

**Univerzita Hradec Králové
Fakulta informatiky a managementu
Katedra informačních technologií**

**Monitoring fyzikálních veličin a predikce provozních stavů BPS
Diplomová práce**

Autor: Petr Flégl

Studijní obor: AI2 – K

Vedoucí práce: Ing. Jan Matyska

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a s použitím uvedené literatury.

V Hradci Králové dne 25. 4. 2017

Bc. Petr Flégl

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu Ing. Janu Matyskovi za vedení diplomové práce a čas strávený při konzultacích. Dále bych rád poděkoval MVDr. Luďku Pourovi za umožnění testování a studií bioplynové stanice v Zemědělském družstvu Nechanice.

Anotace

Práce se věnuje analýze možnosti měření provozu bioplynových stanic, kdy na základě měření provozních hodnot je prováděna predikce možných kritických jevů.

Jsou zde popsány technologie měření některých stavů a komponent k tomu použitých. Některé technologie měření nejsou příliš efektivní a dochází k určitým problémům v rámci jednotlivých měření. Jsou zde uvedeny možnosti řešení těchto problémů. Dále jsou popsány jednotlivé jevy a jejich negativní vlivy na chod bioplynové stanice s důrazem na nutnost predikce extrémních hodnot v rámci jednotlivých měření.

Aktuální technologie měření vykazuje určité nedostatky, které způsobují problémový chod bioplynové stanice, jehož důsledkem jsou zvýšené náklady na provoz a servis, a zároveň snižují efektivitu výroby elektrické energie.

Nově navržené predikční modely jsou detailně popsány a k ověření funkčnosti byly využity historické hodnoty získané ze stávající technologie. I přes standardní chyby měření jednotlivých senzorů, vykazují predikční modely dostatečně přesné výsledky. Tyto výsledky rámcově odpovídají reálným stavům BPS, které byly průběžně zjišťovány a porovnávány s predikovanými stavy.

Annotation

Title: Monitoring of physical quantities and prediction of operational states in biogas plants

Work is devoted to analyzing the possibility of measurement operation of biogas plants, which based on the measurement of operating values is made possible prediction of critical phenomena.

Here are described some conditions measurement technology and components used to. Some technologies measurements are not very efficient and there are some problems in the individual measurements. They are given options for solving these problems. The description of the events and their negative effects on the operation of biogas plants with an emphasis on the need for predicting extreme values within each measurement. Current measurement technology has certain drawbacks that cause troublesome operation of biogas plants, which generate increased costs of operation and maintenance, while lowering the efficiency of electricity production.

A newly designed prediction models are described in detail and to verify functionality were used historical values obtained from existing technology. Despite the standard error of measurement of the individual sensors, predictive models exhibit sufficiently accurate results. These results generally correspond to real states of BPS, which were consistently detected and compared with predicted conditions.

Obsah

ÚVOD	1
1 OBECNÁ PROBLEMATIKA BPS.....	2
2 EXISTUJÍCÍ ŘEŠENÍ DOSTUPNÝCH POSTUPŮ A MĚŘENÍ BIOPLYNU	3
2.1 MONITORING SLOŽEK V BIOPLYNU	3
2.1.1 <i>H₂S – Sulfan</i>	3
2.1.2 <i>CH₄ – Metan</i>	4
2.1.3 <i>CO₂ – Oxid Uhličitý</i>	5
2.1.4 <i>O₂ – kyslík</i>	6
2.1.5 <i>Shrnutí</i>	7
2.2 DOSTUPNÉ VARIANTY MONITORINGU BIOPLYNU	7
2.2.1 <i>Varianta bez využití analyzátoru plynu</i>	7
2.2.2 <i>Jednorázový monitoring bioplynu</i>	8
2.2.3 <i>Kontinuální monitoring bioplynu</i>	9
2.3 TYPY MĚŘÍCÍCH SENZORŮ V MONITOROVACÍM ZAŘÍZENÍ	10
2.3.1 <i>Metoda infračerveného měření plynu</i>	10
2.3.2 <i>Metoda elektrochemická</i>	12
2.3.3 <i>Shrnutí způsobů měření</i>	14
3 MOŽNOSTI VYUŽITÍ ANALÝZ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN PRO PREDIKCI	15
3.1 DŮLEŽITÉ FYZIKÁLNÍ VELIČINY A POJMY S NIMI SPOJENÉ	15
3.2 VLIV METEOROLOGIE	15
3.2.1 <i>Atmosférický tlak</i>	16
3.2.2 <i>Charakteristiky vlhkosti vzduchu</i>	17
3.2.3 <i>Složky bioplynu</i>	18
3.3 SLOŽKY A VLASTNOSTI PEVNÝCH SUBSTRÁTŮ ROZKLADU V BPS.....	20
3.3.1 <i>Fermentát</i>	21
3.3.2 <i>Shrnutí kapitoly</i>	25
3.3.3 <i>Digestát</i>	26
3.3.4 <i>Odsíření bioplynu</i>	27
3.4 VLIVY NA MECHANICKÁ ZAŘÍZENÍ.....	29
3.4.1 <i>Vliv plynu na olejovou náplň a kogenerační jednotku</i>	30
3.5 VÝPOČET TRENDU OPOTŘEBENÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ MOTORU	33
3.6 PROČ MONITOROVAT.....	34

4	PŘEDSTAVENÍ AKTUÁLNÍHO STAVU MONITORINGU FYZIKÁLNÍCH VELIČIN...	36
5	NÁVRH SLEDOVÁNÍ FYZIKÁLNÍCH VELIČIN A JEJICH VYUŽITÍ	38
5.1	SLEDOVÁNÍ VLIVŮ POČASÍ	38
5.2	SLEDOVÁNÍ PEVNÝCH SUBSTRÁTŮ	38
5.3	SLEDOVÁNÍ TEKUTÝCH SUBSTRÁTŮ	39
5.4	SLEDOVÁNÍ FERMENTAČNÍHO PROCESU	40
5.5	SLEDOVÁNÍ PLYNOVÉ SOUSTAVY	41
5.6	SLEDOVÁNÍ STAVŮ KOGENERAČNÍ JEDNOTKY	42
5.7	MĚŘENÍ TLOUŠTKY PEVNÉ VRSTVY PLOVOUCÍ NA TEKUTÉM MATERIÁLU	43
5.8	OZNÁMENÍ SLEDOVANÝCH STAVŮ OBSLUZE ZAŘÍZENÍ	44
6	PŘÍPADOVÁ STUDIE	45
6.1	POPIS MODELU OBNOVY V BODECH	48
6.1.1	<i>Ověření modelů výpočtem</i>	<i>52</i>
6.1.2	<i>Vícenásobná regresní analýza</i>	<i>57</i>
6.1.3	<i>Vícenásobná korelace</i>	<i>59</i>
6.1.4	<i>Vícenásobný regresní model</i>	<i>60</i>
6.1.5	<i>Analýza dat v časové řadě</i>	<i>66</i>
6.1.6	<i>Modely časové řady</i>	<i>66</i>
6.1.7	<i>Rozhodovací strom</i>	<i>73</i>
7	KRITICKÉ ZHODNOCENÍ PŘÍPADOVÉ STUDIE	77
7.1	OVĚŘENÍ MODELU OBNOVY	77
7.2	OVĚŘENÍ FUNKČNOSTI REGRESNÍHO MODELU	79
7.3	OVĚŘENÍ PREDIKČNÍHO MODELU	83
7.4	STRUKTURA NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU VYHODNOCENÍ DAT	83
7.4.1	<i>Modul zpracování vstupních dat</i>	<i>85</i>
7.4.2	<i>Modul předzpracování uložených dat</i>	<i>86</i>
7.4.3	<i>Modul výpočtu predikcí</i>	<i>87</i>
7.4.4	<i>Modul podpory rozhodování</i>	<i>88</i>
7.4.5	<i>Modul operátorského rozhraní</i>	<i>89</i>
8	ZÁVĚR	92
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	94
10	SEZNAM ILUSTRACÍ	97

11 SEZNAM TABULEK.....	98
12 SEZNAM VZORCŮ	99
13 SEZNAM GRAFŮ	101
14 SEZNAM KÓDŮ.....	102
15 PŘÍLOHY.....	103

Úvod

Práce se věnuje analýze možnosti měření provozních stavů bioplynových stanic, kdy na základě naměřených hodnot bude prováděna predikce možných kritických jevů.

V první kapitole budou popsány obecné principy bioplynových stanic, předpoklady pro jejich chod a jejich fyzikální a chemické principy.

Následující kapitola bude zaměřena na popis principu měření jednotlivých monitorovaných složek bioplynu a provozních stavů. Zde budou také rozebrány jednotlivé senzory a jejich fyzikální principy.

Ve čtvrté kapitole budou popsány jednotlivé jevy, které mají vliv na chod bioplynové stanice s důrazem na možnost predikce extrémních hodnot v rámci jednotlivých měření. U každého jevu budou popsány následky při vybočení z optimálních hodnot i způsob jak těmto stavům předcházet.

Pátá kapitola bude obsahovat popis aktuálních možností pro monitorování jednotlivých složek a provozních stavů spolu s analýzou nedostatků aktuálních způsobů měření.

Další kapitola se bude věnovat návrhu nového systému měření, který bude umožňovat jak analýzu průběžných hodnot, tak i predikci budoucích stavů na základě těchto měření a predikčních modelů.

V předposledních dvou kapitolách budou popsány možnosti predikce na základě předcházející kapitoly a ověření výpočetních modelů. Jednotlivé predikční modely budou detailně popsány v příslušných podkapitolách včetně rozhodovacího stromu na základě predikovaných a změřených hodnot. Tyto modely budou dále otestovány na reálných historických údajích a výsledky budou porovnány s provozními stavy vztaženými k dané predikci.

Toto ověření bude provedeno v rámci vývoje nového systému pro monitoring provozu BPS, který bude mimo predikcí zvládat zobrazování dat z jednotlivých technologických úseků v reálném čase a upozorňovat obsluhu na kritické stavy technologie. Navrhovaný systém bude možné v budoucnu rozšířit i o další moduly pro usnadnění práce obsluhy, jako například evidenci skladových položek, upozorňování na pravidelné kontroly atd.

1 Obecná problematika BPS

Bioplynová stanice (dále jen BPS), je rozsáhlé komplikované zařízení, jehož hlavním smyslem je výroba elektrické a následně tepelné energie. Jedná se o obnovitelný zdroj energie fungující díky biologickým rozkladům organických materiálů. Zařízení se skládá z několika důležitých zařízení, kdy na úplném začátku stojí dávkovací systémy substrátů. Pevné substráty se dávkuje pomocí dávkovacího vozu Eckart, osazeného dvěma mísícími šneky. Ten je přímo napojen na hlavní fermentor pomocí svislých dopravníků.

Dalším dávkovacím substrátem je tekutý substrát, který je dávkován pomocí čerpadla napojeného na příjmovou jímku, hlavní a vedlejší fermentor a koncový sklad. Díky tomuto propojení je možné čerpadlo dále využít na zpětnou vazbu, konkrétně na čerpání zpracovaného materiálu z dofermentoru do koncového skladu. Materiály se dávkuje do takzvaného hlavního fermentoru. Vzhledem k tomu, že projekty jednotlivých výrobců BPS se od sebe liší, je nutno upozornit, že popisovaná BPS obsahuje dva fermentory umístěné do jedné betonové nádoby. Nádobu rozděluje zeď, a tím vzniká technologie fermentorů kruh v kruhu, který je uzavřený železobetonovým stropem proti úniku plynu. Nadávkový materiál do hlavního fermentoru se zahřívá na teplotu 40 stupňů Celsia při mezofilní fermentaci, a na 50 stupňů Celsia při fermentaci termofilní. Po zahřátí na určenou teplotu se z nadávkových materiálů začne uvolňovat bioplyn. Fermentory jsou napojeny na plynové vedení.

První stavbou na cestě plynu k motoru je plynojem, jedná se o gumový vak, který slouží k sesbírání plynu vyrobeného z fermentorů, a tak zajistí dostatek paliva pro kogenerační jednotku. Ve fermentorech a celém plynovém vedení je malý tlak, řádově od 0,1 do 3,2 milibarů, což je z hlediska bezpečnosti dobré, ale pro kogenerační jednotku tlak nepostačuje. Před kogenerační jednotkou je umístěno dmychadlo, které vhání pod dostatečným tlakem bioplyn do motoru. Bioplyn je spalován motorem s dvanácti válci a výkonem 620 kW. Motor roztáčí generátor, který poté dodává elektrickou energii do rozvodné sítě. V tomto případě se jedná o výkon 600 kW za hodinu elektrické energie a vedlejším produktem výroby je energie tepelná. Tepelná energie vzniká spalováním bioplynu, dále se využívá na zahřívání fermentorů a lze ji využít k vytápění jakéhokoli objektu. Již zmiňovaný motor je schopen vytvořit 2,07 GJ tepelné energie za hodinu. Tímto se výrobní okruh uzavírá.

2 Existující řešení dostupných postupů a měření bioplynu

V současné době existuje velké množství bioplynových stanic různých výrobců a různých technologií. Ne všichni tito výrobci však zjišťují kvalitu spalovaného bioplynu. Jedním z nejpoužívanějších systémů měření jsou od výrobce Aseko, Siemens a Geotech. V následujících bodech jsou uvedeny existující řešení vybraných systémů, které jsou nejvíce používány především společnostmi Farmtec, Biogest, AgriKomp a Envitec.

2.1 Monitoring složek v Bioplynu

Nejčastější měřené plyny jsou H_2S , CH_4 , CO_2 a O_2 , méně časté plyny, u kterých se provádí měření, jsou H_2 a NH_3 . Tyto plyny se dají rozdělit do dvou skupin, a to hlavně z pohledu typu technologie měření. Zatímco metan a oxid uhličitý se měří tzv. infračervenou metodou, tak kyslík, sulfan, vodík a amoniak se měří elektrochemicky. Důležitost měření je velká.

2.1.1 H_2S – Sulfan

V bioplynové stanici se můžeme setkat se dvěma skupenstvími síry, a to plynou a pevnou fází. Její pevné skupenství není prozatím větším problémem pro technologii. Jediné seskupení pevné síry lze najít na stěnách fermentoru a v potrubí plynového vedení. Na stěnách není pro technologii závadná, spíše naopak, a v plynovém vedení se po určených intervalech dá vymýt vodou, a tím zabránit ucpání. Problémem je síra ve skupenství plynném, a to z důvodu tvorby nánosů uvnitř kogenerační jednotky (dále jen KGJ).



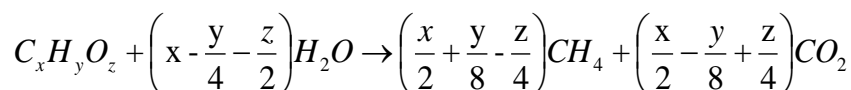
Obrázek 1 - Síra na stěnách fermentoru

Z toho důvodu je nutné maximum sulfanu z bioplynu odstranit. Momentálním řešením je vhnání kyslíku do reaktorů, podrobněji v bodě 2.1.4. Sulfan je obecně zdravotně velmi škodlivý plyn, který při koncentraci vyšší než 2000 ppm, což je v přepočtu 0,2 %, může být při vdechnutí smrtelný. Z toho důvodu je nutné tuto fyzikální veličinu měřit, ale také ji eliminovat na nejnižší možné hodnoty. V tomto porovnání je zcela jasné, jak nebezpečná síra může být.

Pro přirovnání množství H₂S v bioplynu je ideální do 100 ppm, pokud je koncentrace vyšší, způsobuje problémy KGJ. Při koncentraci nad 1000 ppm vzniká zdravotně závadné prostředí pro člověka. V porovnání s procenty koncentrace v bioplynu se 1 % rovná 10000 ppm H₂S. Plynné fáze se částečně zbavujeme vtlačováním O₂ do fermentačních prostorů, ve kterých se H₂S navazuje a ulpívá na stěnách reaktoru, jak je vidět na Obrázek 1 - Síra na stěnách fermentoru.

