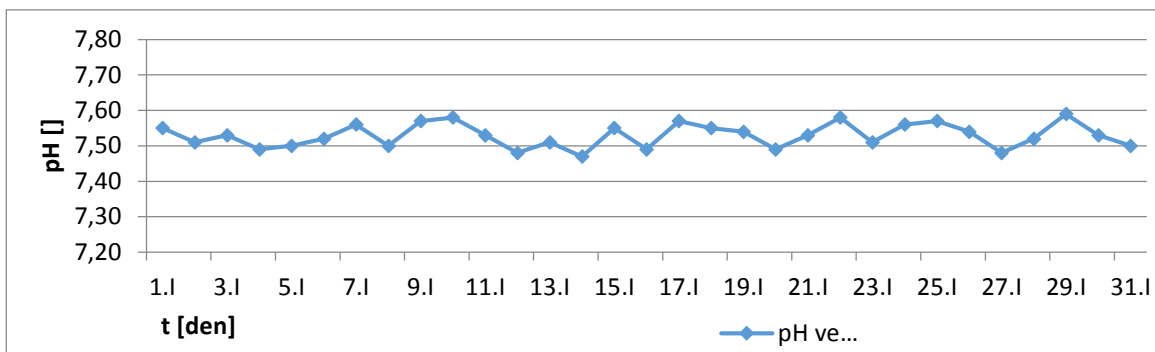
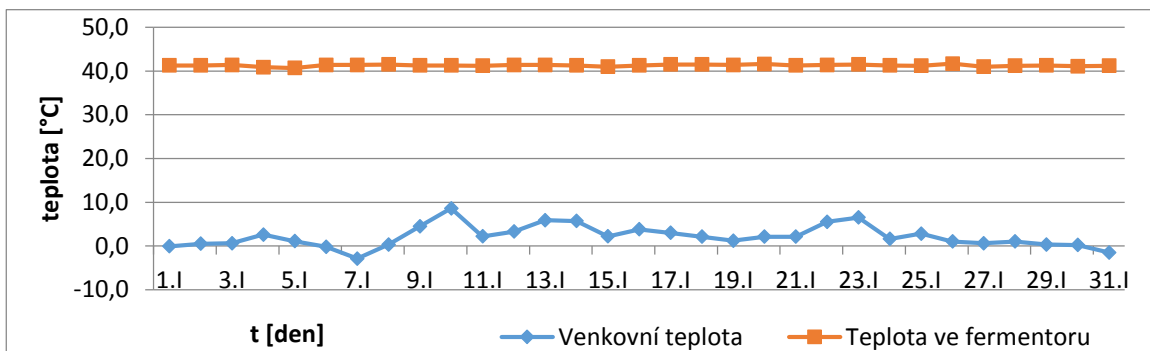
Obr. 18. Blokované schéma měření BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany. [S. Hons]

4.1.4 Ukázka výsledků kontinuálních měření I.

Kontinuální měření v zemědělské BPS Lhota pod Libčany, červen 2018 část I.								
Datum	Venkov ní teplota	Teplota ve fermentoru	pH ve fermentoru	Produkce bioplynu	Složení bioplynu			
					CH ₄	CO ₂	H ₂ S	O ₂
	[°C]	[°C]	[]	[m ³]	[%]	[%]	[ppm]	[%]
1.VI	17,8	42,3	7,49	6815	51,0	45,9	98	0,7
2.VI	19,6	42,4	7,51	6827	51,0	45,8	86	0,7
3.VI	21,9	42,3	7,59	6865	50,6	45,7	83	0,7
4.VI	14,1	42,2	7,47	6917	50,5	45,8	80	0,7
5.VI	17,9	42,5	7,56	6966	50,3	46,0	81	0,7
6.VI	16,3	42,4	7,55	6653	49,5	44,4	66	0,7
7.VI	11,6	42,5	7,51	6873	50,8	45,5	62	0,8
8.VI	16,4	42,3	7,48	6927	51,0	45,3	69	0,7
9.VI	21,4	42,5	7,54	6903	50,7	45,5	67	0,7
10.VI	17,6	42,2	7,50	6954	50,8	45,7	69	0,7
11.VI	21,4	42,5	7,52	6978	50,4	45,8	68	0,8
12.VI	20,2	42,5	7,57	6974	50,0	46,0	83	0,7
13.VI	16,2	42,1	7,55	6862	50,9	45,3	77	0,8
14.VI	17,7	42,1	7,49	6783	50,8	45,2	87	0,8
15.VI	21,2	42,1	7,51	6814	50,9	45,3	88	0,8
16.VI	17,5	42,2	7,48	6860	50,8	45,5	98	0,8
17.VI	15,5	42,3	7,56	6877	51,0	45,2	98	0,7
18.VI	18,4	42,2	7,58	6563	51,0	45,0	107	0,8
19.VI	22,3	42,1	7,55	6800	51,0	45,0	111	0,8
20.VI	24,5	42,1	7,51	6891	51,0	45,0	130	0,8
21.VI	21,9	42,2	7,59	6850	50,8	44,9	128	0,7
22.VI	23,0	42,1	7,55	6717	51,0	45,0	121	0,8
23.VI	19,7	42,2	7,58	6663	51,0	45,0	101	0,8
24.VI	22,1	42,1	7,49	6676	51,0	45,0	89	0,8
25.VI	20,7	42,1	7,53	6736	51,0	45,0	90	0,8
26.VI	19,6	42,2	7,56	6694	51,0	45,0	77	0,8
27.VI	16,7	42,1	7,48	6690	51,0	45,0	72	0,8
28.VI	20,1	42,2	7,51	6763	51,0	44,9	84	0,8
29.VI	15,3	42,3	7,57	6815	51,4	44,7	101	0,8
30.VI	16,3	42,2	7,52	6746	21,8	44,2	106	0,8
součet	---	---	---	204452	---	---	---	---
průměr	18,8	42,3	7,53	6815,1	49,8	45,3	89	0,8
denní minimum	11,6	42,1	7,47	6563	21,8	44,2	62	0,7
dne	7.6	13.6	4.6	18.6	6.6	6.6	6.6	6.6
denní maximum	24,5	42,5	7,59	6978	51,4	46,0	130	0,8
dne	20.6	5.6	18.6	11.6	29.6	1.6	20.6	3.6

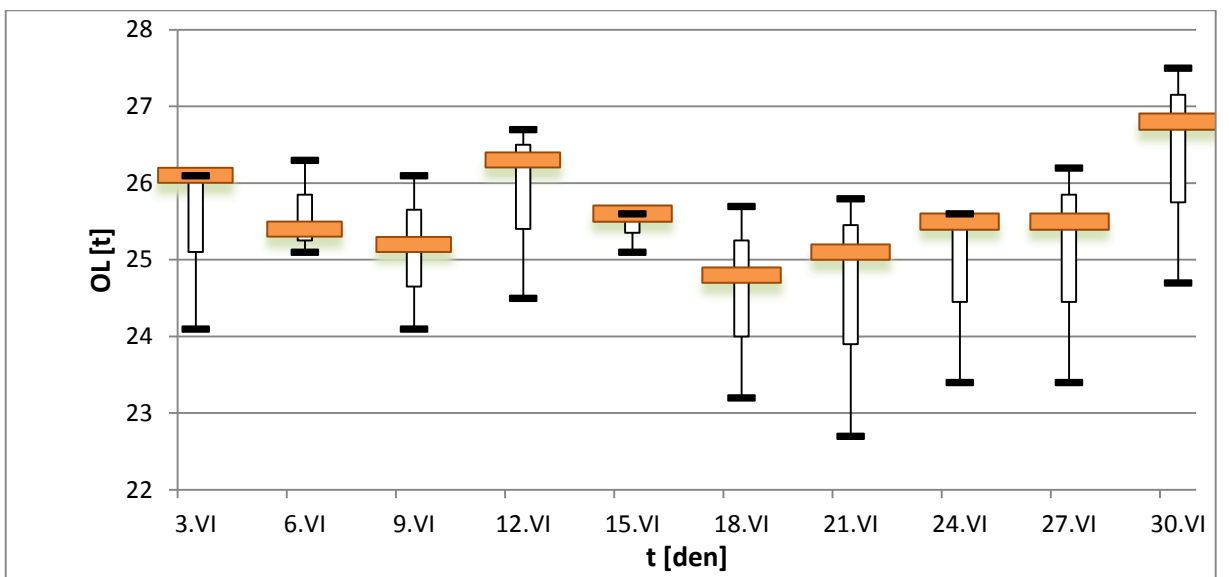
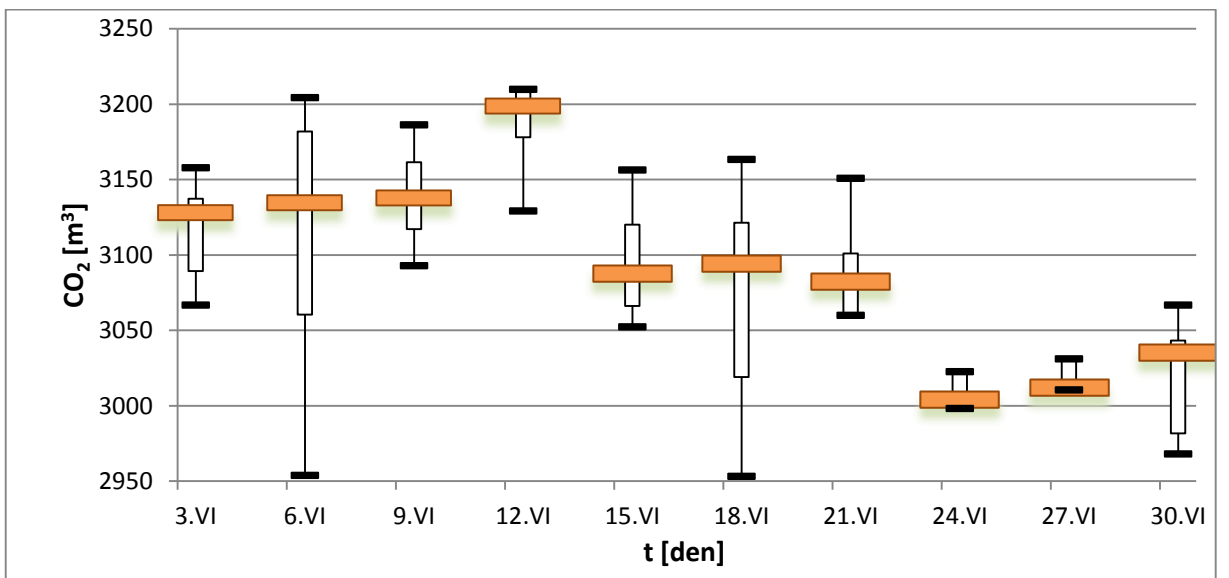
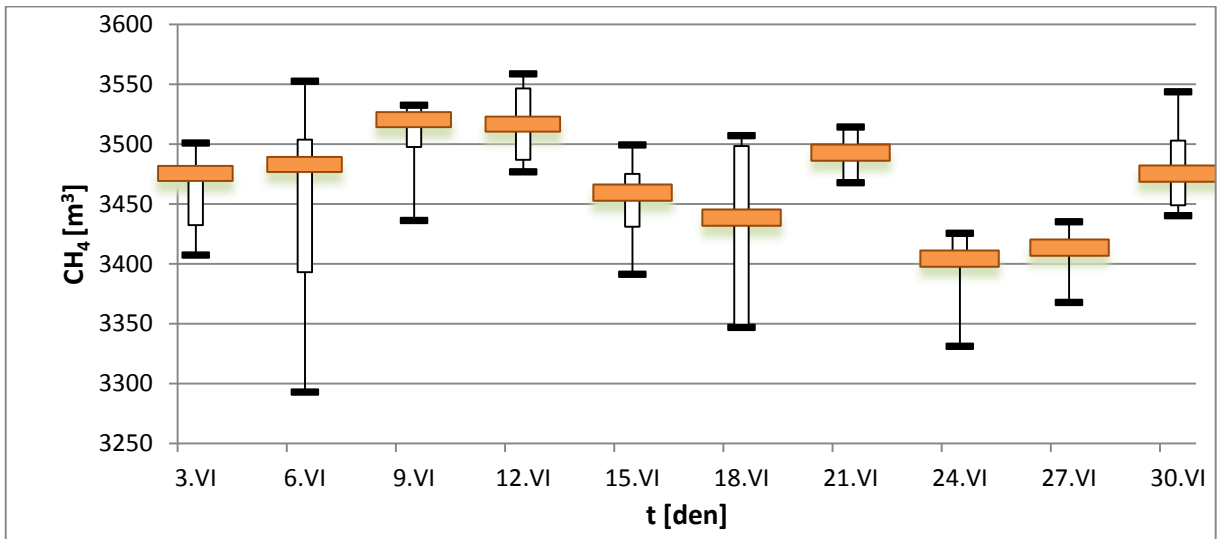