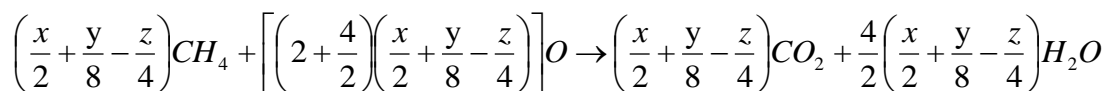
2.1.2 CH₄ – Metan

Metan je nejdůležitějším plynem v bioplynu. Literatura uvádí koncentrace od 50-80 % metanu v bioplynu v běžných provozech. Přitom jeho kvalitu ovlivňuje několik důležitých faktorů, jako je například průběh procesu, skladba živin a teplota substrátu. Průběh procesu je rozdělen na dvě části, nejprve se metan vyrábí, díky anaerobnímu rozkladu v hlavním fermentoru, kde je kvalita metanu nižší. Druhá část procesu probíhá v dofermentoru, kde metan může dosáhnout kvality až 80 % a plyn se vyčistí. Skladba živin fermentátu záleží na druhu, a také kvalitě použitých vstupních substrátů jako je například kukuřičná siláž, travní senáž, cukrovarnické řízky a tekutá složka. Teplota substrátu ovlivňuje proces rozkladu. Dlouhodobým zkoumáním je prokázáno, že při nižších teplotách je kvalita metanu vyšší, z důvodu menší tvorby CO₂. Obecná stechiometrická rovnice vzniku metanu podle Buswella je následující:



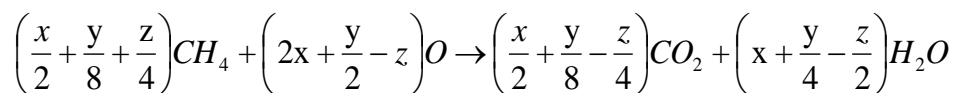
Vzorec 1 - Buswell

Množství vzniklého metanu závisí na počtu volných elektronů, které má molekula dané organické látky k dispozici. Jednoduchým způsobem lze dokázat, že k úplné oxidaci metanu vzniklého reakcí popsané v druhé rovnici spotřebujeme stejné množství kyslíku jako k oxidaci původní látky v rovnici původní:



Vzorec 2 - Buswell rozpracovaný

po úpravě lze vzorec zapsat následujícím způsobem:



Vzorec 3 - Buswell po úpravě

Součet rovnic po úpravě dává rovnici původní.

Z výše uvedeného vyplývá, že při metanizaci veškerá energetická zásoba výchozí látky (neuvažujeme-li i spotřebu energie k růstu) zůstává zachována ve vzniklém metanu. Poměr počtu ekvivalentních elektronů $2n$ k počtu atomů uhlíku v molekule organické látky udává „stupeň redukovatelnosti“ dané látky - γ .

$$\gamma = \frac{2n}{x} = \frac{2\left(2x + \frac{y}{2} - z\right)}{x}$$

Vzorec 4 - Stupeň redukovatelnosti

γ lze stanovit také z hmotově energetické bilance substrátu a ze znalosti jeho elementárního složení. Díky těmto rovnicím lze předběžně vypočítat teoretickou výtěžnost metanu, a tak spojit pevné substráty do ideálně rozpočítaných vstupů. Kontrolu obsahu metanu v bioplynu lze pomocí vzorce složeného z výše uvedených vzorců:

$$CH_4 = \frac{\left(\frac{x}{2} + \frac{y}{8} - \frac{z}{4}\right) \times 100}{x} = \frac{4 + \frac{y}{x} - \frac{2z}{x}}{8} \times 100 = \frac{\gamma}{8} \times 100$$

Vzorec 5 - Obsah metanu

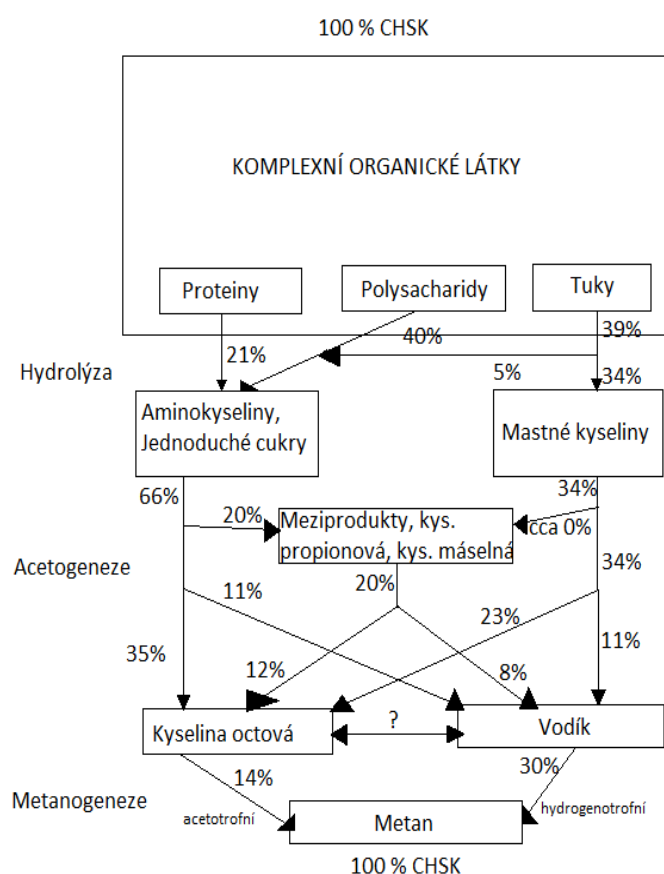
Díky tomuto výpočtu lze určit kromě koncentrace metanu v bioplynu také správnost měření senzoru metanu v analyzátoru plynu popsaného v bodu 2.2.

2.1.3 CO₂ – Oxid Uhličitý

Oxid uhličitý zásadním způsobem ovlivňuje kvalitu bioplynu. Hlavním důvodem je, že CO₂ ředí bioplyn, tedy čím více bioplyn obsahuje CO₂, tím méně obsahuje metanu. CO₂ zapříčiňuje také zvýšení nákladů při skladování bioplynu, kde se CO₂ může dále tvořit. Obsah CO₂ závisí na kvalitě substrátů a teplotě substrátu tzv. fermentátu, jehož složení může být různorodé.

2.1.4 O₂ – kyslík

Nezbytnou součástí bioplynu je také O₂. Kyslík se v procesu výroby bioplynu v reaktoru chemicky téměř nevytváří, proto je technologickými postupy účelně vháněn do reaktorů. Důležitost hlídání je velmi vysoká ze dvou základních důvodů. Hlavním důvodem vhánění kyslíku do reaktoru je očištění samotného bioplynu od již zmiňovaného H₂S. Kyslík se chemicky váže na molekuly plynného stavu H₂S, který se tak mění na pevnou složku síry. Ta dále ulpívá na stěnách reaktoru. Druhým důvodem je hlídání koncentrace kyslíku, jež nesmí překročit 2,5 % kyslíku v bioplynu. V případě, že kyslík překročí již zmiňovanou hranici, v reaktoru se z bioplynu stává výbušná směs, která při sebemenším zajiskření může vybuchnout. Z tohoto důvodu je monitoring koncentrace O₂ v bioplynu důležitý z hlediska bezpečnosti.



Obrázek 2 - schéma rozkladu plynu

2.1.5 Shrnutí

Z této části je zcela zřejmé, že důležitost monitoringu je opravdu vysoká. Je to jednak z důvodu kvality a spotřeby bioplynu v kogenerační jednotce. Ovšem velkou důležitost má monitoring také z hlediska bezpečnosti a ochrany obyvatel v blízkosti reaktorů zejména v obydlených částech. Obšrněji popisují veškeré stavy BPS následující literatury, které lze najít ve zdrojích pod číslem [1], [2], [3], [5].

Tabulka 1 - Rozsahy měření jednotlivých složek bioplynu

Parametr	Požadovaná hodnota - biomethan (ČSN 65 6514)	Reálná hodnota - bioplyn[2]
Obsah CH ₄	min. 95 % mol.	53 - 74 % (Ø 63,2 %)
Obsah H ₂ S	max. 10 mg.m ⁻³	20 - 1600 mg.m ⁻³ (Ø 570 mg.m ⁻³)
Obsah CO ₂ + N ₂ + O ₂	max.5 %	-
- Obsah CO ₂	(max. 2,5 %)	32 - 43,4 % (Ø 34,6 %)
- Obsah N ₂		0,8 - 2,43 % (Ø 1,6 %)
- Obsah O ₂		0,2 - 0,6 % (Ø 0,429 %)
Obsah H ₂ O	max. 32 mg.m ⁻³	2 - 7 %

V tabulce jsou rozepsány obsahy jednotlivých parametrů v bioplynu a jejich hraniční hodnoty reálně se objevující ve vytvořeném bioplynu. Popsáno za pomoci zdroje číslo [4].

2.2 Dostupné varianty monitoringu bioplynu

V dnešní době lze monitorovat bioplyn třemi základními způsoby, z čehož pouze dva jsou založeny na pomoci moderní technologie monitorovacích zařízení. Postupně zde budou popsány jednotlivé postupy všech tří možných variant. Na následující kapitoly o monitoringu byly použity zdroje s čísly [6], [7], [8], [10], které vše vysvětlují a popisují.

2.2.1 Varianta bez využití analyzátoru plynu

Nejhorší existující variantou je nemonitorování bioplynu. Na začátku výstavby prvních stanic nepočítali výrobci s tím, že monitoring je důležitý. Bylo to z důvodu kladení důrazu na jiné části celé technologie. Tato varianta se však časem stala nežádoucí především z důvodu špatných startů kogeneračních jednotek, vysokému opotřebením mechanických částí motoru a zejména velké spotřebě zapalovacích svíček. Tyto skutečnosti měly především velkou finanční zátěž pro investora, a proto výrobci umožnili vývoj dalších dvou variant monitoringu bioplynu, které se stále vyvíjí a vylepšují.

2.2.2 Jednorázový monitoring bioplynu

Způsob jednorázového monitoringu spočívá především na zodpovědnosti obsluhy. Jedná se o přenosné monitorovací zařízení, které je vyobrazeno na Obrázek 3. Jedná se o zařízení o rozměrech 20x30x12 centimetrů. Výhodou tohoto zařízení je jednoduchá manipulace a také to, že je velmi snadno přenosné. To umožňuje možnost měření plynu na více místech fermentorů, z čehož lze pak vypočítat průměrná hodnota stavu bioplynu. Další výhodou oproti stálé měřicí jednotce je kontinuální čištění senzorů, čímž se zvyšuje jejich životnost. Nevýhody jsou zcela zřejmé, a to především velká odpovědnost přenesená na obsluhu celého zařízení.

Další zásadní nevýhoda je nemožnost kontinuálního měření plynu, což je velmi důležité především při velkých obměnách vkládaných substrátů. Nepřesné měření síry, které velmi ovlivňuje stav kogenerační jednotky, přímo vyžaduje časté měření. Při použití tohoto způsobu se měří nejen na konci plynového vedení, ale především na fermentoru, kde jsou koncentrace jednotlivých plynů rozdílné od těch na konci vedení. Je to z důvodu již zmiňovaného očištění bioplynu cestou ke kogenerační jednotce. Aby tedy bylo možné přesně změřit obsah síry v bioplynu, bylo by nutné měření přibližně každé tři hodiny a poté z toho vyčíslit průměrnou hodnotu H_2S . To je však velice nepraktické především z důvodu časové náročnosti na obsluhu zařízení, která není schopna v noci měřit kvalitu bioplynu. Důkladné monitorování bioplynu by také přinášelo riziko, protože některá měřicí místa nejsou vždy dobře přístupná, takže z hlediska bezpečnosti je zmíněné měření velice nepraktické. Tento způsob je ideální na kontrolu správnosti měření kontinuální varianty monitoringu bioplynu. Byly použité zdroje s čísly [17], [22].



Obrázek 3 - Přenosný analyzátor

2.2.3 Kontinuální monitoring bioplynu

Nejlepší z možností je kontinuální monitoring. Systém monitorování funguje 24 hodin denně 365 dní v roce a svá data posílá měřící zařízení přímo do komplexního řídicího systému. Zde se ukládají a dají se kontinuálně sledovat na hlavní obrazovce systému. Stálým monitorováním bioplynu lze zaručit maximální dohled nad stavem a ochranou ostatních zařízení včetně kogenerační jednotky. Tento přínos je nejen v hlídání, ale také může dobře pomoci při seřízení zapalování a koncentrace plynu, potřebné ke startu kogenerační jednotky. Nevýhodou měření jsou občasné problémy s velkými kmity hodnot koncentrací jednotlivých plynů na monitorovacím zařízení. Stává se to při stálém měření bioplynu, jelikož se senzory občas hodnotově rozladí, nebo zničí. Pokud se taková věc stane, zařízení lze celkem jednoduše kalibrovat a pročistit senzory čistým vzduchem. Po provedení kalibrace se připojí analyzátor zpět do okruhu plynu. Pokud by problém setrval, je možné provést silnější kalibraci přesným kalibračním plynem.



Obrázek 4 - kontinuální analyzátor plynu

Kalibrační plyn je umístěn v plynové bombě. Tento plyn se nazývá přesný plyn, protože má přesně stanovené koncentrace jednotlivých složek v bioplynu. Podle toho se analyzátor kalibruje a upravují se hodnoty senzorů dle zkušebního přesného plynu. Pokud ani to nepomůže, obvykle se dá usoudit, že není problém s kalibrací, ale s jedním z technických částí analyzátoru. Jsou to například vadné senzory, problémy s tištěnou základovou deskou nebo problémy s přepočítávacími algoritmy v řídicím systému.

Největším problémem je životnost senzorů. Momentální technologie umožňuje životnost maximálně dva roky při každodenním používání. Průtok plynu je cca 50 l/h a opakované měření má hodnotu 2 % Fs. Náběh zařízení po prvním zapnutí trvá 20 min. Čas signálové odezvy komunikace systému je maximálně 40 sekund. Klimatická dostupnost přístroje je od 0 až do 40 stupňů Celsia. Po uplynutí životnosti senzorů se musí vyměnit. Zařízení váží deset kilogramů, umí komunikovat online s řídicím systémem bioplynové stanice a obsahuje port USB kvůli přenosu dat a grafů ze zařízení. Přístroj je napájen 230 V při 50 Hz. Použité zdroje [17], [25], které obsahují další technické informace.

2.3 Typy měřících senzorů v monitorovacím zařízení

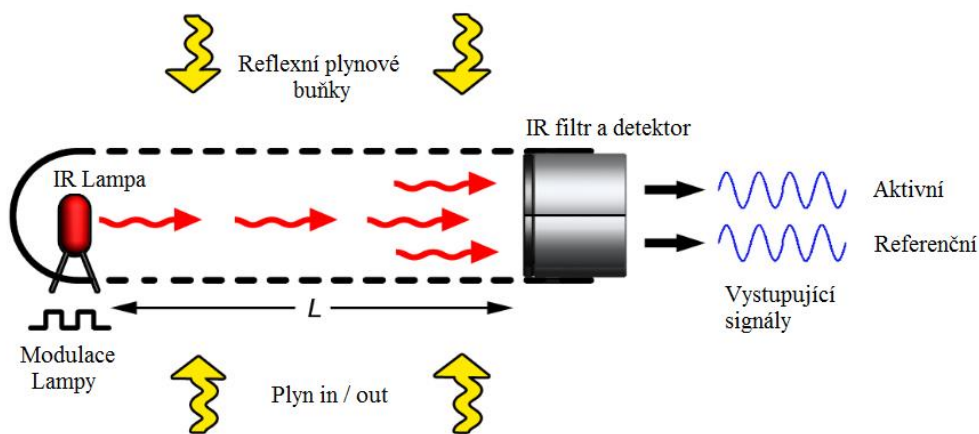
Do měřících zařízení se používají dva druhy senzorů, které se dělí podle technologie měření. Prvním principem je měření infračervené a druhým principem je měření elektrochemický. Každý ze senzorů má určitý nastavený rozsah dle plynu, který měří. Senzor metanu a oxidu uhličitého je v rozsahu 0-100 %. Kyslíkový senzor má rozsah 0-25 %. Senzor měřící síru je nejvíce zatěžován, z tohoto důvodu tento senzor v žádném případě neměří stále, ale každé 3 h po dobu deseti minut. Rozsah tohoto senzoru je 0-2000 ppm. Tato kapitola je popsána ze zdrojů [17], [23], [25].

2.3.1 Metoda infračerveného měření plynu

Použitelnost této metody spočívá v absorpci molekul pomocí infračerveného záření v elektromagnetickém spektru. Infračervené záření dopadá na plyn, přičemž energetický stav atomů kmitajících v molekulách mění vlnovou délku v diskrétních krocích, které poté odpovídají stavu molekul na frekvenci a rezonanci objevující se v přírodních spektrech. Zjednodušeně to znamená, že díky zvýšení vibrace atomů a odstranění atomů volné vlnové délky v jejich chemické vazbě lze přesně změřit atomy konkrétního plynu. Čistá absorpce infračerveného záření také účinně zvýší teplotu plynu. Měření konkrétního plynu a nastavení senzoru závisí na počtu a hmotnosti atomů v molekulách, stejně tak jako číslo a silná stránka jednotlivých vazeb.