Kontinuální měření v zemědělské BPS Lhota pod Libčany, leden 2015 část I.								
Datum	Venkovní teplota	Teplota ve fermentoru	pH ve fermentoru	Produkce bioplynu	Složení bioplynu			
					CH ₄	CO ₂	H ₂ S	O ₂
	[°C]	[°C]	[]	[m ³]	[%]	[%]	[ppm]	[%]
1.1	-0,1	41,3	7,55	6332,0	54,4	41,7	66	0,4
2.1	0,5	41,3	7,51	6403,0	54,1	41,5	58	0,4
3.1	0,6	41,4	7,53	6403,0	54,0	41,6	72	0,4
4.1	2,6	40,9	7,49	6376,0	54,4	41,8	85	0,4
5.1	1,1	40,7	7,50	6354,0	54,1	41,5	82	0,4
6.1	-0,2	41,4	7,52	6375,0	54,9	41,6	71	0,4
7.1	-2,9	41,4	7,56	5947,0	54,9	41,7	80	0,4
8.1	0,3	41,5	7,50	6396,0	54,3	41,4	74	0,4
9.1	4,5	41,3	7,57	6472,0	54,1	41,3	92	0,3
10.1	8,6	41,3	7,58	6418,0	54,9	41,7	80	0,3
11.1	2,2	41,2	7,53	6434,0	54,5	41,8	63	0,3
12.1	3,3	41,4	7,48	6407,0	54,7	41,7	62	0,3
13.1	5,9	41,4	7,51	6482,0	55,0	40,5	73	0,3
14.1	5,7	41,3	7,47	6298,0	54,3	40,6	76	0,3
15.1	2,2	41,0	7,55	6299,0	54,9	41,4	71	0,4
16.1	3,8	41,3	7,49	6532,0	55,0	41,7	81	0,3
17.1	3,0	41,5	7,57	6516,0	54,8	40,5	76	0,4
18.1	2,1	41,5	7,55	6495,0	54,3	40,4	70	0,3
19.1	1,2	41,4	7,54	6471,0	54,1	41,7	68	0,4
20.1	2,1	41,6	7,49	6519,0	54,3	41,8	74	0,4
21.1	2,1	41,3	7,53	6464,0	55,0	41,9	61	0,4
22.1	5,5	41,4	7,58	6515,0	54,8	41,7	61	0,3
23.1	6,5	41,5	7,51	6467,0	55,0	41,5	64	0,4
24.1	1,6	41,3	7,56	6429,0	55,0	41,5	73	0,4
25.1	2,8	41,2	7,57	6378,0	55,0	40,6	77	0,4
26.1	1,0	41,7	7,54	6416,0	54,9	41,5	86	0,4
27.1	0,6	41,0	7,48	6437,0	54,5	40,5	79	0,4
28.1	1,0	41,2	7,52	6460,0	55,0	41,8	64	0,4
29.1	0,3	41,3	7,59	6540,0	54,9	41,6	63	0,4
30.1	0,2	41,1	7,53	6640,0	55,0	41,0	91	0,3
31.1	-1,5	41,2	7,50	6403,0	55,0	41,4	78	0,4
součet	---	---	---	199078,0	---	---	---	---
průměr	2,1	41,3	7,53	6421,9	54,6	41,4	73	0,4
denní minimum	-2,9	40,7	7,47	5947,0	54,0	40,4	58	0,3
dne	7.1	5.1	14.1	7.1	3.1	15.1	2.1	9.1
denní maximum	8,6	41,7	7,59	6640,0	55,0	41,9	92	0,4
dne	13.1	26.1	29.1	30.1	13.1	21.1	9.1	1.1

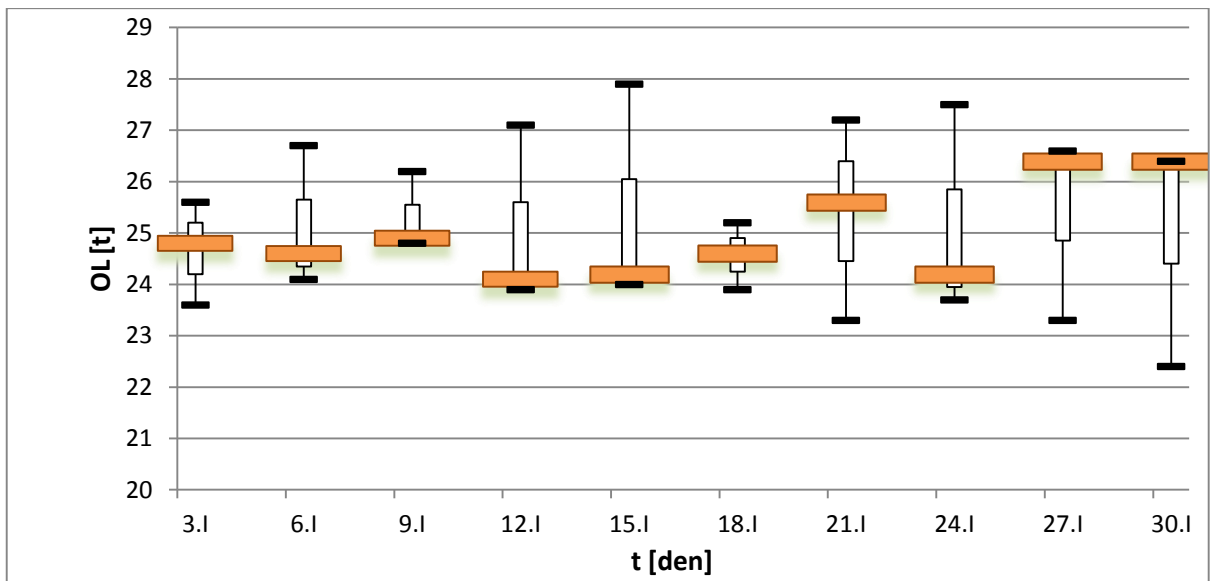
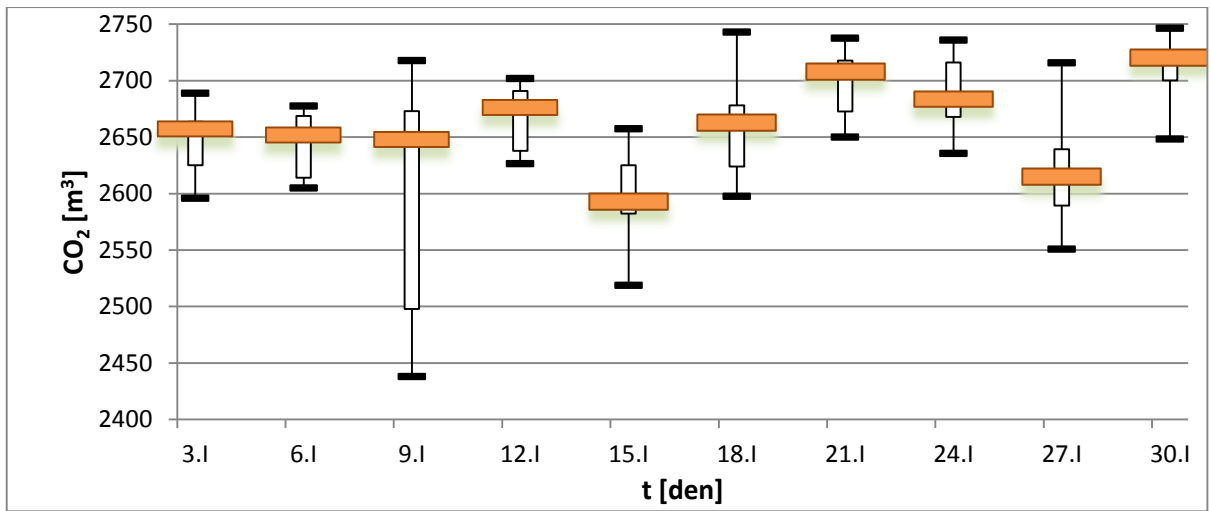
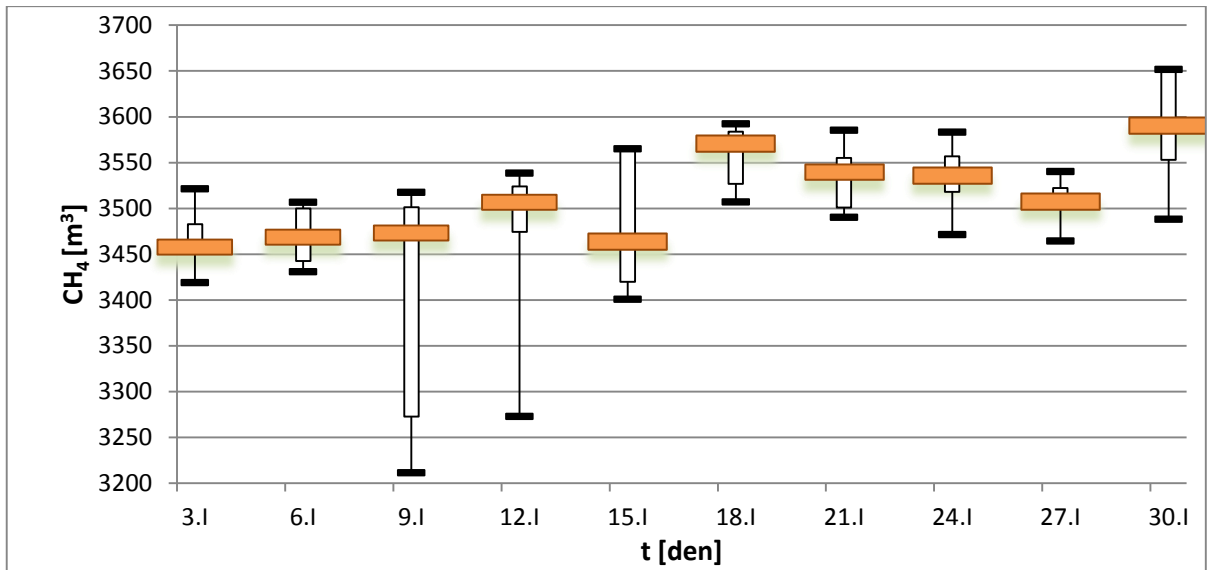


4.1.5 Ukázka výsledků kontinuálních měření II.

Kontinuální měření v zemědělské BPS Lhota pod Libčany, červen 2018 část II.								
Datum	OL průměr	CH4 min	CH4 max	CH4 průměr	CO2 min	CO2 max	CO2 průměr	Produkce bioplynu
	[t]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[m ³]
1.VI	24,1	3407,5	3475,7	3475,7	3066,8	3134,9	3128,1	6815
2.VI	26,1	3413,5	3481,8	3481,8	3072,2	3140,4	3126,8	6827
3.VI	26,1	3432,5	3501,2	3473,7	3089,3	3157,9	3137,3	6865
4.VI	26,3	3458,5	3527,7	3493,1	3112,7	3181,8	3168,0	6917
5.VI	25,1	3483,0	3552,7	3503,9	3134,7	3204,4	3204,4	6966
6.VI	25,4	3326,5	3393,0	3293,2	2993,9	3060,4	2953,9	6653
7.VI	25,2	3436,5	3505,2	3491,5	3092,9	3161,6	3127,2	6873
8.VI	24,1	3532,8	3532,8	3532,8	3117,2	3186,4	3137,9	6927
9.VI	26,1	3520,5	3520,5	3499,8	3106,4	3175,4	3140,9	6903
10.VI	24,5	3477,0	3546,5	3532,6	3129,3	3198,8	3178,0	6954
11.VI	26,7	3489,0	3558,8	3516,9	3140,1	3209,9	3195,9	6978
12.VI	26,3	3487,0	3556,7	3487,0	3208,0	3208,0	3208,0	6974
13.VI	25,1	3431,0	3499,6	3492,8	3087,9	3156,5	3108,5	6862
14.VI	25,6	3391,5	3459,3	3445,8	3052,4	3120,2	3065,9	6783
15.VI	25,6	3407,0	3475,1	3468,3	3066,3	3134,4	3086,7	6814
16.VI	25,7	3430,0	3498,6	3484,9	3087,0	3155,6	3121,3	6860
17.VI	24,8	3438,5	3507,3	3507,3	3094,7	3163,4	3108,4	6877
18.VI	23,2	3347,1	3347,1	3347,1	2953,4	3019,0	2953,4	6563
19.VI	22,7	3468,0	3468,0	3468,0	3060,0	3060,0	3060,0	6800
20.VI	25,8	3514,4	3514,4	3514,4	3101,0	3101,0	3101,0	6891
21.VI	25,1	3493,5	3493,5	3479,8	3082,5	3151,0	3075,7	6850
22.VI	23,4	3425,7	3425,7	3425,7	3022,7	3022,7	3022,7	6717
23.VI	25,6	3331,5	3398,1	3398,1	2998,4	2998,4	2998,4	6663
24.VI	25,5	3404,8	3404,8	3404,8	3004,2	3004,2	3004,2	6676
25.VI	26,2	3368,0	3435,4	3435,4	3031,2	3031,2	3031,2	6736
26.VI	23,4	3413,9	3413,9	3413,9	3012,3	3012,3	3012,3	6694
27.VI	25,5	3411,9	3411,9	3411,9	3010,5	3010,5	3010,5	6690
28.VI	24,7	3449,1	3449,1	3449,1	2975,7	3043,4	3036,6	6763
29.VI	27,5	3475,7	3543,8	3502,9	2998,6	3066,8	3046,3	6815
30.VI	26,8	3440,5	3507,9	3494,4	2968,2	3035,7	2981,7	6746
součet	758,2	---	---	---	---	---	---	---
průměr	25,3	3436,9	3480,2	3464,2	3062,3	3110,2	3084,4	6815,1
denní minimum	22,7	3326,5	3347,1	3293,2	2953,4	2998,4	2953,4	6563,0
dne	19,6	6,6	18,6	6,6	18,6	23,6	6,6	18,6
denní maximum	27,5	3532,8	3558,8	3532,8	3208,0	3209,9	3208,0	6978,0
dne	29,6	8,6	11,6	10,6	12,6	11,6	12,6	11,6



Kontinuální měření v zemědělské BPS Lhota pod Libčany, leden 2015 část II.								
Datum	OL průměr	CH4 min	CH4 max	CH4 průměr	CO2 min	CO2 max	CO2 průměr	Produkce bioplynu
	[t]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	m3
1.1	24,8	3419,3	3482,6	3444,6	2596,1	2659,4	2640,4	6332,0
2.1	25,6	3457,6	3521,7	3464,0	2625,2	2689,3	2657,2	6403,0
3.1	23,6	3457,6	3521,7	3457,6	2625,2	2689,3	2663,6	6403,0
4.1	24,1	3443,0	3506,8	3468,5	2614,2	2677,9	2665,2	6376,0
5.1	24,6	3431,2	3494,7	3437,5	2605,1	2668,7	2636,9	6354,0
6.1	26,7	3442,5	3506,3	3499,9	2613,8	2677,5	2652,0	6375,0
7.1	24,9	3211,4	3270,9	3264,9	2438,3	2497,7	2479,9	5947,0
8.1	26,2	3453,8	3517,8	3473,0	2622,4	2686,3	2647,9	6396,0
9.1	24,8	3494,9	3559,6	3501,4	2653,5	2718,2	2672,9	6472,0
10.1	24,1	3273,2	3529,9	3523,5	2631,4	2695,6	2676,3	6418,0
11.1	27,1	3474,4	3538,7	3506,5	2637,9	2702,3	2689,4	6434,0
12.1	23,9	3459,8	3523,9	3504,6	2626,9	2690,9	2671,7	6407,0
13.1	27,9	3565,1	3565,1	3565,1	2592,8	2657,6	2625,2	6482,0
14.1	24,2	3400,9	3463,9	3419,8	2519,2	2582,2	2557,0	6298,0
15.1	24,0	3401,5	3464,5	3458,2	2582,6	2645,6	2607,8	6299,0
16.1	24,6	3527,3	3592,6	3592,6	2678,1	2743,4	2723,8	6532,0
17.1	23,9	3518,6	3583,8	3570,8	2606,4	2671,6	2639,0	6516,0
18.1	25,2	3507,3	3572,3	3526,8	2598,0	2663,0	2624,0	6495,0
19.1	25,6	3494,3	3559,1	3500,8	2653,1	2717,8	2698,4	6471,0
20.1	23,3	3520,3	3585,5	3539,8	2672,8	2738,0	2724,9	6519,0
21.1	27,2	3490,6	3555,2	3555,2	2650,2	2714,9	2708,4	6464,0
22.1	24,2	3518,1	3583,3	3570,2	2671,2	2736,3	2716,8	6515,0
23.1	23,7	3492,2	3556,9	3556,9	2651,5	2716,1	2683,8	6467,0
24.1	27,5	3471,7	3536,0	3536,0	2635,9	2700,2	2668,0	6429,0
25.1	26,6	3507,9	3507,9	3507,9	2551,2	2615,0	2589,5	6378,0
26.1	26,4	3464,6	3528,8	3522,4	2630,6	2694,7	2662,6	6416,0
27.1	23,3	3476,0	3540,4	3508,2	2574,8	2639,2	2607,0	6437,0
28.1	26,4	3488,4	3553,0	3553,0	2648,6	2713,2	2700,3	6460,0
29.1	22,4	3531,6	3597,0	3590,5	2681,4	2746,8	2720,6	6540,0
30.1	26,4	3652,0	3652,0	3652,0	2722,4	2722,4	2722,4	6640,0
31.1	24,7	3457,6	3521,7	3521,7	2625,2	2689,3	2650,8	6403,0
součet	777,9	---	---	---	---	---	---	199078,0
průměr	25,1	3467,9	3532,0	3509,5	2620,5	2682,6	2657,5	6421,9
denní minimum	22,4	3211,4	3270,9	3264,9	2438,3	2497,7	2479,9	5947,0
dne	29.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1	7.1
denní maximum	27,9	3652,0	3652,0	3652,0	2722,4	2746,8	2724,9	6640,0
dne	13.1	30.1	30.1	30.1	1.1	1.1	20.1	30.1