V případě komplexní chemické struktury molekul, bude probíhat rezonance v celém rozsahu. Tento případ je také nazýván jako absorpční spektrum. IR reaguje s plynem pouze tehdy, pokud molekuly „vidí“, tedy pokud dipól na ně směřuje. Je to podobné jako rádiové vlny v přístroji. Je rozdíl, pokud je anténa nahoře vysunutá či dole zasunutá. Molekulární dipóly existují, jsou-li atomy v molekulách uspořádány nesymetricky, nebo v případě, že druhy vibrací nejsou symetrické.

Vibrace zahrnují roztahování a ohýbání molekul, které narušují vytvoření dipólu, nebo dokonce více pólů. Je třeba poznamenat, že existují i rotační energie stavů molekul plynu, ale ty mají tendenci mít dlouhou vlnovou délku mnohem déle, což nelze v jejich vlnové délce záření měřit v mikrovlnné oblasti. Symetrické molekuly, jako je například binární H_2 , N_2 a O_2 , není buzen IR, protože jejich struktury a způsoby vibrace nevytvářejí žádné čisté dipóly.



Obrázek 5 - metoda infračerveného měření: zdroj [25]

Oxid uhličitý je dobrým příkladem symetrické molekuly, která má symetrické a nesymetrické druhy vibrací, takže absorbuje IR. Infračervená absorpční spektra plynu pokrývají široký rozsah 2,0 až 20 mikrometrů a vykazují nejen větší počet hlavních vrcholů, ale také jemné linky struktury. Tyto vlastnosti jsou vlastnosti plynů, stejně jako otisky prstů u člověka. Jejich vlnová délka pozice umožňuje poznat plyny, které budou stanoveny, zatímco jejich výšky poskytují informace, z nichž lze vypočítat koncentrace plynu. V puls délce 1 až 10 Hz výstupu detektorů je sinusový. Střídavé napětí peak-to-peak AC úměrný intenzitě IR dopadá na detektor. V případě IR-absorbující plyn vstupuje do buňky, IR intenzitu na aktivní detektor pro snížení je potřeba podle jednoduchého exponenciálního vztahu s názvem Law Beer-Lambert toto snížit:

$$I = I_0 \exp(-KLC)$$

Vzorec 6 - Law Beer-Lambert

Kde:

I je intenzita v cílové plynu I_0 je intenzita v nulové plynu, např. dusíku. K je faktor závislý na absorpčních čarách plynu a pásmové šířce filtru. L je optická dráha, vzdálenost mezi lampou a detektory C je koncentrace plynu.

Z prvního vztahu, je zřejmé, že koncentrace plynů C může být určena. Pro aktivní výstup detektoru je příslušný výstup změna napětí, kde:

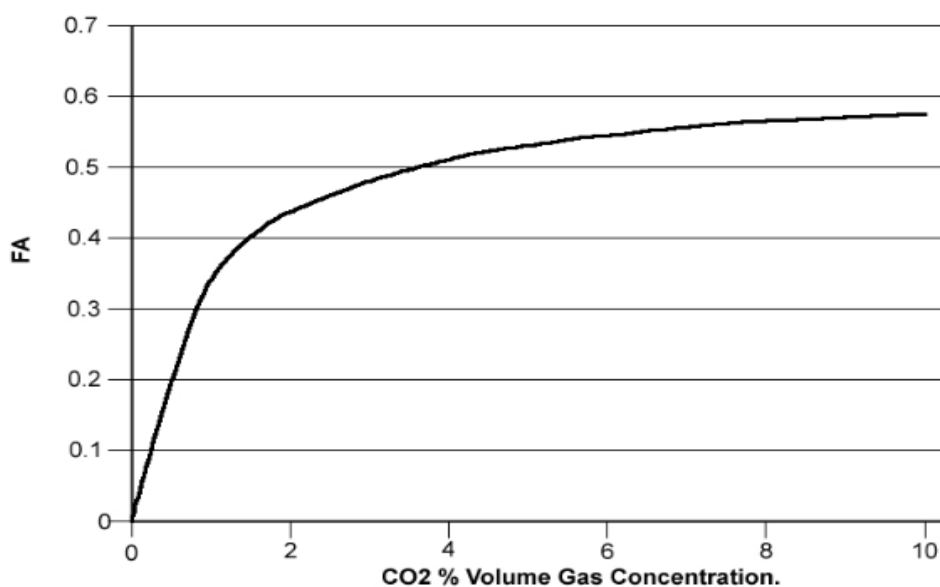
$$\frac{(V_0 - V)}{V_0} = \frac{(I_0 - I)}{I_0}$$

Vzorec 7 - Změna napětí

V je výstup plynu v cílovém V_0 je výstup plynu v nulové rovnice číslo dvě je měřítkem toho, jak dobře lze „nastavit“ cítit plyn a je nazýván Frakční Absorbance (FA). (Pro jednoduchost, referenční kanál je vyloučena). Znovu uspořádání rovnic 1 a 2 se získá následující vzorec:

$$nFA = 1 - \exp(-KLC)$$

Vzorec 8 - Frakční absorpce



Graf 1 - Graf Fa

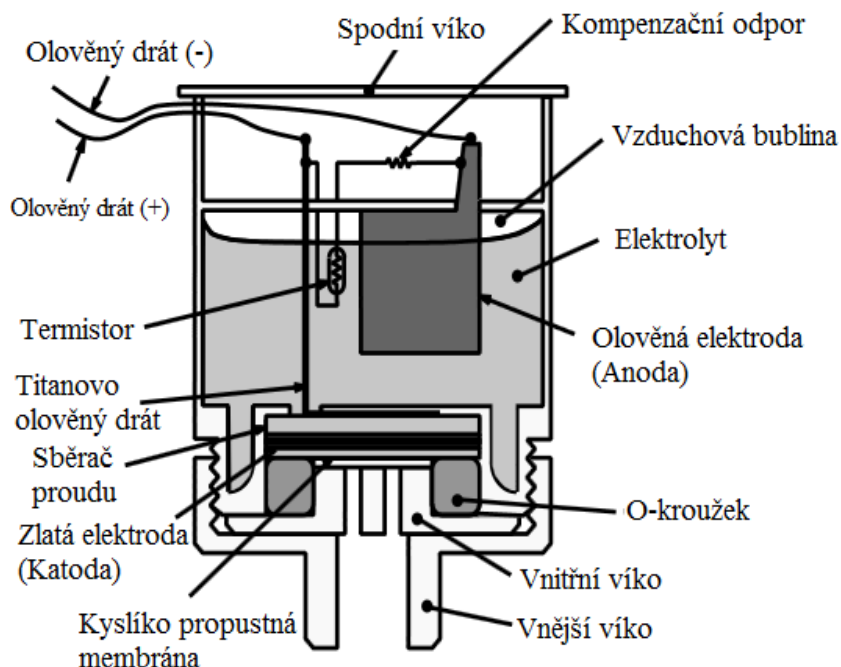
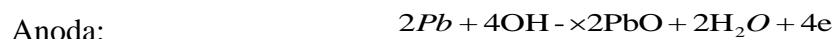
Jsou-li K a L konstantní, pak FA může být zaznamenávána v C , jak je znázorněno například v Graf 1 - Graf Fa. Hodnota FA se zvyšuje s C , ale nakonec nasycené mastné kyseliny ve vysoké koncentraci v plynu. To znamená, že pro každý plyn je nutné nastavit jeho hranice a rozsah schopností.

2.3.2 Metoda elektrochemická

Metoda funguje na principu olovo-kyslíkových baterií. Každá se skládá z olověné anody a katody kyslíku (zlata). Ty jsou ponořeny ve slabé koncentraci do kyseliny octové neboli elektrolytu. Elektrolyt je kapalina vedoucí elektrický proud, v širším smyslu tak nazýváme i látky, které po rozpuštění v daném (proud nevedoucím) rozpouštědle z něj elektrolyt vytvářejí (např. soli).

Neporézní teflonová membrána je přímo vázána na zlaté elektrodě kyslíku prostupující membránou. Proud generovaný je přímo úměrný parciálnímu tlaku kyslíku na snímaném povrchu buňky.

Reakce je následující:



Obrázek 6 - Schéma elektrického čidla: zdroj [25]

Je zřejmé, že čistá reakce generuje PbO. Obvykle je rozpustí v elektrolytu. Nicméně v průběhu chemické reakce může dojít k nasycení elektrolytu PbO, poté už se neodbourá. V tomto případě se PbO vysráží na hlavní anodě, která poté může způsobit selhání buněk při měření, a tak neměřit korektně. Měření je ovlivňováno tlakem, následkem není ideální možnost měření kyslíku. Každý senzor měřící touto metodou má navíc integrovaný obvod teplotní kompenzace.

Díky tomu lze účinně vyrovnávat buněčný výstup v rozmezí 5-40 stupňů Celsia. Tato metoda funguje na principu galvanických článků. Je poměrně přesná a senzor má životnost přibližně dva roky.

2.3.3 Shrnutí způsobů měření

Na měření se nyní využívají pouze dva způsoby. Každý z nich je naprosto unikátní a jejich technický způsob měření je odlišný. Vzhledem k agresivitě bioplynu a stálým změnám koncentrací jednotlivých složek, je však životnost všech senzorů měřících bioplyn průměrně dva roky nebo méně. Agresivita jednotlivých složek plynu je podrobně popsána v kapitole 2.1 Monitoring složek v Bioplynu.

3 Možnosti využití analýz fyzikálních veličin pro predikci

Fyzikální veličiny hrají v BPS velkou roli především z hlediska dlouhodobé udržitelnosti maximálně efektivního stavu, což je jeden z důvodů provozování takto náročné technologie. Veličiny jsou důležité zejména při tvorbě bioplynu a při jeho následném spalování zážehovým motorem, přičemž vznikají dále použitelné jevy. Proces, který se děje během, a také posléze, je třeba udržovat ve stabilním stavu. V opačném případě je proces nejen nestabilní, ale může se stát ekonomicky neudržitelný. To může vést ke krachu celého zemědělského podniku. V kapitole jsou použity zdroje [12], [13], [15], [23].

3.1 Důležité fyzikální veličiny a pojmy s nimi spojené

V první řadě je třeba říci, že BPS jako celek, funguje na základě existence fyzikálních veličin a jevů, proto je důležité je monitorovat. Fyzikální veličiny biologického charakteru, které se prozatím měří, jsou uvedeny v kapitole 2.1. V provozu BPS se však objevují další neméně důležité fyzikální veličiny a jevy, které se prozatím nesledují.

3.2 Vliv meteorologie

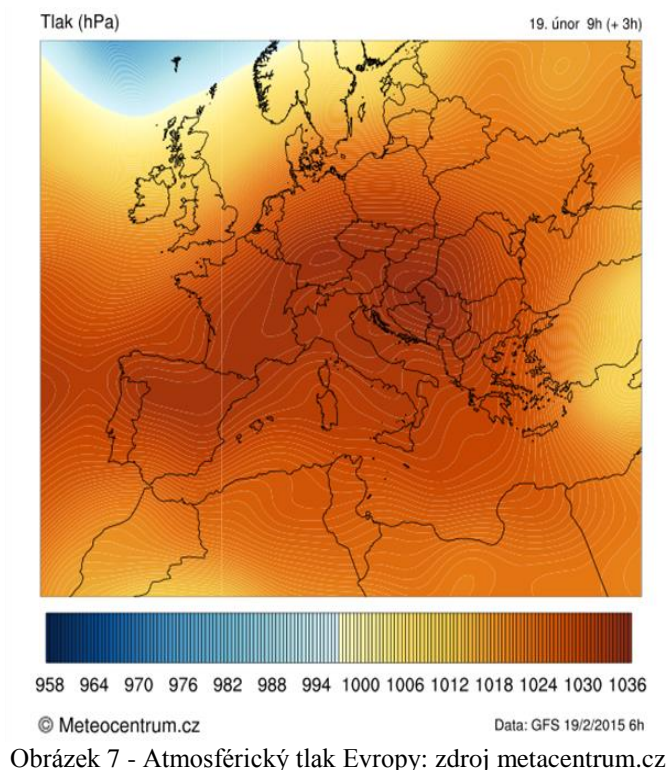
Vliv počasí je znatelný, a to nejen v případě změny ročního období, ale pozorujeme také povětrnostní podmínky, teploty, atmosférický tlak a vlhkost. Každé roční období je charakteristické určitými vlastnostmi, které přináší různé vlivy, a také různé chování fermentace jako takové. Fermentát, z něhož se tvoří bioplyn, je živý organismus reagující na okolní vlivy, a i když je hmota stále zahřívána na teplotu fermentace mezi 38 a 44 °C, roční období zde hraje velkou roli. V zimě je problém s nahříváním fermentační hmoty z důvodu dodávání jak pevných, tak tekutých substrátů ve venkovní teplotě, jelikož se jejich teploty pohybují v rozmezí -15 °C až 0 °C. V tomto případě je nutné dodat substrátům mnohem větší tepelnou energii než v létě, kdy se teplota pohybuje od 15 °C do 35 °C.

Na jaře a na podzim jsou teploty podobné, až na rozdíly v úhrnu srážek, které jsou četnější především na podzim, doprovázené silnými větry. Silné větry sice nezpůsobují přímý vznik konfliktu fermentace, avšak způsobují výpadky elektřiny. Důvodem mohou být spadlé dráty vedení. To způsobí přerušení ideálního stavu fermentace nedostatkem míchání substrátu ve fermentorech, přerušení dávkování nových substrátů a přerušení dodávky tepelné energie ve formě teplé vody, která je odpadní surovinou při tvorbě elektrické energie. Silné deště způsobí změnu váhy dávkovaného substrátu, který má nastavenou hladinu dávky dle aktuálního průběhu. Při období dešťů pevný materiál nabere hmotnost, a zároveň při dávkování sníží výtěžnost plynu z fermentace. To vše zapříčiní nestabilitu procesu.

3.2.1 Atmosférický tlak

Další velice podstatnou a často měnící se okolnost, ovlivňující stav BPS, je atmosférický tlak. Atmosféra je plynný obal Země, který má hmotnost přibližně 5,157 tisíců tun. Tak velká hmotnost vzduchu působí svou tíhovou silou kolmo na libovolně orientovanou plochu na Zemi a způsobuje tak tlak. Tento tlak označujeme jako atmosférický tlak a vzniká tedy tíhou svislého sloupce vzduchu sahajícího od zemského povrchu vzhůru skrz celou atmosféru. Jednotkou tlaku je pascal (Pa), ale dříve se používala jednotka bar (b), z čehož je odvozen název přístroje měřícího tlak barometr. Na výši atmosférického tlaku má vliv teplota vzduchu, obsah vodní páry v atmosféře, nadmořská výška a zeměpisná šířka. Pro vzájemné porovnávání se používá tlak redukovaný na hladinu moře, který odpovídá normálnímu atmosférickému tlaku 1013,25 hPa. Na hodnotu tlaku má vliv gravitace, rozdílnost teploty plynných vrstev, vlastnosti zemského povrchu, rotace a další.

Tlak se může během dne i vícekrát změnit až o několik procent. Při tvorbě bioplynu, a dále při jeho cestě vzniká sice nízký tlak v rozmezí od -20 mBar do maxima 3,40 mBar bez redukce neboli snížení tlaku pomocí nouzového hořáku (Fléry). I při tak malém tlaku, lze pocítovat změnu atmosférického tlaku, která pak dále ovlivňuje správný chod BPS. Při snížení tlaku dochází k zmenšení tvorby bioplynu. V tuto chvíli začíná BPS automaticky přidávat krmnou dávku pevných substrátů z důvodu zvýšení tvorby bioplynu, ale tím může způsobit zahuštění fermentátu.



To se dále projeví v průběhu a složitosti míchání. V návaznosti na to může dojít k přesycení procesu, který v horším případě začne kolabovat a postupně přestává tvořit bioplyn. Nebo se v lepším případě nahromaděná energie při změně atmosférického tlaku postupně uvolní a vyvolá tím masivní tvorbu bioplynu, který není možno využít a jednoduše vyhoří nouzovým hořákem do ovzduší. Obě varianty nejsou příznivé z důvodu finančních ztrát na krmivech. Tyto problémy jsou zaznamenány v protokolech v Tabulka 16, kde lze vidět průběh tlaku BPS vzhledem k atmosférickému tlaku. Hodnoty jsou získány z Českého hydrometeorologického ústavu a jsou propojeny s daty z běhu BPS.