4.2 Zemědělská bioplynová stanice Dříteč

4.2.1 Technické parametry bioplynové stanice

Zemědělská bioplynová stanice Dříteč, výkon 2000 kW, provozovatel AgrokrasEnergó s.r.o., byla zprovozněna v r. 2013. Stavbu provedl agriKomp Bohemia s.r.o. Skládá se ze vstupní jímky, dvou fermentorů (o pracovním objemu 2 x 2 350 m³) s integrovanými zásobníky bioplynu, dvou dofermentorů (o pracovním objemu 2 x 2 350 m³) s integrovaným zásobníkem bioplynu, objektu výroby elektrické energie (tj. 2 x strojovna po 4 kogeneračních jednotkách) a dvou otevřených skladovacích jímek pro zfermentované organické hnojivo (o pracovním objemu 2 x 7 940 m³).



Obr. 19. Zemědělská bioplynová stanice Dříteč [27].

Infrastrukturu stavby tvoří trubní rozvody, zpevněné plochy, komunikace a elektropřípojka. Stavba a její stavební části jsou provedeny v tradiční technologii tj. beton, keramické tvárnice, ocelové a dřevěné konstrukce atd. vše s možností konečné recyklace. Vstupní jímka (o pracovním objemu 123 m³) slouží jako sběrná jímka biologicky znečištěné povrchové vody a vstupní suroviny, tzv. kejdy.



Obr. 20. Uložiště zásoby biomasy [foto vlastní].

Fermentory jsou zakryté železobetonové nádrže kruhového půdorysu o průměru 24 m a výšce 6 m (užitný objem pro fermentát $2 \times 2 \times 350 \text{ m}^3$), částečně zapuštěné (cca -3,89 m) pod terénem. Strop fermentačních nádrží je tvořen dřevěnou konstrukcí složenou z trámů a desek, na kterých je volně položena a na obvodě utěsněna gumotextilní elastická membrána Biolene. Dřevěná konstrukce rozděluje nádoby na dvě části. Ve spodní, míchané části probíhá fermentace, v horní části je jímán bioplyn, který membránu vydouvá do kopulovitého tvaru. Nádrže jsou zatepleny deskami z extrudovaného polystyrenu a na vnitřních stěnách osazeny teplovodním vytápěním, jsou vybaveny míchadlem, vstupním dávkovačem biomasy a výstupním čerpadlem [26].



Obr. 21. Fermentor s plynovým zásobníkem Biolene a dávkovacím zařízením Vielfrass® [foto vlastní].

Dofermentory jsou zakryté železobetonové nádrže kruhového půdorysu o průměru 24 m a výšce 6 m (užitný objem pro fermentát $2 \times 2 \text{ 350 m}^3$), částečně zapuštěné (cca -3,89 m) pod terénem. Strop doferementorů je tvořen dřevěnou konstrukcí složenou z trámů a desek, na kterých je volně položena a na obvodě utěsněna gumotextilní elastická membrána Biolene. Dřevěná konstrukce rozděluje nádrž na dvě části. Ve spodní, míchané části probíhá fermentace, v horní části je jímán bioplyn, který membránu vydouvá do kopulovitého tvaru. Nádrže jsou zatepleny deskami z extrudovaného polystyrenu, a na vnitřních stěnách osazeny teplovodním vytápěním, jsou vybaveny míchadlem a výstupním čerpadlem.

Skladovací jímky jsou dvě železobetonové nádrže kruhového půdorysu o průměru $2 \times 36 \text{ m}$ a výšce 8 m (o užitném objemu $2 \times 7 \text{ 940 m}^3$), částečně zapuštěné do terénu (cca -4,0 m). Skladovací jímky jsou vybaveny každá třemi ponornými míchadly.

Plnění fermentorů, kde dochází k fermentaci organických látek, tekutými látkami je zajištěno čerpadlem, které přečerpává vodu ze vstupní jímky do fermentorů.

Dávkování pevné biomasy do fermentorů je zajištěno dávkovacími zařízeními Vielfrass®. Zařízení bylo navrženo s ohledem na optimální technické řešení a maximální bezpečnost provozu. Zařízení je vhodné pro dávkování tuhých substrátů do fermentačních nádrží, jako např. obnovitelné fytomasy apod. Výrobce daného zařízení je německá firma Gebr. C. und G. Maier GmbH & Co.KG. Dávkovač Vielfrass® se skládá z kontejnerového zásobníku s posuvným čelem a rozdužovacím nástavcem. Plnění zásobníku je prováděno shora. Po spuštění je zařízení Vielfrass® plně automatizováno. Plnění fermentorů musí být

přizpůsobeno průběhu biologického procesu. Každý fermentor je vybaven jedním dávkovacím zařízením.

Pro lepší produkci bioplynu a zabránění tvorby plovoucí vrstvy a vrstvy sedimentu je hmota ve fermentačních nádržích pravidelně míchána pomaluběžnými míchadly Paddeligant® od stejné renomované firmy Gebr. C. und G. Maier GmbH & Co.KG. Instalované topení zajišťuje optimální provozní teplotu substrátu cca 38-43 °C. Odsíření produkovaného bioplynu je prováděno biologicky. K tomu je přiváděn do horní části fermentačních nádrží vzduch. Vyvíjený bioplyn je v horní části fermentačních nádrží jímán v integrovaných membránových jímačích plynu. Tyto jímače jsou tvořeny patentovanou gumotextilní EPDM membránou Biolene černé barvy o tloušťce 1,5 mm. Vyznačuje se odolností proti protržení a šíření trhlin. Teplotní stabilita je zaručena v rozmezí teplot -40 °C až +100 °C při zajištění ozónové a UV stálosti. Během běžného provozu je bioplyn uchováván v horní válcové části každé fermentační nádrže pod dřevěným stropem a z části nad dřevěným stropem nádrže v prostoru membránového jímače. Maximální kapacita jednotlivých jímačů (vypočtená jako polovina objemu koule, kterou vytvoří gumotextilní membrána) činí pro fermentory 2 x 2 780 m³, pro dofermentory 2 x 2 780 m³. V případě nutnosti spalování přebytečného BP je možné použít stacionární fléru poskytovanou dodavatelem.

Fermentační nádrže jsou zabezpečeny proti nepovolenému tlaku plynu, čímž je i membrána plynového zásobníku chráněna proti poškození, přetlakově-podtlakovým pojistným zařízením Bioguard®II. Každá fermentační nádrž je osazena jedním zařízením.

Biologicky odsířený bioplyn je plynovým potrubím veden přes kondenzační šachtu (nejhlubší místo vedení plynu) ke kogeneračním jednotkám. Před vstupem do strojovny KJ je plyn sušen, chlazen a čištěn filtrem s aktivním uhlím. KJ vyrábí elektrický proud, který je dodáván do elektrické distribuční sítě. Současně vzniká při výrobě elektrického proudu i teplo, které se využívá pro ohřev vody, která je nosným médiem pro vytápění fermentačních nádrží. Nouzové chladiče zajišťují, aby se KJ nepřehřála.

Za pomoci excentrických šnekových čerpadel se fermentát (vznikající ve fermentorech) dopravuje do dofermentorů, odtud je přečerpán už jako stabilizované zfermentované organické hnojivo do skladovacích jímek, kde je skladován minimálně po dobu 180 dní. Celková skladovací kapacita skladovacích jímek činí 15 880 m³. Ty jsou dimenzovány tak, aby celková skladovací kapacita postačovala pro uskladnění zfermentovaného organického hnojiva minimálně po dobu 180 dní, přičemž bude částečně zfermentované organické hnojivo separováno. Z uvedených údajů vyplývá, že skladovací kapacita stabilizovaného zfermentovaného organického hnojiva pro dané období je dostačující a to v případě bez separace s rezervou cca 6 942 m³ ale i s celkovou separací s rezervou cca 8 193 m³. [26].

Výrobní elektrické energie je realizována jako přízemní objekt – novostavba s pultovou střechou se spádem 6 °. Je založena na betonových pasech v nezámrazné

hloubce 800 mm. Podlaha je betonová, obvodové stěny z vápenopískových tvárnic a vnitřní dveře jsou s protipožární odolností min. 15 min. Stropní konstrukce je tvořena stropními panely Spiroll, uloženými na železobetonový věnec. Světlá výška prostoru strojovny je 3,00 – 3,75 m. Vnější stěny jsou opatřeny omítkou. Výrobna je tvořena dvěma místnostmi - strojovny KJ, kde jsou osazeny 2 x 4 KJ H.J.SCHNELL o el. výkonu 250 kW_{el}, a technickou místností s rozvaděčem NN.



Obr. 22. Strojovna kogeneračních jednotek [foto vlastní], je osazena 2 x 4 KJ H.J.SCHNELL o el. výkonu 250 kW_{el}

4.2.2 Predikce produkce metanu BPS Dříteč květen 2018

Predikce produkce metanu na základě provozních tabulkových hodnot:

Na BPS Dříteč používají k predikci produkce metanu tzv. interní metanizační tabulky [26]. Ukázka výpočtů za měsíc květen 2018 je uvedena v Tab. 4.

Predikce produkce metanu pomocí Chen-Hashimotova modelu (31) a (32) upraveného pro provozní podmínky:

$$V_M = V_{max} \left(1 - \frac{K}{H \cdot \mu_{max} + K - 1} \right)$$

V_M - výtěžek metanu [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t OL}$]

V_{max} - maximální výtěžek metanu [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t OL}$]

H - doba zdržení biomasy ve fermentoru [dny]

μ_{max} - maximální růstová rychlost mikroorganismů [den^{-1}]

K - Chen a Hashimotova kinetická konstanta [-]

$$V_{max} = \sum_i \frac{X_i V_{max_i}}{i}$$

V_{max_i} - maximální výtěžek metanu pro substrát daného typu [$\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t OL}$]

i - počet typů substrátů [-]

X_i - i -tý hmotnostní zlomek sušiny daného typu substrátu [-]

Výpočet predikce objemu metanu za květen 2018:

B_0 = 390,05 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t OL}$, (vypočteno z interních metanizačních tabulek [26])

H = 70 dnů

μ_{max} = 0,74 den^{-1}

K = 1,25

V_M = 380,68 $\text{m}^3 \text{CH}_4/\text{t OL}$

Celkové množství krmných dávek za měsíc květen 2018 činilo 958,44 t organických látek.

Predikční hodnota výtěžku metanu je 364 861,31 m^3 . Skutečná výroba objemu metanu byla 342 713,37 m^3 , což je přibližně 94 % predikční hodnoty.

Lze tedy konstatovat, že pro technologický proces metanizace zemědělské biomasy používaný na BPS Dříteč je Chen-Hashimotův model s upravenou konstantou K pro provozní podmínky této bioplynové stanice použitelný.

Přesto, že tento energeticky zaměřený typ zemědělské BPS využívá substráty obdobného složení celoročně, je třeba tyto závěry ještě ověřit na větším počtu provozních údajů (např. za období jednoho roku).

4.2.3 Provozní výsledky

BPS Dříteč květen 2018			
Provozní údaje o krmných dávkách			
Biomasa typ vstupu	Množství čerstvé biomasy	Sušina	Množství OL
	[t]	[%]	[t]
Kukuřičná siláž I	201,10	33,00	66,36
Kukuřičná siláž II	1301,86	33,00	429,61
Vedlejší produkty I	336,32	25,00	84,08
Vedlejší produkty II	5,44	59,66	3,25
Senáže I	201,92	32,00	64,61
Senáže II	280,76	32,00	89,84
Kukuřičná siláž III	212,67	33,00	70,18
Senáže III	281,66	32,00	90,13
Hovězí hnůj	184,54	18,00	33,22
Senáže IV	59,42	31,00	18,42
Kukuřičná siláž IV	27,29	32,00	8,73
Celkem	3092,98	---	958,44

Tab. 3. Provozní údaje o krmných dávkách na BPS Dříteč, květen 2018

4.2.4 Predikce produkce metanu pomocí metanizačních tabulek

BPS Dříteč květen 2018				
Predikce produkce bioplynu a metanu pomocí interních metanizačních tabulek				
Biomasa typ vstupu	Množství OL	Objem bioplynu	Objem metanu	Metan
	[t]	[m ³]	[m ³]	[m ³ / t OL]
Kukuřičná siláž I	66,36	49772,25	26877,02	405,00
Kukuřičná siláž II	429,61	322210,35	173993,59	405,00
Vedlejší produkty I	84,08	71468,00	38592,72	459,00
Vedlejší produkty II	3,25	2758,68	1489,69	459,00
Senáže I	64,61	41999,36	22679,65	351,00
Senáže II	89,84	58398,08	31534,96	351,00
Kukuřičná siláž III	70,18	52635,83	28423,35	405,00
Senáže III	90,13	58585,28	31636,05	351,00
Hovězí hnůj	33,22	15944,26	8609,90	259,20
Senáže IV	18,42	11973,13	6465,49	351,00
Kukuřičná siláž IV	8,73	6549,60	3536,78	405,00
Celkem	958,44	692294,81	373839,20	---

Tab. 4. Ukázka výpočtů predikce produkce bioplynu a metanu na BPS Dříteč

4.3 Návrh měření složení bioplynu na bioplynové stanici

Na bioplynové stanici Dříteč není instalováno měření koncentrace plynů CH₄, CO₂, O₂, H₂S v bioplynu. V rámci diplomové práce byla poptána firma ASEKO spol. s r.o., která nabízí vhodný typ analyzátoru pro bioplynové stanice. Jedná se o nový typ přístroje AIR LF s volitelnou jednotkou AIR GTU pro úpravu vlastností měřeného plynu.

Jednotka AIR LF:

- Obsahuje IF měřící senzor pro koncentraci CH₄ a CO₂ (0-100 %)
- Elektrochemický senzor pro koncentraci O₂ (0-25 %)
- Elektrochemický měřící blok pro koncentraci H₂S, NH₃, H₂ (0-2000 ppm)
- Výsledky měření jsou přehledně zobrazeny na 7" dotykovém displeji a současně jsou ukládány ve vnitřní paměti
- Data jsou dostupná on-line po síti LAN
- Napájení je 230 V AC, 50 Hz, 50 VA
- Výstup je 6x 4-20 mA, LAN
- Rozměr 500x300x155 mm, montáž na stěnu
- Klimatická odolnost 5-40 °C, krytí IP30
- Průtok plynu 0,5 -0,7 l/min

Jednotka AIR GTU:

Slouží pro úpravu vlastností měřeného plynu. Firma ASEKO doporučuje použití jednotky pro zamezení tvorby kondenzátu v plynech s vysokou vlhkostí.

Popis instalace

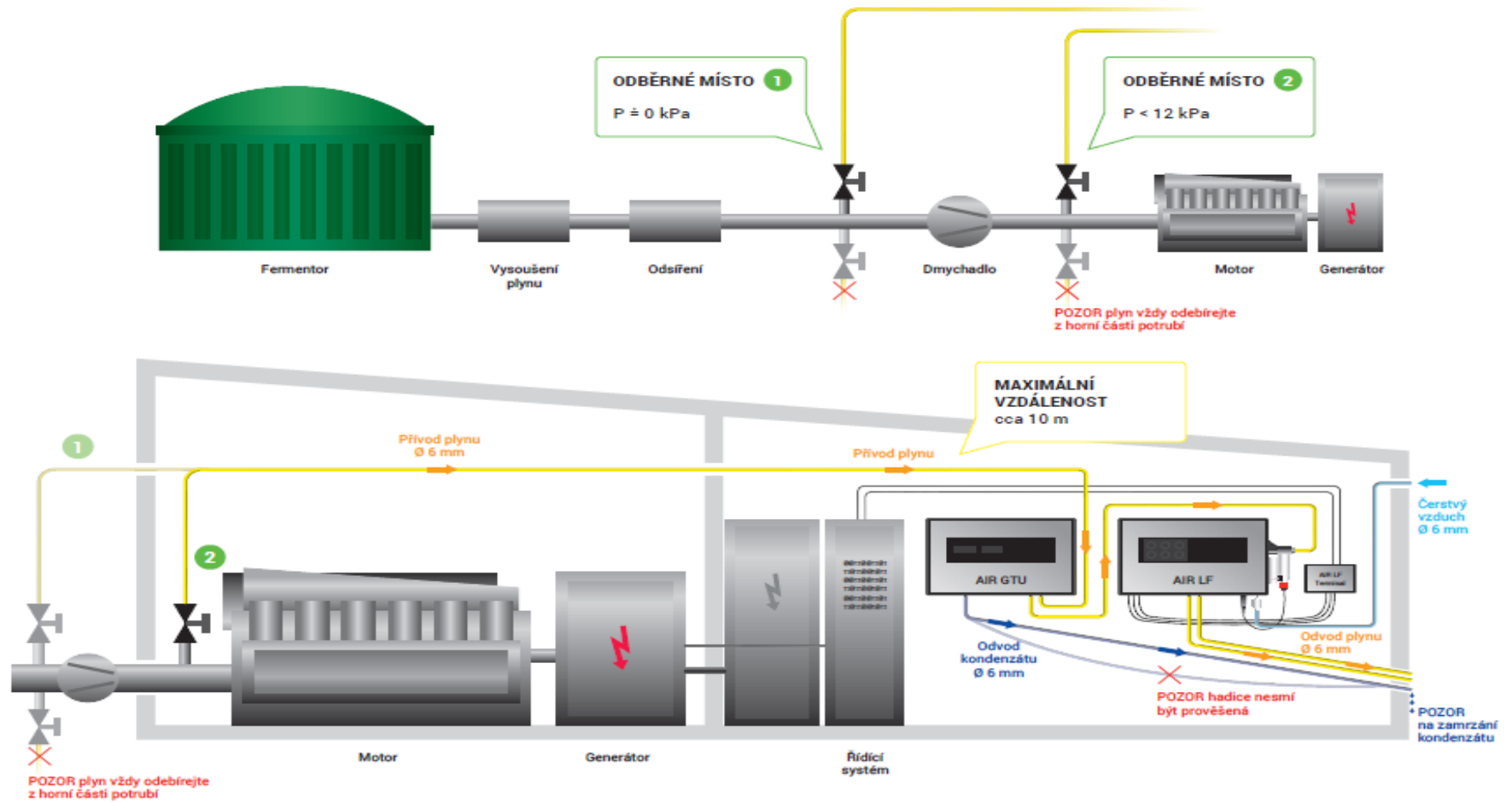
Jednotku AIR LF a AIR GTU je nutno umístit do suché místnosti s rozsahem teplot max 5-40 °C.

Limitováni jsme vzdáleností odběrných míst plynu do 10 m. Rovněž není vhodná blízkost motorů z důvodu přenosu vibrací. Jednotky se zavěšují na zeď do výšky vhodné pro čtení měřených hodnot. Bioplyn se připojuje hadicí o vnějším průměru 6 mm. Přiváděný plyn by měl mít rosný bod + 5 °C, vstupní tlak 0-12 kPa. Výstupní potrubí průměr 6 mm, neblokované. Vzduch se připojuje hadicí o vnějším průměru 6 mm na filtr, zavěšený na spodku analyzátoru. Přiváděný vzduch musí být čistý, nekontaminovaný měřenými složkami, protože slouží k proplachování a ke kalibraci. Elektrický přívod je jednofázový 230 V s pojistkou 400 mA.