3.2.2 Charakteristiky vlhkosti vzduchu

Další veličinou je vlhkost. Na BPS působí vlhkost v několika fázích. Zaprvé je to vlhkost vzduchu. Vlhkost vzduchu je základní meteorologický prvek popisující množství vodní páry ve vzduchu. Vodní pára, která je soustředěná hlavně ve spodních vrstvách atmosféry, vzniká především vypařováním vodních ploch. Za dané teploty se množství vodní páry ve vzduchu nemůže zvětšovat neomezeně, ale jen po určitou hodnotu, při níž je dosaženo stavu nasycení vzduchu vodní parou. Případný přebytek vodní páry nad množství odpovídající stavu nasycení přejde kondenzací ve vodu nebo desublimací v led. Čím vyšší je teplota vzduchu, tím více páry je třeba k jeho nasycení. Vlhkost vzduchu se vyjadřuje různými způsoby: hmotností vodní páry v určitém objemu vzduchu, stupněm nasycení vzduchu vodní parou atd. podle toho charakterizují vlhkost vzduchu tyto základní veličiny:

Absolutní vlhkost - udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce objemu vzduchu. Tlak vodní páry je dílčí tlak vyvolaný vodní parou coby jednou ze složek směsi plynů. Je charakteristika vlhkosti vzduchu daná rozdílem tlaku nasycené vodní páry (tj. tlaku maximálního) při dané teplotě vzduchu a skutečného tlaku vodní páry při téže teplotě. Měrná vlhkost (specifická vlhkost) - udává hmotnost vodní páry obsažené v jednotce hmotnosti vlhkého vzduchu. Směšovací poměr je charakteristika vlhkosti vzduchu vyjádřená jako podíl hmotnosti vodní páry k hmotnosti suchého vzduchu v daném objemu vzduchu. Relativní vlhkost (poměrná vlhkost) je mírou nasycení vzduchu vodní parou. Udává se v procentech a patří k nejčastěji používaným charakteristikám vlhkosti vzduchu. Deficit teploty rosného bodu je rozdíl mezi teplotou vzduchu a teplotou rosného bodu.

Měření vlhkosti vzduchu znamená určení poměrné vlhkosti vzduchu, tlaku vodní páry nebo teploty rosného bodu v určitém místě atmosféry. Ostatní charakteristiky vlhkosti se dají s použitím hodnoty teploty vzduchu vypočítat. Vlhkoměry (hygrometry), které slouží k měření vlhkosti vzduchu, pracují na různých principech.

Vlhkost ovšem nemá pouze vzduch, který působí na procesy BPS z venkovního hlediska, jako je zamrzání potrubí, kohoutů, přimrzání pevných substrátů a další, ale ve vyrobeném bioplynu se vlhkost objevuje také. Vzniká postupným ochlazováním po trase vedení bioplynu ke spalovacímu motoru. Při měření se nazývá kondenzátem a při kontaktu s motorem a jeho olejovou náplní dochází k nepříznivým vlivům na stav zařízení.

3.2.3 Složky bioplynu

Kromě složek z kapitoly 2.1 a vlhkost z kapitoly 3.2.2 bioplyn obsahuje prvky dosud kontinuálně neměřené, i ty je však pro ideální provoz nejen fermentace, ale také kogenerační jednotky třeba měřit. Čím více složek bioplynu se měří, tím přesnější údaje jsou poté k dispozici na rozhodování o stavech dění v BPS. Kapitola vychází ze zdrojů [9], [22], [23].

Methan	40-75 %
Oxid uhličitý	25-55 %
Vodní pára	0-10 %
Dusík	0-5 %
Kyslík	0-2 %
Vodík	0-1 %
Čpavek	0-1 %
Sulfan	0-1 %

Tabulka 2 - Teoretický obsah bioplynu

➤ NH₃ – Amoniak (čpavek)

Amoniak je bezbarvý plyn, lehčí než vzduch, ostrého štiplavého zápachu, při odpařování z kapalného stavu tvoří chladné mlhy, které jsou těžší než vzduch. Se vzduchem tvoří leptavé výbušné směsi a je málo hořlavý. Kapalný i plynný silně dráždí a leptá oči, dýchací cesty, plíce, kůži, způsobuje dráždivý kašel a dušnost, křeče dýchání mohou vést až k udušení, kapalný vyvolává silné omrzliny, nadýchání vyšších koncentrací může přivodit smrt. Ve spojení s H₂S, která se též vyskytuje v bioplynu, je dokonce dvojnásobným zdravotním rizikem. Je tedy nutné začít tento prvek monitorovat. Frekvence měření postačí stejně jako u H₂S přibližně po 3 hodinách. To především z důvodu maximalizace životnosti senzoru. Prvek NH₃ je možno měřit elektrochemickou metodou popsanou v kapitole 2.3.2. Nebo orientačně spočítat z NH₄.

➤ **H₂ – Vodík**

Vodík je bezbarvý, lehký plyn, bez chuti a zápachu. Je značně reaktivní, především s kyslíkem a halogeny. Ty se slučují velmi bouřlivě, i když pro spuštění této reakce je nutná inicializace (např. jiskra, která zapálí kyslíko-vodíkový plamen). Vodík vytváří sloučeniny se všemi prvky periodické tabulky s výjimkou vzácných plynů, zejména pak s uhlíkem, kyslíkem, sírou a dusíkem, které tvoří základní stavební jednotky života na Zemi.

Vodík je schopen tvořit zvláštní typ chemické vazby, nazývaný vodíková vazba nebo také vodíkový můstek, kdy vázaný atom vodíku vykazuje afinitu i k dalším atomům, s nimiž není poután klasickou chemickou vazbou. Mimořádně silná je vodíková vazba s atomy kyslíku, což vysvětluje anomální fyzikální vlastnosti vody (vysoký bod varu a tání atd.).

Plynný vodík se v našem prostředí vyskytuje ve formě dvouatomových molekul H₂. V zemské atmosféře se vyskytuje jen ve vyšších vrstvách a díky své mimořádně nízké hmotnosti postupně z atmosféry vyprchává. Elementární vodík je však jednou z podstatných složek zemního plynu, vyskytuje se i v ložiscích uhlí. Ze sloučenin je nejvíce zastoupena voda, která jako moře a oceány pokrývá 2/3 zemského povrchu. Další významný zdroj vodíku představují organické sloučeniny.

Vodík patří společně s uhlíkem, kyslíkem a dusíkem mezi tzv. biogenní prvky, které tvoří základní stavební kameny všech živých organismů. Díky tomu se vodík vyskytuje prakticky ve všech sloučeninách tvořících nejvýznamnější surovinu současné energetiky a organické chemie – ropu.

➤ **Vodní pára**

Vlhkost vzduchu se zpravidla vyjadřuje v relativní vlhkosti, to je procento vlhkosti ve vzduchu, kde 100 % představuje vlhkost vzduchu, kdy je vzduch nasycen vodní párou, kdy již nemůže docházet k jejímu zvyšování (každé zvýšení vlhkosti má za následek kondenzaci vodní páry do kapalného stavu). Tato relativní vlhkost vzduchu je pochopitelně závislá na jeho teplotě - čím je teplota vzduchu větší, tím více vodní páry může obsahovat.

Nebo obráceně: zvýšením teploty vzduchu při stejném obsahu vodní páry v něm dochází ke snížení relativní vlhkosti vzduchu. O tomto se můžeme přesvědčit například v podzimních ránech, kdy s poklesem teploty vzduchu dojde ke zvýšení relativní vlhkosti na 100 % a začne docházet ke kondenzaci vodní páry do formy malých kapiček – tvoří se mlha.

Relativní vlhkost vzduchu závisí na jeho teplotě a na množství vodní páry v něm obsažené. Níže je uvedena tabulka pro normovou teplotu a vlhkost vzduchu v exteriéru (-15 °C a 84 %) a pro normovou teplotu v interiéru a různé relativní vlhkosti vzduchu. V této tabulce vybraných vlastností vzduchu jsou uvedeny přibližné vlastnosti vzduchu a teploty, kdy hrozí kondenzace a růst plísní. Je patrné, že pokud je vzduch suchý, tak i při velmi nízkých teplotách nedochází ke kondenzaci vodní páry či riziku růstu plísní. Tabulku s údaji lze najít v Tabulka 16.

3.3 Složky a vlastnosti pevných substrátů rozkladu v BPS

Anaerobní fermentace je biologický proces rozkladu organické hmoty, probíhající za nepřístupu kyslíku. Tento proces probíhá přirozeně v přírodě např. v bažiništích, na dně jezer nebo např. na skládkách komunálního odpadu. Při tomto procesu směsná kultura mikroorganismů postupně v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro další skupinu. Proces můžeme rozdělit do 4 hlavních fází:

Hydrolyza: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

Acidogeneze: působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky k hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

Acetogeneze: dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové.

Methanogeneze: závěrečný krok anaerobního rozkladu, kdy z kyseliny octové, H_2 a CO_2 vzniká methan - CH_4 , tento krok provádějí methanogenní bakterie, což jsou striktně anaerobní organismy, podobné nejstarším organismům na Zemi. Tyto bakterie jsou citlivé především na náhlé změny teplot, pH, oxidačního potenciálu a další inhibiční vlivy.

Z hlediska reakčních teplot rozdělujeme anaerobní procesy, podle optimální teploty pro mikroorganismy na psychrofilní (5-30 °C), mezofilní (30-40°C), termofilní (45-60°C) a extrémně termofilní (nad 60°C). Výhodou procesů prováděných za vyšších teplot je hlavně vyšší účinnost hygienizace materiálu. Nejběžnější aplikací jsou zatím procesy mezofilní při teplotě cca 38°C. Fermentace je obvykle prováděna ve velkých vyhřívaných a míchaných nádržích – fermentorech. Jedná se o kontinuální nebo semikontinuální proces.

Pracovní sušina suspenze se dle materiálu a použitého míchacího systému pohybuje mezi 4 – 12 %. Ve fermentorech dochází k odbourání cca 50 – 70 % organické sušiny materiálu. Velikost nádrží je dána množstvím a kvalitou materiálu, množstvím aktivní biomasy v reaktoru a požadovanou dobou zdržení. Tyto parametry významně ovlivňují produkci bioplynu i kvalitu výstupního materiálu. Hlavním produktem anaerobní fermentace organické hmoty je bioplyn. Bioplyn je bezbarvý plyn skládající se hlavně z metanu (cca 60 %) a oxidu uhličitého (cca 40 %). Bioplyn může ovšem obsahovat ještě malá množství N_2 , H_2S , NH_3 , H_2O , etanu a nižších uhlovodíků. Tabulka 2 umožňuje čtenáři udělat si představu o složení a vlastnostech vybraných druhů bioplynů. Popsáno za pomoci zdroje [22].

Hodnoty je potřeba brát jako informativní, skutečné vlastnosti BP vždy závisí na mnoha faktorech, zejména na fermentovaném materiálu. Vedlejším produktem je stabilizovaný anaerobní materiál (fermentační zbytek, digestát, fermentát), který je v současné době asi nejvíce využíván jako hnojivo. Nejpoužívanější technologií výroby BP s bohatými referenčními odkazy je tzv. "mokrý fermentace", která zpracovává substráty s výsledným obsahem sušiny < 12 %. Mokrý anaerobní fermentace probíhá v uzavřených velkoobjemových nádobách (fermentorech/reaktorech). Tyto nádoby jsou vyhřívány na navrženou provozní teplotu (běžně 35 °C až 55 °C) a míchány.

3.3.1 Fermentát

Organická hmota tekutého původu, která obsahuje veškeré substráty dávkované do fermentačního procesu. Substráty se dělí na dva základní typy. V první řadě to jsou pevné substráty, a to hlavně ty nejpoužívanější kukuřičná siláž, travní, vojtěšková a GPS senáž, hovězí hnůj, cukrovarnické řízky a čerstvá tráva. Mezi méně používané substráty se řadí pšeničný šrot, drcené kukuřičné zrno, brambory, mrkev, cibule a další biologický zemědělský odpad. Prvně jmenované méně používané substráty se používají na rychlý náběh biologie při problému z důvodu vysokých energetických hodnot a tedy rychlé uvolnění z již jmenovaných substrátů. Poslední jmenované substráty se používají z důvodu ekologické likvidace přebytečné zemědělské produkce stažené z obchodů po uplynutí doby expirace, a tak se zpětně využijí a zhodnotí.

V druhé řadě to jsou substráty tekuté. Nejpoužívanější jsou hovězí a vepřová kejda, slepičí trus, studniční, splašková či dešťová voda a lihovarnické výpalky. Skladba substrátů je pravidelně míchána a zahřívána na teplotu dle použití viz kapitola 3.3. Dle použitých substrátů je v rozboru rozdíl v některých ukazatelích. Na testové bioplynové stanici je skladba substrátů následující: (Veškeré hodnoty jsou ročním průměrem denní spotřeby) kukuřičná siláž – 13,85 t, senáž travní 5,21 t a 40 m³ hovězí kejdy.

V některých ročních obdobích jsou využívány i takzvané sezónní suroviny, jako jsou cukrovarnické řízky používány cca 122 dní v roce s dávkou 5 t a zelená kukuřice dávána přímo z pole v době plnění silážní jámy. Zelená kukuřice se používá cca 60 dní a to ve výši 5,44 t denně. Tyto substráty značně ovlivňují stav fermentátu, jak je patrné z rozboru. Jednotlivé složky jsou definovány v Tabulka 17 - Koncentrace látek ve fermentační hmotě.

➤ **NH₄-N**

Doporučená hodnota 1-3 g/l. Amoniakální dusík. Pochází především z kejdy, nebo substrátů bílkovinné povahy. Pro správný chod BPS je nutná jeho určitá koncentrace, neboť dusík slouží jako živina pro anaerobní bakterie a dále zvyšuje neutralizační kapacitu, čímž přispívá ke stabilitě procesu tvorby bioplynu. Ve vyšších koncentracích se stává pro bakterie jedovatým a zpomaluje tvorbu bioplynu a způsobuje technologické potíže.

➤ **FOS**

FOS je nižší mastná kyselina dále jen (NMK). Doporučená hodnota viz FOS/TAC. Jedná se o nepřímé stanovení nižších mastných kyselin. S rostoucí hodnotou FOS roste ve fermentoru množství meziproductů (kyselin) to může v závislosti na hodnotě TAC způsobit provozní problémy.

➤ **TAC**

Doporučená hodnota viz FOS/TAC. Hodnota TAC vyjadřuje schopnost digestátu tlumit případnou nerovnováhu mezi tvorbou a spotřebou meziproductů (kyselin) při vzniku bioplynu. Čím je tato hodnota vyšší, tím je pravděpodobnost problémů a prudkého poklesu pH nižší a systém stabilnější.

➤ **FOS/TAC**

Doporučená hodnota v rocesu pod 0,5. Je to klíčový ukazatel pro BPS. Vyjadřuje poměr mezi množstvím nižších mastných kyselin (FOS) a volnou kapacitu digestátu pro jejich akumulaci (TAC) bez dopadu na tvorbu bioplynu a pokles pH. Optimální hodnota FOS/TAC je 0,25. Nižší hodnoty svědčí o nízkém zatížení fermentoru (toto ale nezpůsobuje problémy). Vysoké hodnoty (přes 0,5) svědčí naopak o přetížení fermentoru substrátem, nebo o působení toxické látky. Vysoké hodnoty, kolem 1 i více, signalizují akutní problém a je nutné okamžitě snížit, nebo zcela zastavit přísun substrátu a poradit se s odborníkem o dalším postupu.

➤ **PH**

Doporučená koncentrace 7,3-8,0. Hodnota pH vyjadřuje kyselost, nebo zásaditost digestátu. Je důležité, aby nedocházelo k okyselení fermentoru - hodnoty pod 7,3. Při poklesu na hodnoty mezi 5-6 dochází k zastavení tvorby metanu a tento stav může být nevratný. Při vysokých hodnotách (nad 8) dochází k inhibici anaerobních bakterií a zpomalení tvorby bioplynu.

➤ **Kyselina octová**

Doporučená koncentrace pod 1000 mg/l. Kyselina octová je běžný a zcela nutný meziprodukt procesu tvorby bioplynu. Její přítomnost ve fermentoru je zcela běžná. Její akumulace (hodnoty nad 1 g/l) poukazuje na nerovnováhu mezi její tvorbou a spotřebou. Tento stav bývá obvykle spojen s poklesem koncentrace metanu v bioplynu a vzestupem hodnoty FOS/TAC.

➤ **Kyselina propionová**

Doporučená koncentrace pod 500 mg/l. I kyselina propionová je meziprodukt anaerobní fermentace, ale na rozdíl od kyseliny octové je produkována při problémech s biologickým stupněm fermentoru. Její koncentrace by měla být co nejnižší. Dojde-li k jejímu nahromadění, je potřeba delší doba pro její opětovné odbourání.