Pro zajištění instalace je nutné vytvořit jednoduchý projekt elektro a mechanické instalace odběrného místa na potrubí bioplynu.

Z hlediska zpracování dat je nutno do projektu elektro zahrnout způsob napojení na vnitřní síť LAN a internet. Pro práci s daty je vhodné využít možnost odesílání dat na server ASEKO a možnost jejich sledování na webu <http://air.aseko.cz>.

Blokové schéma měření



Obr. 23. Blokové schéma měření [S. Hons]

Rozpočet instalace analyzátoru

Cenová nabídka ASEKO :	
AIR LF Analyzátor Bioplynu	165 600,00 Kč
Rozšíření o H ₂ S senzor	17 843,00 Kč
AIR GTU Gas Treatment Unit	56 000,00 Kč

Rozpočtové ceny prací :	
Cena projektu elektro a instalace	12 000,00 Kč
Cena za technickou pomoc ASEKO	8 000,00 Kč
Cena za elektroinstalaci jednotky	12 600,00 Kč
Cena za instalaci odběrného místa, přívodních a odváděcích hadic	26 000,00 Kč
Rezerva projektu	25 000,00 Kč

Celkem	323 043,00 Kč
---------------	----------------------

Předpokládaná cena instalace analyzátoru bioplynu je cca 323 000,- Kč.

Cena může být zpřesněna na základě zpracovaného projektu instalace, kde budou dořešeny otázky umístění jednotky a také nutnost použití jednotky AIR GTU.

V rámci projektu může být poptán i jiný dodavatel analyzátoru a provedeno srovnání cenových nabídek [28].

Popis řídicího systému BPS Dříteč

Řídicí systém

Výrobní část bioplynové stanice Dříteč je řízena programovatelným automatem firmy Beckhoff řady CX1100. Předností tohoto PLC je otevřená architektura počítače typu PC s obrovskou výpočtovou kapacitou. Řídicí programy lze vytvářet v jazycích pod operačním systémem Windows.

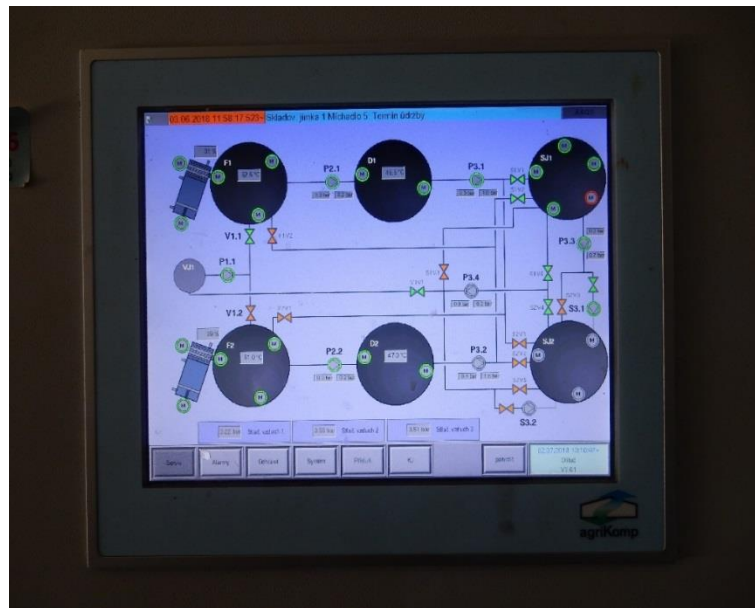


Obr. 24. Řídicí automat Beckhoff [foto vlastní].

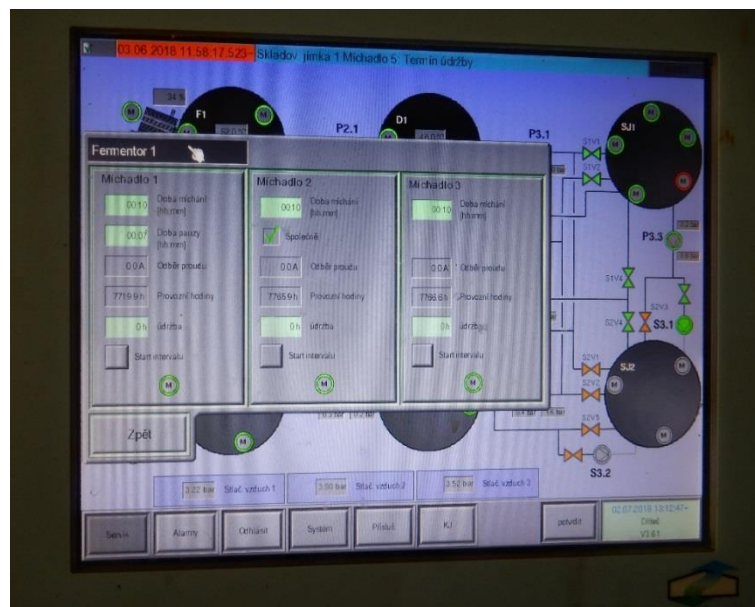
Operátorský panel

Řídicí systém je pro vedení obsluhy vybaven dotykovým panelem.

Na hlavní přehledové obrazovce jsou zobrazeny dvě fermentační linie. Fermentory 1 a 2, dofermentory 1 a 2 a skladovací jímky 1 a 2. Dále jsou zde dávkovací zařízení pro fermentory 1 a 2, čerpadla a ventilový systém pro přečerpávání. Systém měření není příliš rozsáhlý. V dávkovacích zařízeních se měří hladina ultrazvukovými snímači. Ve fermentorech a dofermentorech se měří teplota. Ve skladovacích jímkách jsou osazeny snímače maximální hladiny. Na čerpadlech P2.1, P2.2, P3.1, P3.2, P3.3, P3.4 je instalováno měření vstupního a výstupního tlaku. Dále jsou zde zobrazeny aktivní stavy čerpadel a šneků. Zobrazena je rovněž poloha pneumatických hradítek.



Obr. 25. Operátorský panel s hlavní přehledovou obrazovkou [foto vlastní].

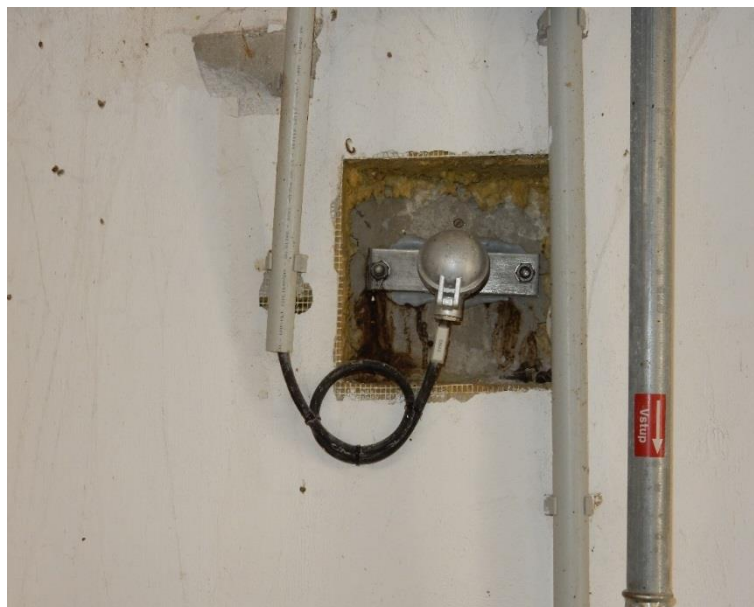


Obr. 26. Operátorská obrazovka s panelem parametrů pro periodické spínání míchadel [foto vlastní].

Ukázky vybraných čidel měření



Obr. 27. Měření hladiny v dávkovacím zařízení [foto vlastní].



Obr. 28. Měření teploty ve fermentoru [foto vlastní].



Obr. 29. Měření tlaku na čerpadle [foto vlastní].



Obr. 30. Snímač maximální hladiny ve skladovací jímce [foto vlastní].

5 DISKUSE A ZÁVĚRY

Úkolem diplomové práce bylo popsat procesy anaerobní fermentace organických substrátů a vzniku bioplynu a sumarizovat používané a doporučované matematické vztahy pro modelování anaerobních fermentačních procesů a uvést používané metody predikce výtěžnosti bioplynu ze zemědělských substrátů a vysvětlit a objasnit odlišná poslání a funkce ekologicky a energeticky zaměřených zemědělských BPS.

Jedna ze sledovaných zemědělských BPS měla být zapojena do komplexní zemědělské činnosti s kladením důrazu na zamezení ekologickým problémům při zemědělské prvovýrobě. Zemědělskou BPS Lhota pod Libčany, která je součástí Agrodružstva Lhota pod Libčany, zabývajícího se zemědělskou prvovýrobou, využívají již po několik let jak PŘF UHK, tak i WPT UO jako ukázkové vzorové pracoviště pro exkurze a praxe studentů. Jedná se o zařízení, které vzniklo především z ekologických důvodů, protože obhospodařované pozemky jsou zdrojem podzemních pitných vod a volné skladování hnoje a dalších produktů je v této oblasti nepřijatelné. Přínosem této práce pro výuku je podrobné zpracování techniky kontinuálních měření objemu, tlaku a složení bioplynu a podrobný popis řídicího systému bioplynové stanice s ukázkami výsledků kontinuálních měření.

Vzhledem k tomu, že pro Českou republiku je díky přírodním podmínkám biomasa jedním z nejvýznamnějších obnovitelných zdrojů energie, druhá sledovaná zemědělská bioplynová stanice měla být zaměřena prvoplánově na energetickou produkci. Zemědělská bioplynová stanice Dříteč, provozovatel AgrokrasEnerg s.r.o., vznikla prvoplánově jako energetické zařízení. V rámci česko-polského projektu je plánováno také jeho využití k výukovým účelům. Podrobný popis jeho technických parametrů s fotodokumentací bude rovněž využit jako výukový materiál.

Na provozu této BPS byla také ověřena použitelnost Chen-Hashimotova modelu s upravenými konstantami k predikcím produkce bioplynu, který je srovnatelný s tabulkovými predikcemi. Na přání majitelů BPS Dříteč nejsou ve výpočtech predikcí uvedeny tabulkové hodnoty pro jejich používané substráty, spočítané odbornou firmou na základě krmivářských analýz.

Jednou z cest, jakou intenzifikovat a optimalizovat proces metanizace na těchto stanicích je kontinuální měření složení bioplynu, které však převážná většina těchto zařízení neprovádí. Cílem této práce proto bylo pro energeticky zaměřenou bioplynovou stanici, kde většinou složení bioplynu nebývá sledováno, navrhnout systém pro měření složení bioplynu včetně předběžné cenové kalkulace jako významný prostředek pro intenzifikaci výroby bioplynu a zvyšování obsahu metanu. Ani na bioplynové stanici Dříteč není dosud instalováno měření koncentrace plynů CH_4 , CO_2 , O_2 a H_2S v bioplynu. V rámci diplomové práce byl proto navržen vhodný typ analyzátoru pro bioplynové stanice, který nabízí firma ASEKO spol. s r.o. Jedná se o nový typ přístroje AIR LF vhodný pro tyto účely. Návrh je doplněn předběžnou cenovou kalkulací.

Zpracovávání této diplomové práce a souvisejících publikací probíhalo při opakovaných stážích autora práce na Katedře biotechnologie PWT Univerzity Opole, za podpory grantového projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0118 „Inovace studijních oborů zajišťovaných katedrami PřF UHK“. Spolupráce s odbornými firmami Zakład Wykonywania Pomiarów EMITOR S. C. v Opole a Atmoterm SA, usługi i doradztwo środowiskowe v Opole a stáže na BPS Lhota pod Libčany a BPS Dříteč byly podporovány dvěma na sebe navazujícími projekty POWT RCz-RP PL.3.22/2.3.00/11.02553 (2013-2015) „Propagace výzkumu kvality životního prostředí PL-CZ přeshraničí“ a INTERREG VA (2017-2020) CZ.11.3.119/16_022 /0001150 „Spolupráce UO A UHK rozšiřující možnosti uplatnění absolventů na přeshraničním trhu práce“.

Seznam publikovaných prací se spoluúčastí autora práce:

1. KRÍŽ J., RADOCHA K., HYŠPLEROVÁ L., SMOLÍK M., ŠTĚPÁNEK V., EMINGER S., VARGOVÁ A.: Technologické a environmentální modely ve výuce katedry fyziky PřF UHK Media4u Magazine, 2/2016, s. 59-65. Dostupné na:
https://www.google.cz/search?q=Media4u+Magazine%2C+2%2F2016&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=WWaqWpi0JafL8gfDqr6ACg
2. LOSKOT J., SMOLÍK M., HYŠPLEROVÁ, L., RADOCHA K., KRÍŽ, J., EMINGER S., DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A, ZIEMBIK Z., WACŁAWEK, M.: Innovative educational program for biogas production carried out at University of Hradec Králové (CZ) and at University of Opole (PL). CDEM 2016, 21(1-2), 57-70. Dostupné na:
<https://www.degruyter.com/view/j/cdem.2016.20.issue-1-2/cdem-2015-0005/cdem-2016-0005.xml>.
3. EMINGER S, ŠTĚPÁNEK V, HETFLEIŠ M, SMOLÍK M, HYŠPLEROVÁ L, KRÍŽ J. Planowany rozwój biogazowni rolniczych na czesko-polskim pograniczu, możliwości wykorzystania trójwymiarowych modeli procesu metanizacji. In: Propagowanie badań jakości środowiska na transgranicznym obszarze polsko-czeskim. BASNET, Opole, 2014, s. 218-230. ISBN 978-83-916958-5-2.
4. SMOLIK, M. - VARGOVÁ, A. - HYŠPLEROVÁ, L. - KRÍŽ, J. - EMINGER, S. - TRNKOVÁ, L. - KEDER, J. - DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A. - ZIEMBIK, Z. - WACŁAWEK, M. Odor dispersion modelling of large agricultural sources in the czech-polish border area. 24th Annual European Conference ECOPole 15 [Poster session]. Dostupné na:
<http://www.uni.opole.pl/page/743/prestizowa-konferencja-ecopole-15>,
http://ecopole.uni.opole.pl/scr/streszcz_en.php?lp=121
5. KRÍŽ, J. - HYŠPLEROVÁ, L. - SMOLIK, M. - EMINGER, S. - VARGOVÁ, A. - KEDER, J. - SRNĚNSKÝ, R. - DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A. - ZIEMBIK, Z. - WACŁAWEK, M. Modelling of emissions from large biogas plants. Didact Ecol Metrol. 2015, 20(1-2). pp. 37-45. CDEM-2015-0003. ISSN 1640-9019. Dostupné na:
<https://www.degruyter.com/view/j/cdem.2015.20.issue-1-2/cdem-2015-0005/cdem-2015-0005.xml>.

6 Použitá literatura

[1] Col.: The agricultural biogas plants in Poland. Oil and Gas Institute - National Research Institute Poland. 2014. [cit. 2018-10-6]. [cit. 2018-06-11]. Dostupné na: Dostupné na: <https://www.globalmethane.org/documents/Poland-Ag-Biogas-Plants-April-2014.pdf>.

[2] IGLIŃSKI B, PIECHOTA G, BUCZKOWSKI R.: Development of biomass in polish energy sector: an overview. Clean Techn Environ Policy. 2015;17(2):317-329. DOI:10.1007/s10098-014-0820-x. [cit. 2018-06-11]. Dostupné na: <http://link.springer.com/article/10.1007/s10098-014-0820-x>.

[3] KRÍŽ J., HYŠPLEROVÁ L., TRNKOVÁ L., LYČKA, A., VYBÍRAL B., HLÚBIK J., ZIEMBIK Z., DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA A., WACŁAWEK M.: Innovation in Study of Physical and Technical Measurements. Czech-Polish Cooperation of Universities. CDEM 2014; 19(1-2): 37-45. ISSN 1640-9019. Dostupné na: <http://www.degruyter.com/view/j/cdem.2014.19.issue-1-2/issue-files/cdem.2014.19.issue-1-2.xml>.

[4] KRÍŽ J., RADOCHA K., HYŠPLEROVÁ L., SMOLÍK M., ŠTĚPÁNEK V., EMINGER S., VARGOVÁ A.: Technologické a environmentální modely ve výuce katedry fyziky PŘF UHK Media4u Magazine, 2/2016, s. 59-65. Dostupné na: https://www.google.cz/search?q=Media4u+Magazine%2C+2%2F2016&ie=utf-8&oe=utf-8&client=firefox-b-ab&gfe_rd=cr&dcr=0&ei=WWaqWpi0JafL8gfDqr6ACg

[5] LOSKOT J., SMOLÍK M., HYŠPLEROVÁ, L., RADOCHA K., KRÍŽ, J., EMINGER S., DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A, ZIEMBIK Z., WACŁAWEK, M.: Innovative educational program for biogas production carried out at University of Hradec Králové (CZ) and at University of Opole (PL). CDEM 2016, 21(1-2), 57-70. Dostupné na: <https://www.degruyter.com/view/j/cdem.2016.20.issue-1-2/cdem-2015-0005/cdem-2016-0005.xml>.

[6] STRAKA, F. a kol.: Bioplyn-příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. 2. vyd. GAS s.r.o., Praha 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.

[7] KÁRA, J., PASTOREK, Z., PŘIBYL, Z.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT Praha-Ruzyně 2007. ISBN 978-80-86884-28-8. [cit. 2018-06-29]. Dostupné na: <http://www.vuzt.cz/svt/vuzt/publ/P2007/086.PDF>

[8] HYŠPLER, R., REŠETKA D.: Vliv anaerobního zpracování hovězí kejdy na procesy odvodňování. Knižnice vědeckých spisů VUT Brno, 1988, 23 s.

[9] ZÁBRANSKÁ, J., SCHNEIDEROVÁ, K., DOHÁNYOS, M.: Relation of Coenzyme F420 to the activity of Methanogenic Microorganisms. Biotech lett., 7, 1985, p. 547-552. link.springer.com/article/10.1007%2FBF01026443.

[10] HYŠPLEROVÁ L., HYŠPLER, R., KOLÁŘ K, REŠETKA, D.: Fluorimetrické stanovení koenzymu F420 v kalech s vysokým obsahem suspendovaných látek. Sborník PdF HK č. 42, SPN Praha, 1989, s. 164-173.