➤ **Kyselina máselná**

Doporučená koncentrace pod 500 mg/l. Kyselina máselná má podobný význam jako kyselina octová, která vzniká právě rozkladem kyseliny máselné. Její koncentrace by měla být co nejnižší. K hromadění kyseliny máselné dochází tehdy, jsou-li anaerobní bakterie nějak poškozeny - přítomnost toxické látky (zinek, formaldehyd, plísně...) a nebo při přetížení.

➤ **Suma NMK**

Doporučená koncentrace pod 2 g/l. Celkové množství kyselin je při správném chodu BPS nízké. Při zvýšení této hodnoty je nutné se podívat na zastoupení jednotlivých kyselin a vyvodit závěry na základě jejich poměrů.

➤ **Sušina**

Doporučená koncentrace 5-10 % především z důvodu bezproblémového míchání. Nízké koncentrace sušiny (pod 5 %) značí nízké zatížení, nebo malé množství anaerobních bakterií. Při koncentracích nad 10 % dochází k problémům s mícháním a čerpáním. Pokud stoupne koncentrace sušiny přes 10 %, je vhodné ji snížit ředěním.

➤ **Podíl organické sušiny**

Doporučená koncentrace 60-80 %. Vyjadřuje podíl organických látek v sušině, tedy nespotřebovaného substrátu a anaerobních bakterií.

➤ **Teplota**

Doporučená teplota v mezofilním anaerobním rozpadu 38-41 °C (optimálně 40 °C). Teplota je pro anaerobní bakterie klíčová. Při nízké teplotě pracují pomalu, naopak při vysoké začnou odumírat. U teploty je velmi důležitá její stabilita.

➤ **CH₄ – Metan**

Doporučená koncentrace v bioplynu nad 50 %, ale optimálně 55 %. Koncentrace metanu je dána složením substrátu a nelze ji ovlivnit aplikací nějakých přípravků (nebo pouze minimálně). Při použití rostlinných substrátů se pohybuje kolem 55 %. Pokles koncentrace metanu v bioplynu bývá spojen s nárůstem koncentrace oxidu uhličitého a koncentrací kyselin. Takový stav obvykle nastává při přetížení fermentoru a je vhodné snížit dávku substrátu.

➤ **Oxid uhličitý CO₂**

Doporučená koncentrace v bioplynu pod 50 %, ale čím méně tím lepší kvalita je metanu. Oxid uhličitý je vedlejší produkt při tvorbě metanu. Pokud součet koncentrací oxidu uhličitého, kyslíku a metanu nedává alespoň 90 %, může být vadný analyzátor bioplynu a je potřeba jej znovu kalibrovat.

➤ **Kyslík O₂**

Doporučená koncentrace v bioplynu do 1 %. Kyslík není běžnou složkou bioplynu a pochází ze vzduchu použitého pro odsíření. Jeho koncentrace by měla být taková, aby bylo dosaženo požadované účinnosti odsíření, ale zároveň nepřesahoval 1-2 %, neboť při vyšších koncentracích může docházet ke vzniku výbušné směsi. Rovněž je třeba pamatovat, že společně s kyslíkem se do bioplynu dostává i dusík, kterého je ve vzduchu 4x více než kyslíku a tento dusík ředí bioplyn a snižuje koncentraci metanu.

➤ **Sirovodík H₂S**

Doporučená koncentrace je pod 200 ppm, čím menší obsah v bioplynu sirovodík má, tím větší má proběh olejová náplň kogenerační jednotky vysvětlení v kapitole 2.1.1. Sirovodík pochází z rozkladu především bílkovinných materiálů (běžně z kejdy, hnoje, masokostní moučky atd.). Sirovodík, nebo také sulfan, je vysoce toxický a nebezpečný pro obsluhu. V nízkých koncentracích zapáchá po zkažených vejcích, ve vysokých již není cítit. Při vysokých koncentracích může smrt nastat i po jediném nádechu. Sirovodík je těžší než vzduch a může se hromadit v jímkách. Proto by obsluha BPS měla být vybavena osobním detektorem a před vstupem do rizikových prostor vždy nejprve ověřit, zda v nich není nahromaděn sirovodík. Z hlediska spalování bioplynu v KGJ dochází k tvorbě kyseliny sírové, která následně poškozuje motor a snižuje životnost oleje. Přípustné koncentrace stanovuje výrobce motoru. Sirovodík je odstraňován pomocí mikroaerace (vhánění vzduchu do fermentoru). Rovněž může být srážen sloučeninami železa.

3.3.2 Shrnutí kapitoly

Dle rozborů a stanovení k jednotlivým koncentracím se napíše vyjádření ke stavu fermentace, kterou odhadují dle výsledků rozboru. V případě problému menšího charakteru se do poznámky uvede možnost nápravy. V případě většího problému se telefonickou dohodou vyjedná podrobnější rozbor na stopové prvky a mikroorganismy, podle kterých se určí léčení biologické fermentace pomocí chemických příměsí. Příklad vyjádření k malé anomálii od biologa zde: „Zvýšená koncentrace kyseliny octové může indikovat počínající nestabilitu, v případě že by se vám snižoval i obsah metanu v bioplynu, bude potřeba snížit organické zatížení...“. V případech obsluhy BPS, která má komplexní přehled se dá indikovat problém a zakročit dříve než k problému dojde, ale většinou tomu tak není. Použité zdroje v celé kapitole [6], [14], [18].

3.3.3 Digestát

Výsledkem fermentace je digestát, který v porovnání se substrátem vstupujícím do fermentace obsahuje nižší množství sušiny a organických látek, má nižší poměr C:N (do 10:1), obsahuje vyšší množství rychle uvolnitelného a účinného dusíku (NH_4^+). Po anaerobní fermentaci tekutého substrátu hovězího dobytka došlo k významným změnám ve složení vzniklého digestátu. Jak uvádí vyhláška č. 474/2000 Sb., je digestát organické hnojivo typové a musí splňovat jednoznačně uvedené parametry. Pro obsluhu bioplynových stanic je ovšem důležité ze vzorku umět vyčíst kvalitu rozkladu, podle které lze určit dobu zdržení ve fermentorech. To je údaj, podle kterého se dá určit, zda lze vzhledem k vstupním surovinám dobu zdržení zkrátit, nebo naopak prodloužit. Doba zdržení má velký vliv na efektivitu výroby bioplynu. Zkoušky takového typu a rozsahu může dělat pouze akreditovaná laboratoř.

Zkoumané parametry jsou změřeny v laboratorním testu na Obrázek 27 - Výsledek laboratorního měření digestátu.



Obrázek 8 - Koncový sklad BPS

3.3.4 Odsíření bioplynu

Technické odsíření se provádí několika způsoby. Prvním velice nákladným způsobem je čištění bioplynu pomocí uhlíkových filtrů připevněných přímo na vedení bioplynu na část před motor. Je to z důvodu maximálního odchyčení nečistot v bioplynu a to především snížení obsahu síry. Tento způsob je sice velice efektivní, nicméně je velmi neekonomický. Je to z důvodu nákladné přestavby plynového vedení a přidání plynotěsného kastlíku s filtry. Druhá věc je příliš velká frekvence měnění filtrů, u nichž cena za kus je přibližně 100.000 Kč. S frekvencí výměny, která se pohybuje řádově okolo 3 měsíců, jsou náklady neúnosné a návratnost investice příliš dlouhá.

➤ Obohacováním tekutých substrátů oxidem železa

Jednodušší a výrazně levnější je dávkování oxidu železa přímo do tekutého substrátu, který je dále dávkován do fermentační hmoty. Dávkování oxidu železa je s předpřipraveným systémem vcelku jednoduché. Dodává se v 1000 l nádržích s kohoutkem. Z připravené nádrže se denně napustí do tekutého substrátu cca 10–15 l oxidu železa. Takto je možné snížit obsah síry v bioplynu až o 40 %. Jistou nevýhodou je nutnost zaškolení obsluhy na práci s chemickými látkami. Jak toto napovídá, vzhledem k používání chemických látek je tento způsob rizikem při používání a to především zdravotním pro obsluhu. Vezmeme-li v úvahu náklady spojené s nákupem oxidu železa, proškolení obsluhy a možnost jakékoli kontaminace či problému se zdravím s tímto spojené, ani tento způsob není příliš efektivní. V případě použití chemických příměsí je navíc velká pravděpodobnost návštěvy kontroly ze státních orgánů. Návštěva z úřadu životního prostředí sebou přináší vždy nějaký další problém spojený s provozem bioplynové stanice.

➤ Vháněním vzduchu

Způsob odsíření vháněním vzduchu je nejefektivnějším způsobem odsíření. Systém spočívá v důkladném bodovém rozvodu PVC trubek o průměru 10 cm přivedeném do několika míst ve fermentoru a dofermentoru. Platným pravidlem je, na čím více míst je vzduch přiveden, tím lépe se bioplyn odsiřuje. Nejrozšířenější technikou je přivedení vzduchu k okýnkům míchadel hlavního fermentoru. Do dofermentoru je vzduch přiveden jednak k míchadlům, a také do spojovacího plynového potrubí. Toto potrubí spojuje plynovou cestu hlavního fermentoru a dofermentoru. Vzhledem k vysvětlenému fermentačnímu procesu z kapitoly 2.1.4 se zde propojuje fermentát s odsířením.

Fermentát, který se nachází v dofermentoru a má již zkrácenou dobu zdržení po přechodu z hlavní fermentace do vedlejší dofermentace. Substrát nacházející se v dofermentoru se dá využít ve spojení s vháněním kyslíku jako odsiřovací médium. V případě používání pevných substrátů z travnatých ploch, jako je například senáž travní, vojtěšková, hrách a další substráty, se v dofermentoru při spočítání času míchání a vhánění vzduchu na povrchu vytvoří vrstva. Tato vrstva se vytváří postupným vyplouváním nerozložených pevných částí z fermentace. Vrstva se vytvoří po čase potřebném bez míchání při nepřetržitém hlídání. Po uplynulé době se vytvoří vrstva cca 15cm a udržuje se tak, aby byla v maximální tloušťce půl metru a ve stavu bezproblémového míchání substrátu.

Vrstva ve spojení s již zmiňovaným vháněným kyslíkem chemickou reakcí naváže sulfan na sebe a vytvoří bílý koberec na vyplavaný materiál. Je velmi důležité hlídat vrstvu v dofermentoru z důvodu zatuhnutí, a tak vytvoření stavu nerozmíchatelnosti. Tento systém při správném využití umožní snížit obsah síry v bioplynu až o 80 % obsahu síry. Rozvod lze zhotovit za pár tisíc korun a vzduchové dmychadlo opatřené filtrem je obvykle součástí dodávky. Až na možnost zabetonování dofermentoru je tento způsob celkem bezpečný a ekonomicky výhodný. Ovšem vše záleží na možnostech měření bioplynu a kvalifikovanosti obsluhy.



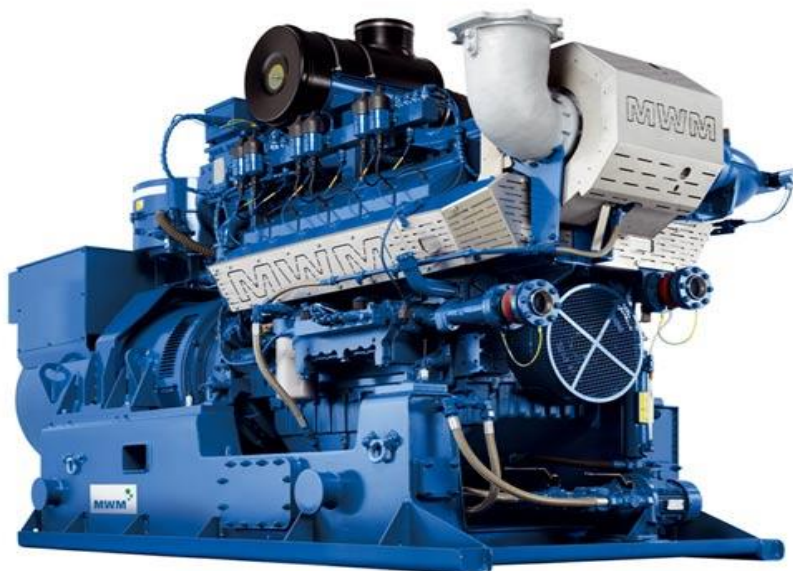
Obrázek 9 - Systém odsíření bioplynu

3.4 Vlivy na mechanická zařízení

Bioplyn všeobecně není úplně ideální palivo z hlediska velkého znečištění, obvykle se srovnává se zemním plynem. Zemní plyn však neobsahuje téměř žádné nečistoty na rozdíl od bioplynu. Některé konkrétní složky bioplynu jsou problematické při dalším zpracování a mají velký vliv na opotřebení ostatních zařízení. Konkrétně se jedná o vlhkost a sulfan. Největší vlivy bioplynu se projevují v kogenerační jednotce.

Na testované bioplynové stanici je motor MWM řady 2016 V12C. Jedná se o spalovací dvanáctiválec do „V“, tato kogenerační jednotka spaluje bioplyn a při spalování se mimo jiné do něho ukládá již zmiňovaný sulfan.

KGJ má olejovou náplň o objemu 360 litrů, která je rozdělena na dvě místa. První umístění je venkovní nádoba o objemu 270 l, která je přímo spojena s olejovou vanou motoru, kde se nachází zbylých 90 litrů oleje. Systém má prozatím přímé spojení vany s venkovní nádobou, avšak recirkulace probíhá pouze dvakrát denně v intervalech po dvanácti hodinách. To velice zkracuje životnost náplně s určitou životností, kde se obsah síry velice rychle projeví.



Obrázek 10 - Kogenerační jednotka BPS

3.4.1 Vliv plynu na olejovou náplň a kogenerační jednotku

Správný mazací olej je pro maximálně efektivní běh kogenerační jednotky to nejdůležitější. Proto má každý typ motoru konkrétní předpis schválených mazacích olejů, který se každý rok mění dle zkušeností a nových zjištění o některých konkrétních olejích. Některé typy olejů se prokážou při provozu jako nevhodné, a naopak noví výrobci dostanou po zkušebních testech místo v novém oběžníku. Použití neschváleného mazacího oleje má za následek hmotné škody na motoru a součástech agregátu. Při vědomém použití neschváleného mazacího oleje končí veškeré záruční opravy a odborný dohled výrobce. Za veškeré dodržení předpisů o mazacích olejích zodpovídá výhradně provozovatel. Provozovatel musí svou povinnost údržby prokázat analýzou mazacího oleje z akreditované laboratoře a v určených intervalech.

Mazací oleje pro spalovací motory jsou mimořádně namáhané jak z mechanického, tak i tepelného hlediska. Za vysokých teplot, kterých dosahují válcová pouzdra, pohybující se v rozmezí od 350 do 450 stupňů Celsia, nesmí docházet k vypařování a zároveň za studena musí být dostatečně řídký z důvodu předmazání součástí kogenerační jednotky po dlouhodobější odstavce.

Do bioplynových kogeneračních jednotek se dají použít dva typy mazacích olejů. Neliší se v druhu, oba jsou minerální, ale v obsahu sulfátového popela. Je dáno, že pro plynové motory by se měly použít oleje s označením La, což znamená Low ash nízký obsah sulfátového popela do 0,5 hmot. %. V praxi se však používá spíše olej Ha (high ash) s obsahem sulfátového popela v rozmezí od 0,5 do 1,0 hm. % a vysoké hodnoty TBN. Tento typ je dle předpisu schválen pro určitý typ motoru, ale speciálně s palivem nikoli bioplynem, ale topným plynem. Ve většině případů, se však používá varianta s větším obsahem sulfátového popela, z důvodu větší neutralizace kyselin, které vznikají při spalování bioplynu a to zejména síry, fluoru a kyselin. Zápornou vlastností je naopak větší sklon k vytváření usazenin při spalování. Ve spalovacím prostoru se mohou usazeniny sloučit s prvky, které jsou obsaženy v plynu jako například křemík (Si). Tyto sloučeniny jsou velmi tvrdé a mají následné abrazivní účinky na pístu, pístních kroužcích, ventilech a na ventilových kroužcích. Tento fakt za dobu tří let na testovaném subjektu prozatím nebyl prokázán.

Vzhledem ke skutečnostem je nutné odebírat vzorky oleje, které se odebírají za běhu motoru z předepsaného odběrového místa. Intervaly odběru jsou předepsané hodinami, ale z praxe při dlouhodobějším používání stejného oleje se časové pásmo rozborů může změnit a zejména prodloužit. Na testované stanici se používá stejný typ oleje již rok po zjištění dobré kvality. Odběry se provádí s pozměněným plánem oproti předpisu. První vzorek se odebírá mezi 600-800 MTH. Dle výsledku rozboru se provádí další odběr. Obvykle je další odběr proveden na 1200 MTH, a pak každých 150 MTH z důvodu sledování vývoje průběhu oleje. Výměna oleje se provádí při překročení nebo dosažení jedné s hlídaných hodnot.

➤ **Parametry olejové náplně**

❖ **Viskozita**

Viskozita je charakteristikou tekutosti mazacího oleje jednotkou je mm^2/s . Je to odpor proti posouvání dvou sousedních vrstev vnitřním třením. Viskozita je nejvíce závislá na teplotě, oxidaci, obsahu pevných cizích látek a odpařovaných cizích látek s nízkým bodem varu jako je například voda.

❖ **TBN (*Total base number*)**

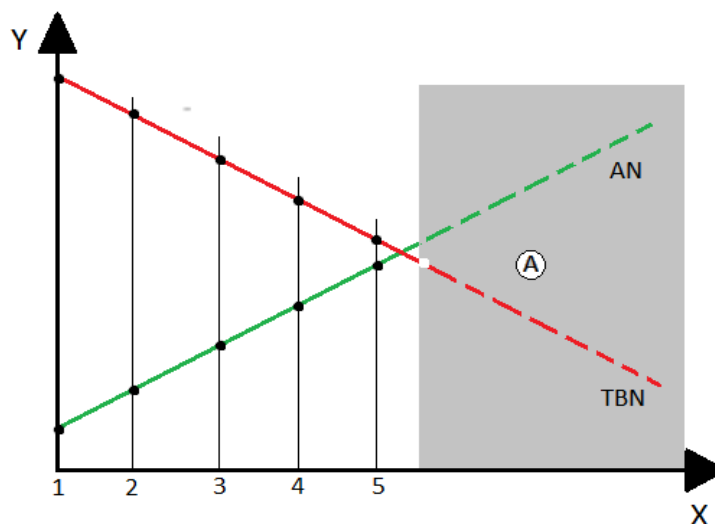
TBN je bazická rezerva mazacího oleje a charakterizuje schopnost chemické neutralizace. Je to nezbytná vlastnost mazacího oleje ke kontrole korozivního opotřebení. Při použití oleje dochází k chemickému odbourání bazické rezervy prostřednictvím reakce s kyselinami. Kyseliny vznikají spalováním plynu, stárnutím oleje a nitrací. Při spalování bioplynu lze počítat vzhledem k procesu spalování s rychlým odbouráním hodnoty TBN. Jednotkou je mgKOH/g .

❖ **AN nebo TAN (*Acid Number*)**

Jinými slovy neutralizační číslo slouží ke zjištění obsahu slabých a silných organických kyselin. Jednotka je totožná s TBN z důvodu velké provázanosti těchto hodnot. Účinné látky v mazacích olejích mají vliv na velikost hodnoty AN, která může nabývat hodnot od 0,5 do 2 mgKOH/g u nových olejů. Vlivem procesu oxidace a nitrace vznikají slabé organické kyseliny a alkalické vlastnosti se snaží tyto hodnoty neutralizovat. Lze je neutralizovat pouze do určité míry. Při dostatečné bazické rezervě zahrnuje hodnota AN pouze slabé organické kyseliny. Mezi nárůstem hodnot AN, stárnutím a nitrací existuje hrubý vzájemný vztah.

❖ *Souvislost mezi TBN a AN*

Zatímco TBN klesá, hodnota AN naopak stoupá. Vzhledem k předpisu vhodnosti olejové náplně musí být hodnota AN vždy nižší než hodnota TBN. Proto je provoz motoru v oblasti **A** zakázán viz Graf 2 - Graf životnosti olejové náplně: Zdroj [24]. V této oblasti ztrácí olej své veškeré mazací vlastnosti.



Graf 2 - Graf životnosti olejové náplně: Zdroj [24]

❖ *SAN (Strong acid number)*

Metoda slouží ke zjištění silných kyselin jako je například kyselina sírová. Pokud je zjištěna vysoká hodnota SAN hrozí pro kogenerační jednotku nebezpečí koroze. Měrnou jednotkou je stejně jako u TBN a AN mgKOH/q.

❖ *Oxidace (stárnutí)*

Vzniká reakcí molekul oleje a molekul účinných látek s kyslíkem. Ta poté vede ke zvýšení viskozity a zvýšení obsahu kyselosti. Poté může dojít k obarvení a usazování kalu v oleji. Látky vznikající z oxidace mohou vytvářet organické kyseliny, které vedou ke korozi i v případě dostatečné bazické rezervy oleje. Měrná jednotka je Abs/cm měřená hodnota zániku (Extinktion) při vlnočtu 1710 cm^{-1} v infračerveném světelném spektru. Touto metodou se zjistí karbonilové sloučeniny vzniklé oxidací.

❖ *Nitrace*

Jednotka je totožná s oxidací. Vzniká reakcí molekul základního oleje a molekul účinné látky s kyslíčkem dusnatým. Vliv je srovnatelný s oxidací. Proces vede ke změnám charakteristiky mazacího oleje. Při silné nitraci dochází k výrazné bazické rezervě a reakce je mnohem vyšší než při oxidaci. Olej se testuje infračerveným světelným spektrem při vlnočtu 1630 cm^{-1} .

❖ *Voda a glykol*

Obsahy těchto látek v oleji indikují netěsnost chladicího systému a průsaky do olejové náplně. To poté vede k tvorbě emulze a následně k ucpání všech funkčních olejových filtrů kogenerační jednotky.

❖ *Kontaminace/aditiva (ppm)*

Křemík – Vzniká ze tří reakcí. Je součástí účinných látek proti vytváření pěny, je obsažen v prachu nasávaného vzduchu, kdy pak působí jako brusná pasta a dostává se do oleje při spalování topných plynů jako je bioplyn. Nepřímo tak dokazuje, že křemík je obsažen ve všech topných plynech.

Sodík – Indikuje kontaminaci oleje chladicí kapalinou. Prokázání však není jednoduché z důvodu odpařování kapaliny z důsledku vysokých teplot při běhu motoru.

Hliník – Typicky se vyskytuje při opotřebení pístů a kluzných ložisek kogenerační jednotky. Může se však objevovat i v nasávaném vzduchu.

Železo – Hodnota tohoto prvku se zvedá v případě opotřebení válců, vaček a zdvihátek, konců hřídele, pístních kroužků a ozubených kol. To způsobuje především spalování nekvalitního plynu s velkým obsahem síry a křemíku. Z praxe však lze odvodit, že při malém opotřebení, které je i tak závažné pro motor analýza nedokáže prokázat zvýšený obsah železa v oleji.

Chrom – Vzniká opotřebením vysoce legovaných součástí motoru, jako jsou pístní kroužky, dříky ventilů, vaček a zdvihátek.

Měď – Zvýšený obsah indikuje opotřebení ložisek, a může to být produkt koroze chladičů olejů a rozvodů mazacích olejů. Po generálních opravách může zvýšení pouze souviset s použitím montážních past. Použitý zdroj pro zpracování kapitoly číslo [24].

3.5 Výpočet trendu opotřebení kovových materiálů motoru

Pomůckou k posouzení motoru na opotřebení je údaj o tzv. reziduích z opotřebovaných kovů. Jeho pomocí lze včas rozpoznat změny stavu motoru. Při posuzování je však nutné sledovat časový průběh koncentrace každého jednotlivého kovu podléhajícího opotřebení při všech časově jdoucích rozborech jedné výměny za sebou.

To znamená sledovat dlouhodobý trend proběhu mazacího oleje v kogenerační jednotce. Nejdůležitějším faktorem je však rychlost opotřebení každé jednotlivé hodnoty, nikoliv však jejich absolutní hodnoty. Překročí-li pak opotřebovaný kov 50 % uvedené hodnoty analýzy, je nutné zkrátit interval odběru vzorku na polovinu doby. Pokud se zvýšené hodnoty potvrdí, je více než jasné, že motor je ve stavu kritického běhu a je nutné ho odstavit. Následuje odborná kontrola a případná výměna dílů podléhajícího opotřebení dříve, než dojde k mnohem větším provozním problémům.

Výpočet rychlosti opotřebení olejové náplně.

$$V_v = \frac{(C_1 - C_2)}{(t_1 - t_2)}$$

Vzorec 9 - Rychlost opotřebení

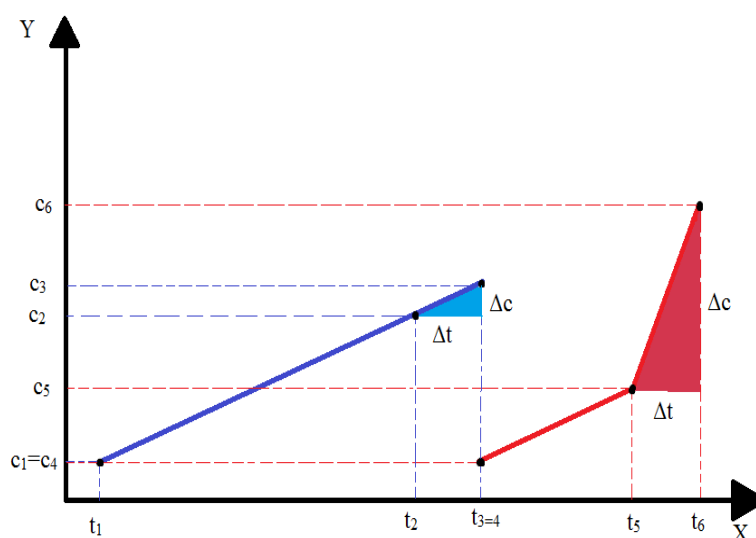
V_v = rychlost opotřebení

C_1 = koncentrace nová

C_2 = koncentrace stará

t_1 = provozní hodiny nové

t_2 = provozní hodiny staré



Graf 3 - Graf opotřebení motoru a přítomnosti kovů v oleji: Zdroj[24].

3.6 Proč monitorovat

Důvodem doporučeného monitorování je velké množství fyzikálních veličin, které je velice těžké uhlídat v plném rozsahu. Všechny popsané fyzikální veličiny jsou důležité pro optimální běh celé bioplynové stanice. Lze doporučit rozdělení na tři části. Biologický problém je problém týkající se tvorby plynu fermentačním procesem. Ten je velice složitý a jeho udržení ve stabilním stavu stojí velkou námahu a spoustu peněz. To především v obvyklých případech, kdy si obsluha BPS neví rady, jelikož nemá dostatečné schopnosti a znalosti.

V tomto případě se problém řeší biologickým dozorem, který ovšem stojí bez vzorků 2000 Kč. Není však důvod platit biologický servis, v případě vytvoření zařízení s expertním systémem porovnávajícím data s historií a zanesenými zkušenostmi dlouhodobého operátora BPS. Problémy s fermentačním procesem se projevují především na tvorbě bioplynu, což je druhý důležitý faktor hlídání procesu BPS. Složení bioplynu a jeho spalování je neméně problematická fáze chodu. Dle stability a kvality fermentačního procesu je plyn více či méně kvalitní. Závisí především na obsahu metanu, oxidu uhličitém a obsahu síry. Spalovací motor má měření průtoku bioplynu, a to přímo souvisí s procentuální hodnotou metanu.

Při obsahu metanu mezi 53 a 54 % je spotřeba v rozsahu 255-265 m³/h. Při snížení obsahu metanu se úměrně zvyšuje spotřeba spalovaného bioplynu, což se poté projeví ve spotřebě pevných a kapalných substrátů BPS. S větší spotřebou pak dále rostou náklady na provoz. Při spalování bioplynu s velkým obsahem síry především větším než 150 ppm dlouhodobě, se výrazně zkracuje životnost oleje v kogenerační jednotce, zanáší se vložky a písty válců, a také se zkracuje životnost zapalovacích svíček. Problém se zapalovacími svíčkami je velice závažný. Při velkém množství obsahu síry dochází k zanášení košíku, který je součástí spodní části zapalovací svíčky. To má za příčinu krátkou životnost svíčky, která se pohybuje v rozmezí od 800 MTH do 2500 MTH. S opravdu kvalitním plynem se životnost prodlouží maximálně na 5000 MTH při ceně 13317 Kč.

Z toho jednoznačně vyplývá, že kvalita plynu je velice důležitá. Počítáme-li náklady pouze na svíčky a vezmeme-li v úvahu, že průměrně je motor schopen být v provozu 162 MTH týdně, je ve studii jednoznačně jasné, že když docílíme, co nejlepších podmínek pomocí monitoringu bude zajištěn provoz v maximálně ekonomickém stádiu. Mimo neovlivnitelné jevy, které se občas dějí. Je tedy opravdu důležité používat co nejlepší monitorovací zařízení.

„MTH je značka pro motohodinu, která určuje měrnou jednotku motoru, u kterého se jinak nedá změřit odvedená práce. Je definována následovně: jedna hodina práce motoru při jmenovitých otáčkách motoru.“

4 Představení aktuálního stavu monitoringu fyzikálních veličin

Aktuální stav monitoringu fyzikálních stavů bioplynové stanice je ve stádiu základních procesů hlídání více stran. Pevné substráty se nyní hlídají pomocí odběrů vzorků struktury. Ty jsou odeslány do laboratoře, která vzorky zanalyzuje na přítomnost jednotlivých prvků a odešle zpět zákazníkovi. V případě použití substrátů do BPS musí rozbor zhodnotit biologický dozor, který dle získaného rozboru zjistí výtěžnost bioplynu a posoudí kvalitu substrátu.

Biologický dozor dále hlídá stav fermentace a digestátu. Za tento dozor si účtuje zvlášť cenu rozboru a zvlášť dozor. Rozbor je hodnocen laboratoří dle náročnosti zkoumaných vzorků. Ceny se pohybují od 800 do 2.000 Kč. Další náklady jsou poté na zhodnocení biologem, který prohlédne vzorek a napíše popis. Tento úkon je hodnocen na 2.000 Kč měsíčně za dohled biologického stavu BPS.

Dalším hlídacím bodem dávkování pevných substrátů je krmný vůz vybavený šesti, na kilogram přesnými váhami, jejichž hodnoty přesně průměruje řídicí systém BPS. Dávkovač je dále řízen pomocí systému dle dávek. Ty určuje naplněnost plynového vaku. Při nedostatečném naplnění lze nastavit procento dávek pevných substrátů. Obsluha dále monitoruje sušinu tekutých substrátů. Ta nesmí přesáhnout 8 % sušiny z důvodu následného zahuštění fermentátu. Vysoké procento sušiny fermentátu komplikuje míchání a přepouštění mezi fermentory. Při míchání se jedná především o velkou zátěž na lopatky a plastové spojky mezi motorem a hřídelí. Ty jsou konstruovány na maximální sušinu 10 %, která je i tak velmi krizová.

Návazností je stav fermentace neboli biologie tvořící bioplyn a důležitý metan. Biologie fermentoru je živá hmota, která je velmi lehce napadnutelná špatným chováním obsluhy a špatným biologickým dozorem chemiků. U fermentace se hlídá také teplota jejího zahřívání, která je důležitá pro správný rozklad jednotlivých substrátů. Dvakrát za rok se pak rozboruje digestát na obsah salmonel dle předpisu životního prostředí. Pro chod BPS digestát dále není důležitý. Je to odpad z procesu BPS, a zároveň hnojivo pro aplikaci na půdy dalších zemědělských plodin.

Dalším hlídacím bodem v procesu je plynová řada. Na konci plynové řady před motorem je analyzátor plynu. V případě testované BPS je od firmy ASEKO. Měří všechny základní hodnoty. Procento metanu (CH_4), pohybující se v rozmezí 50–54,5 % metanu. Dále oxid uhličitý (CO_2), pohybující se v rozmezí od 30 do 48 %. Záleží především na stavu fermentace a rozkladu jednotlivých složek substrátů. Třetí složkou měření bioplynu je kyslík (O_2). Kyslík je měřen z důvodu hlídání jeho koncentrace v bioplynu do 1,5 %. To je bezpečná hranice pro udržení stavu koncentrací s ostatními složkami vzhledem k nebezpečí výbuchu. Poslední měřenou složkou bioplynu je sulfan (H_2S). V úzké závislosti na míchání do fermentoru se zvětšuje nebo snižuje. Pro správný chod je souvislost obsahu síry čím menší hodnota tím lépe. Obvykle se hodnoty pohybují od 20 do 150 ppm.

Poslední měřenou hodnotou v plynové řadě je čidlo měření průtoku spáleného plynu kogenerační jednotkou. Hodnota vyčíslená na monitoru ukazuje průměrnou spotřebu v metrech krychlových za hodinu. Ideální hodnotou je rozmezí od 150 do 170 m³/h. Dle tohoto parametru se dá odhadnout výše metanu v bioplynu, při malé hodnotě je metan vysoký a naopak.