[11] DEMNEROVÁ, K., DOSTÁLEK, P., FINKEOVÁ J., KMÍNEK M., MELZUCH K., PALATOVÁ M., RYCHTERA, M.: Modelování bioprocusů a jednotkových operací, analýza rizik. Elektronická učebnice, VŠCHT v Praze, 2002, [online], [cit. 2018-06-20]. Dostupné z www: <http://uprt.vscht.cz/ucebnice/mb/index.htm>

[12] CHEN, Y.R. - HASHIMOTO, A.G. Substrate utilization kinetic-model for biological treatment process. Biotechnology and Bioengineering, 22, 1980, pp. 81-95. [online]. [cit. 2018-06-12] Dostupné na: http://www.worldscientific.com/doi/pdf/10.1142/9781860945243_bmatter

[13] YU L, WENSEL PC, MA J, CHEN S.: Mathematical Modeling in Anaerobic Digestion. J Bioremed Biodeg. 2013;S4(003):1-12. DOI:10.4172/2155-6199.S4-003. [online]. [cit. 2018-06-12] Dostupné na: <https://www.omicsonline.org/open-access/mathematical-modeling-in-anaerobic-digestion-2155-6199-S4-003.pdf>

[14] DOHÁNYOS, M.: Porovnání metod pro odhad produkce bioplynu z rostlinných substrátů. PALIVA 3, 2011, s. 47 – 52. [cit. 2018-06-14]. Dostupné na: <http://paliva.vscht.cz/download.php?id=44>

[15] DOHÁNYOS, M.: PROCHÁZKA J., Anaerobní reaktor není černou skříňkou - teoretické základy anaerobní fermentace. ISSN: 1801-2655.Biom.cz [online]. 2008-11-17 [cit. 2018-06-28]. Dostupné na <https://biom.cz/index.shtml?x=2130702>

[16] TVRZŇÍK, P., ZEMAN, L., HAITL, M.: Bioplynové stanice z pohledu výživy zvířat. Expertní studie VVZ při MZe, VUŽV Praha Uhřetěves, 2013, 46 s. [cit. 2018-06-28]. Dostupné na: <https://vuzv.cz/wp-content/uploads/2018/03/Studie-Zeman-bioplynky-na-web-2013.pdf>

[17] PETŘÍKOVÁ, V. Biomasa-obnovitelný zdroj energie. Biom.cz., 2001. ISSN: 1801-2655. [cit. 2018-06-28]. Dostupné na www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biomasa-obnovitelny-zdroj-energie>

- [18] Schéma bioplynové stanice [cit. 2018-06-28]. Dostupné na: www.odpadoveforum.cz/TVIP2014/dokumenty/prezentace/250.ppt
- [19] Kol.: Bioplynová stanice by měla mít moderní analyzátor bioplynu. ASEKO 2018. [cit. 2018-06-29]. Dostupné na: <http://www.czba.cz/aktuality/bioplynova-stanice-by-mela-mit-moderni-analyzator-bioplynu.html>
- [20] EMINGER S, ŠTĚPÁNEK V, HETFLEIŠ M, SMOLÍK M, HYŠPLEROVÁ L, KŘÍŽ J. Planowany rozwój biogazowni rolniczych na czesko-polskim pograniczu, możliwości wykorzystania trójwymiarowych modeli procesu metanizacji. In: Propagowanie badań jakości środowiska na transgranicznym obszarze polsko-czeskim. BASNET, Opole, 2014, s. 218-230. ISBN 978-83-916958-5-2.
- [21] SMOLIK, M. - VARGOVÁ, A. - HYŠPLEROVÁ, L. - KŘÍŽ, J. - EMINGER, S. - TRNKOVÁ, L. - KEDER, J. - DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A. - ZIEMBIK, Z. - WACŁAWEK, M. Odor dispersion modelling of large agricultural sources in the czech-polish border area. 24th Annual European Conference ECOpole 15 [Poster session]. Dostupné na: <http://www.uni.opole.pl/page/743/prestizowa-konferencja-ecopole-15>, http://ecopole.uni.opole.pl/scr/streszcz_en.php?lp=121
- [22] KŘÍŽ, J. - HYŠPLEROVÁ, L. - SMOLIK, M. - EMINGER, S. - VARGOVÁ, A. - KEDER, J. - SRNĚNSKÝ, R. - DOŁHAŃCZUK-ŚRÓDKA, A. - ZIEMBIK, Z. - WACŁAWEK, M. Modelling of emissions from large biogas plants. Didact Ecol Metrol. 2015, 20(1-2). pp. 37-45. CDEM-2015-0003. ISSN 1640-9019. Dostupné na: <https://www.degruyter.com/view/j/cdem.2015.20.issue-1-2/cdem-2015-0005/cdem-2015-0005.xml>.
- [23] BPS Lhota pod Libčany. Firemní podklady, interní materiály. [www.agrolhota.cz/Bioplynova stanice](http://www.agrolhota.cz/Bioplynova_stanice)
- [24] BPS Lhota pod Libčany. [online] [cit. 2018-06-28]. Dostupné na: <http://www.farmtec.cz/reference-bioplynove-stanice-172/bps-lhota-pod-libcany-600-kw-mwm-i48.html>
- [25] Funkční schéma bioplynové stanice typu AgriKomp. [online] [cit. 2018-06-28]. Dostupné na: <http://www.agrikomp.cz/schema.php>.
- [26] BPS Dříteč. Firemní podklady, interní materiály. <https://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stanice/bioplynova-stanice-dritec>

[27] BPS Dříteč. [online] [cit. 2018-06-28]. Dostupné na:
<https://agrikomp.com/cs/home-cs/realizace-staveb/bioplynov%3%a9-stanice?gclid=EAIaIQobChMIuPWflua53AIV05EbCh3PCwcAEAAAYASAAEgK ovD B wE>

[28] ASEKO spol. s r.o., Cenová nabídka firmy. Dostupné na: <http://www.aseko.cz>

PŘÍLOHY

I. Seznam použitých zkratk a symbolů

BPS	-	bioplynová stanice
S	-	koncentrace hydrolyzovaného substrátu [g/l]
t	-	čas [s]
k	-	rychlostní konstanta hydrolýzy [-]
S ₀	-	koncentrace (množství) substrátu na začátku hydrolýzy [g/l]
k	-	rychlostní konstanta hydrolýzy [-]
B	-	výtěžek bioplynu [CH ₄ /g OL]
k	-	rychlostní koeficient reakce 1. řádu [-]
B ₀	-	maximální výtěžek bioplynu z daného substrátu [CH ₄ /g OL]
D	-	zřed'ovací rychlost [1/h]
S	-	koncentrace substrátu [g/l]
Q	-	objemový přítok živin [m ³ /h]
V	-	objem reaktoru [m ³]
X	-	koncentrace biomasy [g/l]
μ	-	specifická růstová rychlost [čas ⁻¹]
μ _{max}	-	maximální specifická růstová rychlost pro daný mikroorganismus [čas ⁻¹]
K _s	-	saturační konstanta, což je koncentrace substrátu při polovině maximální hodnoty μ _{max}
Y	-	výtěžek metanu [CH ₄ /g OL]
k ₁	-	rychlostní konstanta reakce 1. řádu [-]
Y _{max}	-	maximální výtěžek metanu [CH ₄ /g OL]
μ	-	měrná rychlost růstu mikroorganismů [čas ⁻¹]
μ _m	-	maximální měrná rychlost růstu mikroorganismů [čas ⁻¹]
K	-	kinetický parametr [-]
S	-	koncentrace biologicky rozložitelného substrátu na výstupu z reaktoru [%]
S ₀	-	koncentrace biologicky rozložitelného substrátu na vstupu do reaktoru [%]
t _r	-	teplota fermentačního procesu [°C]
V _M	-	produkce metanu [m ³ CH ₄ /t OL]
V _{max}	-	maximální výtěžek metanu [m ³ CH ₄ /t OL]
H	-	doba zdržení biomasy ve fermentoru [dny]
μ _{max}	-	maximální růstová rychlost mikroorganismů [den ⁻¹]
K	-	Chen a Hashimotova kinetická konstanta [-]
V _{max_i}	-	maximální výtěžek metanu pro substrát daného typu [m ³ CH ₄ /t OL]
i	-	počet typů substrátů [-]

X_i	-	i-tý hmotnostní zlomek sušiny daného typu substrátu [-]
CHSK	-	chemická spotřeba kyslíku
POXČ	-	průměrné oxidační číslo uhlíkového atomu
C_{org}	-	množství organického uhlíku
VL	-	veškeré látky
OL	-	organické látky
B_R	-	zatížení organickými látkami [$kg\ org.suš \cdot m^{-3}$]
m	-	denní dávka materiálu [kg/den]
c	-	koncentrace sušiny OL v substrátu [% org. suš.]
VS	-	voletale solids
V_R	-	objem fermentoru [m^3]
ADS	-	Aseko Detection Systém
TUV	-	teplá užitková voda

II. Seznam obrázků

- Obr. 1. Schéma čtyřstupňové methanizace organických substrátů při vsádkovém experimentu se znázorněnými kinetickými rovnicemi meziproductů
- Obr. 2. Schéma vstupů a výstupů zemědělské bioplynové stanice
- Obr. 3. Funkční schéma zemědělské bioplynové stanice fy Agrikomp
- Obr. 4. Detail desky tištěných spojů pro čidlo metanu
- Obr. 5. Vak s kalibračním plynem fy ASEKO
- Obr. 6. Obrázek analyzátoru Air LF fy ASEKO
- Obr. 7. BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 8. Kogenerační jednotka Agrodružstva Lhota pod Libčany
- Obr. 9. Stavoznak, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 10. Těleso průtokoměru, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 11. Převodník průtokoměru, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 12. Tlakoměr, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 13. Analyzátor plynu, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 14. PLC B+R, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 15. Operátorská obrazovka, BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany
- Obr. 16. Výřez operátorské obrazovky - zásobníku plynu BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany.
- Obr. 17. Výřez operátorské obrazovky - spotřeba plynu v dolní části generátoru KVET BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany.
- Obr. 18. Blokové schéma měření BPS Agrodružstvo Lhota pod Libčany.
- Obr. 19. Zemědělská bioplynová stanice Dříteč
- Obr. 20. Uložiště zásoby biomasy

- Obr. 21. Fermentor s plynovým zásobníkem Biolene a dávkovacím zařízením Vielfrass®
- Obr. 22. Strojovna kogeneračních jednotek
- Obr. 23. Blokové schéma měření
- Obr. 24. Řídicí automat Beckhoff
- Obr. 25. Operátorský panel s hlavní přehledovou obrazovkou
- Obr. 26. Operátorská obrazovka s panelem parametrů pro periodické spínání míchadel
- Obr. 27. Měření hladiny v dávkovacím zařízení
- Obr. 28. Měření teploty ve fermentoru
- Obr. 29. Měření tlaku na čerpadle
- Obr. 30. Snímač maximální hladiny ve skladovací jímce

III. Seznam tabulek

- Tab. 1. Měrné produkce bioplynu a metanu vybraných materiálů vhodných k výrobě bioplynu
- Tab. 2. Technické údaje analyzátoru Air LF fy ASEKO.
- Tab. 3. Provozní údaje o krmných dávkách na BPS Dříteč, květen 2018
- Tab. 4. Ukázka výpočtů predikce produkce bioplynu a metanu na BPS Dříteč