Poslední hlídanou hodnotou týkající se smyčky nejdůležitějších procesů BPS je olejová náplň kogenerační jednotky. Ta má svou předepsanou kontrolu. Momentální stav hlídání je posílání olejových vzorků do laboratoře ALS v Praze každé pondělí. Dle vzorku lze určit stav motoru, a také částečně stav bioplynu konkrétně obsahu síry. Ten se projeví především na obsahu sulfatace v oleji.

Další sledované veličiny jsou popsány a vysvětleny v kapitole 3.4.1. Tím technická kontrola BPS končí a začíná vyhodnocovací proces obsluhy. Bohužel ve velkém množství případů jedna obsluha není schopna uhlídat všechny jevy tak, aby dosáhla co nejstabilnějších procesů. Uhlídat takové množství procesů a informací je pro jednoho člověka velmi namáhavé, velkou pomocí by byla každodenní technická podpora vyhodnocující veškeré stavy za obsluhu.

5 Návrh sledování fyzikálních veličin a jejich využití

Cílem této kapitoly je popsat potřebná hardwarová zařízení a expertní systém pracující s jeho daty. Zařízení bude mít za úkol sbírat data fyzikálních stavů a jevů bioplynové stanice. Jevy budou následně vyhodnoceny a systém dle dostupných informací bude udílet potřebné rady na následující kroky. Ty pak budou obsluhu dále vést co nejlepší cestou, pro maximálně efektivní vrácení nebo udržení procesu v BPS. Závěrem pak bude případová studie pro udání, zda se takovéto zařízení ekonomicky vyplatí či nikoliv.

5.1 Sledování vlivů počasí

Navrhované zařízení bude mít přístup k internetu pomocí síťové karty k připojení pomocí kabelu přímo do routeru a wifi kartu pro připojení bezdrátové. Tak bude možné stahovat aktuální data ze serveru počasí v podobě XML (Extensible Markup Language) nebo JSON (JavaScript Object Notation) souboru. Data budou zpracovány dle důležitosti pro zbytek systému tedy teplota, vítr, bouřky a atmosférický tlak. To vše dle zadané polohy.

Data získaná ze serverů se dále zpřesní pomocí dat získaných z lokální meteostanice umístěné pár metrů od bioplynové stanice. Meteostanice má své vlastní senzory, které dokážou měřit teplotu vzduchu, přízemní teplotu, vlhkost vzduchu a srážky. Díky vlastním sensorům měřícím tyto konkrétní parametry je možné maximálně zpřesnit vlivy počasí v dané konkrétní lokalitě.

Díky zabudované GSM bráně s implementovanou SIM kartou, se data odesílají ze stanice do internetové databáze. Odtud se poté budou stahovat data do navrhovaného zařízení. Z meteostanice lze data stahovat průběžně. Tím bude zajištěna maximální přesnost předpovědi počasí vzhledem k zařízení týkající se bioplynové stanice a jejich podružných zařízení a stavů v procesech. Zdroje použité v této kapitole jsou zdroje s čísly [12], [13].

5.2 Sledování pevných substrátů

Substráty se rozborují ve speciálních laboratořích, a lze z nich spočítat další konkrétní stavy popisující chemické reakce BPS. Z rozborů vyplývají nejdůležitější informace dle jednotlivých prvků. Je jím výtěžnost plynu jednotlivých substrátů, aby bylo možno posoudit jejich kvalitu pro stavy BPS. Přímá výtěžnost plynu se v laboratorních výsledcích nenachází.

Musí se spočítat z hodnot zapsaných v laboratorních vzorcích. Nejčastěji používané jsou dva typy výpočtů na produkci metanu.

Tyto výpočty slouží ke zjištění teoretické výtěžnosti plynu. V žádném případě se nejedná o přesná čísla, ale jen orientační. I tak se dá usoudit, jaká spotřeba a zatíženost fermentace nastane.

Metoda prof. Weissbacha: Zdroj [28] a [29]

$$FOTS = 984 - \text{popel} \frac{g}{kg} - 0,43 \times ADF \frac{g}{kg} - 0,00086 \times ADF^2$$

Vzorec 10 - Výtěžnost plynu Weissbach

Metoda prof. Amona: Zdroj [28] a [29]

$$CH_4 \times kg_{org.su\check{s}}_1 = \text{dusík} \times 15,27 + \text{tuk} \times 28,38 + \text{vláknina} \times 4,54 + BNLV \times 1,12$$

Vzorec 11 - Výtěžnost Amon

Do obou vzorců lze přímo zadat hodnoty z laboratorních testů. I když jsou oba vzorce odlišné, výsledek je však podobný. Může se ovšem mírně lišit, a to z důvodu, že obě hodnoty jsou počítány z jiných složek vzorku. Číslo, které vyjde je ukazatelem kvality substrátu na výtěžnost bioplynu a zatížení fermentační hmoty. Když je číslo vysoké například u kukuřice 250 m³ z tuny materiálu, lze předpokládat vysokou produkci bioplynu při nízkém zatížení fermentační hmoty. V opačném případě se proces obrací a začíná mít problémy se zatížením fermentace při vysokých nákladech.

V případě výpočtu teoretické výtěžnosti plynu pomocí obou vzorců a zprůměrování jejich hodnot lze získat teoretickou výtěžnost každého substrátu dávkovaného do fermentace BPS. Tím lze teoreticky určit spotřebu pevných substrátů na časové pásmo produkce bioplynu, tím související potřebu tekutých substrátů a to v potřebné sušině. V případě bližícího se nebezpečí úpadku biologie fermentátu lze určit dle výsledných rozborů, zda je problém způsoben jedním z pevných substrátů.

V případě nízkého výsledku výpočtu výtěžnosti lze naplánovat dávky a rozložení substrátů. Ty jsou úzce spojeny se šesti váhami dávkovacího stolu s přesností jednoho kilogramu. Spojení dat těchto dvou proměnných lze jednoduše řídit velikost dávky jednotlivých pevných substrátů.

5.3 Sledování tekutých substrátů

Tekuté substráty se analyzují v laboratořích k tomu určených. Pro navrhované zařízení, však postačí hodnota s názvem sušina. Tato hodnota je úzce spojena s dávkováním pevných substrátů a s udržením stavu celkové fermentace v ideálním stavu. Hodnota sušiny je důležitá nejen z hlediska biologického, ale také mechanického. Mechanické hledisko je důležité z důvodu bezproblémovosti dávkování, a dále v potřebě míchání fermentátu. Tím je možné snížit zátěže míchadel, a tak maximálně šetřit elektrické energie s tím spojené. Vzhledem k faktu, že pro účely navrhovaného hlídání je podstatná pouze sušina, je navrhována metoda měření bez nutnosti laboratoře.

Pro určení sušiny tekutého substrátu postačí mikrovlnná trouba a přesná potravinářská váha. Odebraný vzorek zvážíme v čerstvě odebraném stavu. Vložíme na talíř, nebo jinou dobře odvětranou nádobu do mikrovlnné trouby, a při stálém hlídání a občasném míchání ohříváme až do doby, kdy na nádobí zbude pouze suchá část tekutého substrátu. Ta se následně zváží a spočítá pomocí vzorce: $Su\dot{s} = N_i/0,01 * N_a$. N_i je hodnota zvážená na váze po usušení a N_a je hodnota zvážená před sušením. Z toho se pak určí sušina tekutého substrátu. Četnost měření nemusí být velká.

Čím větší hodnota je dosazena do N_a , tím přesnější bude následně výsledná hodnota sušiny a s tím je taktéž spojena doba sušení t_x . Hodnota spočtená ze vztahu je úzce spojena s dávkování tekutých substrátů a to přímo s hodnotou proudové zátěže čerpadla. Při prvním měření a následném dávkování tekutých substrátů, lze při známé sušině odvodit i sušinu budoucího materiálu. Sušinu tekutého substrátu stačí určit s přesností $\pm 2 \%$ a při dávkování se zjištěnou sušinou sledovat jeho dávkování.

Čerpadlo, které substrát dává, má nastavenou frekvenci otáček motoru v hercích (Hz) a odběr proudu motoru v ampérech (A). Po přirovnání dvou veličin, jako je vyjádřená sušina substrátu a odběr proudu čerpadla v centrální dávkovací stanici lze určit, při jaké sušině má čerpadlo daný odběr proudu. Po důkladném srovnání těchto dvou hodnot, lze nadále určovat sušinu tekutých substrátů dle proudového zatížení motoru čerpadla.

Dle tohoto zjištění se dá nastavit korekce proudového odběru motoru a velikosti dávky tekutých substrátu, dle hodnot dávkovače a rozborů pevných substrátů. Na sledované bioplynové stanici je zjištěno, že při sušině v rozmezí 3,5-6 %, což je pro běh fermentačního procesu ideální, má čerpadlo proudovou zátěž do 10,5 A. Z toho lze tedy do budoucna určovat sušinu tekutého substrátu.

5.4 Sledování fermentačního procesu

Sledování fermentačního procesu je jedním z nejdůležitějších sledovaných procesů v celém provozu BPS. Je důležité především z důvodu stability produkce bioplynu. Vzhledem k velké četnosti prvků hlídaných přímo v substrátu je nutné provádět laboratorní testy. Pro navrhované zařízení je nutností provádět laboratorní testy jednou měsíčně. V případě vyhodnocení problému fermentačního procesu lze předpokládat, že nutnost vzorkování může být čtenější. To ovšem v případě, že navrhované zařízení s vyhodnocovacím systémem nebude schopno dle nadefinovaných parametrů napravit proces jinak. Výsledné rozborů jsou od laboratoře vkládány na stránku www.archaea.cz.

Na této webové stránce je vytvořena tabulka, kam jsou všechny údaje zadávány. Pro použití navrhovaného systému je nutné připojení k internetu a následně dvě varianty sbírání dat. První variantou je ruční přepsání dat do vizuálního rozhraní přístroje. Tato metoda je možná v případě problému s přímým připojením na internet. Druhým způsobem je přímé strojové parsování z webového rozhraní. Vyčíslená data se budou srovnávat s vytvořenými mezními hodnotami dle biologických tabulek pro jednotlivé fyzikální prvky. V případě překročení mezních hodnot zařízení určí diagnózu řešení problému. Tu určí spojením vědomostí a dat dříve zjištěných, jako jsou data veškerých substrátů ve spojení s dávkovací vahou a zatížení čerpadel s míchadly. Při prudkém snižování metanu zařízení pomocí algoritmu porovná data s rozborů, vah dávkovače a průtoku plynu. V případě zvýšení průtoku plynu do motoru, zvýšení krmné dávky a následném snižování metanu je jasně indikován problém biologického rázu.

Závěrem zařízení tedy bude nahlášení SMS zprávou obsluze, že je indikován problém biologického charakteru případným překrmením fermentační hmoty a následným úpadkem biologie. V případě opačném se automaticky provede kalibrace plynových sond. Když problém přetrvává, nahlásí přístroj obsluze vadný senzor. První varianta je ovšem závažného charakteru, proto zařízení navrhne, dle nastaveného expertního systému konkrétní pokyny pro obsluhu, vedoucí k zotavení fermentačního procesu. Zotavení procesu je zejména spojeno se zvýšením četnosti míchání s postupným přidáním tekutých substrátů. Případně navrhne přečerpání hmoty z druhého stupně fermentace do prvního stupně, nebo návrh substrátu s rychlejší výtěžností bioplynu. Jak je popsáno ve zdrojích s číslem [6] a [14].

5.5 Sledování plynové soustavy

Plynovou soustavu je nutné sledovat z několika důvodů. Prvním důvodem je bezpečnostní hlídání tlaku ve fermentorech, plynovém vaku a v celkovém plynovém vedení. To je důležité především z důvodu bezpečnosti. I když je tlak ve vedení malý tj. v řádech milibarů, i přes to je nutné zabránit přetlaku. K tomu slouží plynový hořák (fléra), který po zapálení plynu pomocí proudových elektrod sníží tlak plynu ve vedení. Tento senzor lze taktéž využít na ovládání výkonu motoru, nicméně vhodnější je ovládat motor pomocí ultrazvukového čidla používaného na měření hladiny naplnění bioplynu. Signál z tohoto senzoru lze využít k několika řídicím činnostem. Díky znalosti naplnění plynem lze řídit výkon motoru, který je ovlivněn stavem biologie a její produktivitou tvořit bioplyn. V případě nějakého biologického problému je tento senzor první, který nás upozorní, že je něco v nepořádku.

Dalším využitím hladiny naplnění plynojemu je řízení dávkování pevných substrátů. V případě spojení všech těchto procesů získáme kompletní řízení výkonu motoru spojené s dávkováním pevných substrátů a kontrolu stavu fermentace. Ve spojení tlaku plynu a naplnění plynojemu je možná kontrola fermentace, motoru a funkčnosti senzorů na plynové řadě. Další senzor na plynové řadě, který je možné dále využít je průtokoměr plynu. Posledním senzorem umístěným na plynové řadě je průtok plynu. Díky průtoku plynu lze odvozovat další možné stavy, které mohou pomoci při rozhodování nápravy vzniklého problému nebo korekce dalších měřených hodnot závislých na stavu procesů bioplynové stanice.

Navrhované zařízení tedy dle hodnoty průtoku plynu bude vyhodnocovat stav zapalovacích svíček s pomocí korekce složky metanu. Dle procentuální kvality metanu lze určit přibližnou hodnotu spotřeby plynu motoru. Pokud je vyšší než teoretická hodnota navržená dle hodnoty metanu lze usoudit, že některá ze zapalovacích svíček nefunguje správně. To může ovlivnit stav bezpečnosti motoru. Navrhované zařízení spojí informace z ovládacího počítače motoru s daty o plynové soustavě a v případě problému upozorní na vznikající problém. Samozřejmostí sledování plynové soustavy bude kvalita a složení plynu. Sledovat bude procentuálně metan, oxid uhličitý, kyslík, sulfan, vodík a amoniak. Systém bude naimplementován tak, aby prováděl automatické čištění senzorů po 3 hodinách, a tak maximalizovat dobu funkčnosti a přesnost jednotlivých senzorů. Jednotlivé složky a jejich měření jsou popsány v kapitole 2.1.

5.6 Sledování stavů kogenerační jednotky

Kogenerační jednotka je samostatně hlídána a řízená speciální počítačem umístěným v místnosti s rozvaděči. Navrhované zařízení tedy v první řadě vezme data z řídicího počítače, a tím bude kompletně kontrolovat stavy kogenerační jednotky. Jsou to zejména teplota oleje, teploty zapalovacích svíček jednotlivých válců, teplotu nasávaného vzduchu, procento otevření škrticí klapky, tlak v klikové skříni a samozřejmě výkon elektrické energie. Při zadání rozsahů a podmínek pro jednotlivé naměřené hodnoty lze vcelku elegantně kontrolovat běh kogenerační jednotky. Tyto hodnoty však pro absolutní hodnotu nestačí. Je nutné provádět další důležité kontroly. Seřadíme-li je od nejdůležitějších k méně důležitým, první zmíníme kvalitu olejové náplně. Za provozu motoru je po 150 Mh nutné odebrat ji do lahvičky o objemu 1 dcl. Ta se následně odešle do laboratoře, v případě testované BPS do ALS laboratoře se sídlem v Praze. Ta do 5-ti pracovních dnů odešle výsledek zkoušky olejové náplně zpět na BPS.

Z laboratorního výsledku se pak následně dá odvodit vnitřní stav motoru a naplánování výměny olejové náplně. Může se stát, že obsluha zapomene vzorek odeslat nebo přehlédne nějakou anomálii v některém z prvků. Ta pak může neblaze působit na motor, a tak může dojít k poškození zařízení. Obsluha tedy do navrhovaného zařízení zadá každý vzorek, jak starý, tak aktuální a systém vypracuje předpokládaný trend výdrže náplně, doporučí ideální dobu odběru vzorku a samozřejmě upozorní v případě nepřírozeného navýšení některého z měřených prvků. Rozsahy jednotlivých prvků a rozhodování, kdy je navýšení nepřírozené se nastaví podle doporučení výrobce a korekce se provede ze zkušeností a trendu průběhu za uplynutý čas chodu od prvního spuštění. Méně časté jsou další kontroly. Jedná se o výměnu vzduchového filtru, mazání ložisek generátoru, vzorkování chladicí kapaliny motoru a rozbor spalovaného plynu. Navrhované zařízení by tedy mělo brát v úvahu všechna sesbíraná data ve spojení s hranicemi nastavenými dle dokumentace výrobce, a v případě nějakých výkyvů nebo upomínky by měl systém upozornit obsluhu, že je nutné provést kontrolu zařízení s upřesněním na konkrétní místo a důvod.

5.7 Měření tloušťky pevné vrstvy plovoucí na tekutém materiálu

Prozatím se neměří tloušťka plovoucího materiálu na kapalině. V mnohých případech je však podstatné tyto stavy měřit. Jedná se především o dvě zásadní místa v technologii. Prvním místem je dofermentor. V dofermentoru se nemíchá příliš často z důvodu odsíření bioplynu. Stává se však, že obsluha nekontroluje plovoucí vrstvu a poté dojde k přílišnému navrstvení a nemožnosti míchání. Když se vrstva zvětší natolik, že nejde rozmíchat je nutné pracně a velmi nákladně vrstvu rozmíchat externími míchadly.

Téměř totožný problém může nastat na hladině koncového skladu. Je nutné tento stav BPS tedy ohlídat. Je možné toho docílit implementováním reflexního radarového snímače na vrchní okraj každé z jímek. Tento snímač bude poté měřit výšku a rozhraní mezi kapalinou a plovoucí kašovitou či tuhous hmotou. Výsledný efekt je pak zcela zřejmý, je možné měřit kompletní stav hladiny a plovoucích vrstev v určených jímkách. Navrhované zařízení bude sbírat signál z čidel a poté vyhodnocovat stav vrstvy vzhledem k bezpečnosti provozu bioplynové stanice.

V navrhovaném zařízení budou naimplementovány dvě varianty vyhodnocení. První variantou bude pouhé oznámení obsluze o blížícím se problému s rozmícháním plovoucí vrstvy v jímkách. Druhou volbou bude nastavení hranice, kdy je ideální míchat a jakou dobu. Tento stav bude v přímé souvislosti s měřením kvality plynu. To zaručí, aby se míchalo maximálně efektivně, jak z důvodu bezpečné vrstvy, a také aby se příliš nenavyšovalo procento síry v plynu. Navrhované zařízení bude propojeno s hlavním řídicím systémem, a tak bude moci ovládat časové prodlevy mezi mícháním v problematických jímkách.

5.8 Oznámení sledovaných stavů obsluze zařízení

Cílem navrhovaného zařízení je maximalizovat efektivitu všech sledovaných stavů a zařízení. I když budou sledované stavy zobrazovány na monitoru a případné problémy ve vyskakovacích oknech, obsluha netráví na stanici 24 hodin denně, je tedy nutné uvědomit obsluhu i v její nepřítomnosti. K tomu poslouží GSM modem s vloženou SIM kartou. Navrhované zařízení bude vybaveno softwarem, který bude jednotlivé případné problémy a stavy přiřazovat zkráceným zprávám. Ty budou poté odesílány pomocí modemu SMS zprávou na určená čísla. Tím bude docíleno úplného hlídání všech problémů, které nastanou, nebo se k nim postupně blížit. Další variantou oznámení by mohlo být pomocí připojení k internetu odesílání e-mailů. V dnešní době za velkého používání chytrých telefonů jsou možnosti opravdu rozmanité. S tím bude spojeno propojení mezi smartphonem a zařízením pomocí remote desktop s VPN nebo dalšími pomocnými klienty jako je například TeamViewer.

6 Případová studie

Studie popisuje hlídání konkrétních stavů probíhajících v bioplynových stanicích pomocí zařízení, které má ulehčit práci obsluhám těchto stanic, ale také maximalizovat efektivitu a ekonomickou stránku zařízení.

Jedná o navržení hardwarového zařízení s expertním systémem vyhodnocujícím stav všech provozně důležitých chemických a fyzikálních jevů bioplynové stanice. Zařízení by mělo aktivně sbírat data a následně upozornit obsluhu na výsledek analýzy sesbíraných dat.

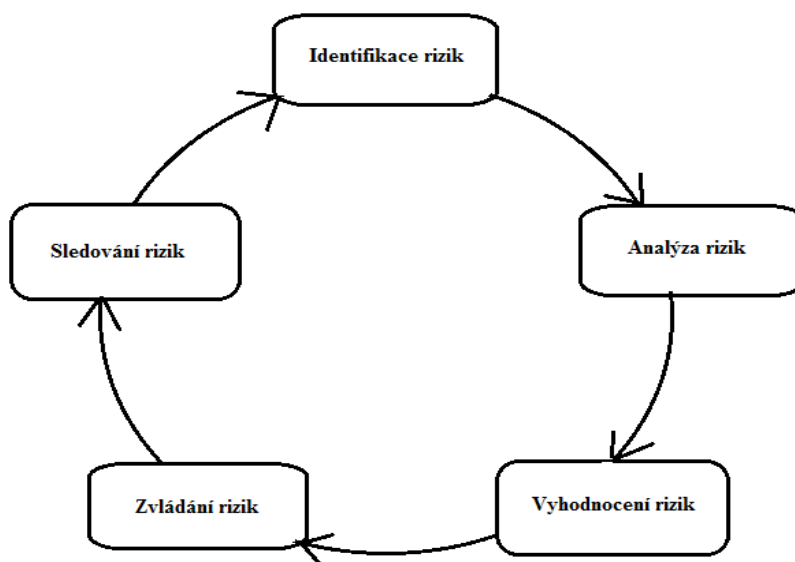
Zařízení bude sbírat data z několika různých zdrojů, a to z připojení k internetu, přímého připojení k senzorům, připojení k hlavnímu řídicímu systému bioplynové stanice, řídicího počítače kogenerační jednotky a dat doplňovaných obsluhou, která nejsou získána z připojených systémů. Samotné zařízení bude obsahovat senzory hlídání kvality plynu, ty jsou popsány v kapitole 2.1 a kapitole 2.2. Připojením k internetu budou získána data o počasí a přímým připojením senzorů se budou kontrolovat hladiny skladovacích jímek a plovoucí vrstvy. Hlavní řídicí systém poskytne data o všech zařízeních na něj připojených a počítač kogenerační jednotky odešle komplexní informace o motoru. Nakonec obsluha doplní data z laboratoří, díky všem těmto datům lze vytvořit rozhodovací systém, který ze získaných informací vytvoří rady pro obsluhu bioplynové stanice. Veškeré principy měření jsou popsány v Existující řešení dostupných postupů a měření bioplynu.

Hlavními důvody tvorby zařízení je ekonomická stránka bioplynové stanice jako celku ve smyslu zajištění maximální efektivity zařízení a ulehčení práce obsluze. S tím je spojena snaha o eliminaci lidského faktoru. Člověk je omylný, a tak je dobré, když je hlídán strojem, pokud je to možné. Myšleno především z hlediska zapomínání a braní důležitých věcí na lehkou váhu, což téměř vždy způsobuje nestabilitu a ztrátu výkonu v bioplynové stanici.

Navrhované zařízení bude samostatně sbírat data, hlídat stav BPS a v souvislostech s informacemi ovládat všechna zařízení celé bioplynové stanice. Zařízení by díky spojení mělo fungovat jako kontrolní a bezpečnostní prvek pro celou BPS. Díky sesbíraným a doplněným datům, jak je popsáno v této kapitole je možné plně kontrolovat celý systém.

Předpokladem modelu je propojení všech těchto informací a stanovení nového rozměru ovládní BPS. Zařízení díky datům bude moci ovládat stavy průběhu fermentace. Díky vzorkům z laboratoře spojeným s kvalitou plynu, spotřebou motoru, sledem počasí, hodnotou naplnění plynojemu, tlakem plynu a kontrolou tekutých a pevných substrátů, lze ovládat správnost míchání a dávkování jednotlivých substrátů. To by zařízení mělo ovládat tak, aby při výkyvech fermentace udrželo stav v ideálním stavu. Především se jedná o správnost dávkování substrátů, správné míchání a kontrolu teploty fermentační hmoty a hlídání hladin ve fermentačních jímkách. Hlídání fermentačního procesu je nejdůležitějším článkem celého systému. Kdyby fermentační proces přestal tvořit plyn, tak by se přestal vyrábět proud a to je u elektrárny značný problém. Po tom, co se stane velký biologický problém, je velice obtížné a nákladné vrátit vše do původního stavu. Zařízení by mělo zabránit k dojití do fáze takto kritického stavu.

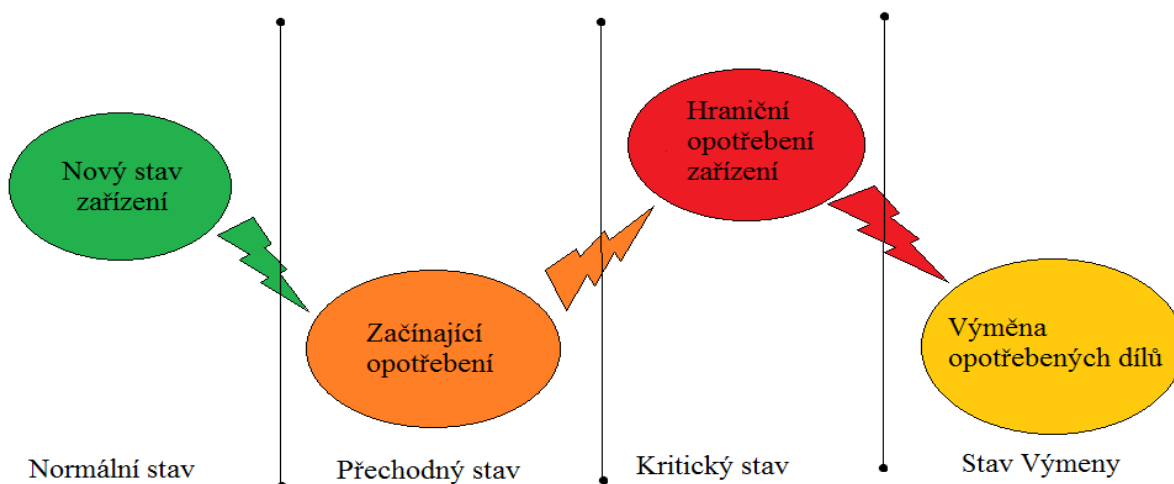
V tomto případě bude nejvhodnější použít risk analýzu jednotlivých rizikových složek. Obecný vztah analýzy je $R = p \times N$, kdy R – je pravděpodobné riziko, p – pravděpodobnost nebezpečí a N – potenciální následky. Problémem je, že tyto hodnoty nejsou vždy ideálně použitelné, a tak je nutné použít složitější model.



Obrázek 11 - Cyklus ovládní rizik: Zdroj [35] a [36]

Druhým zásadním bodem důležitým k hlídání je kogenerační jednotka. Díky informacím z počítače motoru ve spojení s informacemi o kvalitě plynu, spotřebě motoru a doplněným datům z laboratoře je možné komplexně kontrolovat stav kogenerační jednotky. V případě nesrovnalostí bude možné určit základní problémy. Když je metan v rozmezí 51 - 54 procenty, spotřeba plynu více než 285 m³/h a výkon motoru kolísá, systém zkontroluje stav zapalovacích svíček a předem obsluze určí svíčku, již dochází životnost. Ve spojení s informacemi dlouhodobého provozu pak přibližně určí čas výměny. Zdroje v kapitole pro tuto kapitolu jsou [31], [32] a [34].

Data dlouhodobého sledování se dále použijí i u dalších hodnot, především při hlídání olejové náplně, nejdůležitějším aspektem hlídání kogenerační jednotky. Zařízení bude dle vzorků oleje plánovat výměnu oleje a upozorňovat na případné anomálie v jednotlivých vzorcích, které by mohly poškodit kogenerační jednotku. Komplexní hlídání obstará propojení všech ostatních sesbíraných dat. Zařízení upozorní na pravidelné servisy a na stavy naplnění všech skladovacích jímek včetně nutnosti míchání. V případě potřeby podá hlášení pomocí SMS o stavech, které systém BPS nehlídá, ale jsou důležité pro efektivitu celého zařízení.



Obrázek 12 - Model obnovy: Zdroj [35] a [36]

Díky modelu obnovy lze hlídat chod kogenerační jednotky a dlouhodobě předpokládat výměny jednotlivých součástí motoru. Tento model popisuje proces postupného opotřebení a vyřazování dokončených stavů z procesu, jako jsou výměny olejové náplně, náhradních dílů a dalšího spotřebního zařízení s určitou životností, které jsou následně nahrazeny za nové komponenty. Model vychází ze zkoumání a popisu matematických zákonitostí, ve kterých prvky náhodně ubývají a je nutnost nahradit je za nové.

Popisovaný model lze využít nejen na stavy kogenerační jednotky, ale také na výpočet efektivnosti a návratnosti jednotlivých zařízení, nebo jako celku.

6.1 Popis modelu obnovy v bodech

Sledování stejně dlouhých časových období (ideální pro životnosti náhradních dílů a průběhu olejové náplně). Vyřazení prvků, které selhaly, obnova novými prvky a do začátku nového období vstupuje vždy obnovená struktura prvků. Pro každý sledovaný prvek existuje určitá maximální doba životnosti T včetně možnosti průběhu oleje, který se mění.

Soubor dat se skládá z technicky homogenních prvků, což znamená, že jsou prvky stejného druhu, nebo že jsou stejné jejich pravděpodobnosti a_k vyřazení právě na konci k -tého období (předpokládáme-li, že k selhání prvku došlo mezi časem $k-1$ a k). Pro všechny prvky v daném období platí, že závisí na k , tedy takzvaném stáří prvku *pro* $k = 1, 2, \dots, T$. Pak tedy bude platit při maximální době T životnost prvků je $a_T \neq 0$, $a_{T+1} = 0$.

Celkový počet sledovaných prvků v modelu se nemění, ale je vždy nahrazeno tolik objektů, kolik jich v každém určitém období selhalo. Na konci každého období uvažujeme o procesu prosté obnovy. Na počátku procesu jsou všechny prvky homogenní podle stáří a jsou to pouze nové předměty, obnova je prováděna pouze novými prvky. Kritické stavy a havárie jsou ekvivalentní k opotřebení předmětu. Výsledkem je hlášení opotřebení nikoliv částečná nebo normální opotřebení, ale hlášení konečného selhání prvku a nutnost jeho náhrady.

Výchozími veličinami v modelu jsou prvky analyzované v každém časovém období hlídání a z výsledku mohou být odvozeny nutnosti obnovy každých jednotlivých prvků.

Pravděpodobnost selhání a_k v k -tém období mezi časem k a $k-1$, $k = 1, 2, \dots, T$. Na začátku sledování je nutné při výpočtu začít u N_0 tedy nových prvků se stářím 0. V každém období je sledován určitý počet prvků, které zůstaly v provozu na konci období, počet se rovná počtu prvků na začátku následujícího období (diskrétní model). Pravděpodobnost selhání v diskrétním časovém období lze odhadnout relativní četností prvků, které selhaly v daném období.

$$a_k = \frac{N_{k-1} - N_k}{N_0}$$

Vzorec 12 - Pravděpodobnost selhání

$$k = 1, 2, \dots, T$$

N_k je počet prvků, které zůstaly v provozu na konci k -tého období svého stáří, N_{k-1} je počet prvků v provozu na konci období $k-1$.

Vzhledem k tomu, že životnost objektů je konečná a musí dojít k selhání do doby T , proto musí platit vztah: $\sum_{k=1}^T a_k = 1$. Hodnoty a_1, a_2, \dots, a_T tvoří pravděpodobnosti obnovy.

Pravděpodobnost r_k dožití k za více období:

$$r_k = \frac{N_k}{N_0}$$

Vzorec 13 - Pravděpodobnost dožití

pro $k = 0, 1, \dots, T-1$; $N_T=0$

Speciálně pro čas $T-1$ je $r_{T-1}=a_T$

Mezi pravděpodobnostmi dožití a selhání platí vztah:

$$r_k = a_{k+1} + a_{k+2} + \dots + a_T$$

Vzorec 14 - Selhání vs. dožití

pro $k = 0, 1, \dots, T-1$

Pravděpodobnost s ohledem na dožití sledovaných prvků ve spojení s více obdobími ukáže potenciál prvků v budoucnosti, a tím tak lze spočítat budoucí předpokládanou výměnu jednotlivých prvků. Vztah vyplývá z pravidel pro výpočet pravděpodobnosti a lze jej dokázat také pomocí relativní četnosti. Dle dosavadních výpočtů je zcela jasné, že prvek, který je opotřebováván do času k , musí být obnoven v období $k+1$, nebo $k+2, \dots$, nebo \dots, T .

Jedna z těchto možností nastat musí, ale navzájem se vylučují, z toho tedy vyplývá, že pravděpodobnost sjednocení je rovna součtu pravděpodobností popsáném v následujícím výrazu.

$$a_k = \frac{N_{k-1} - N_k}{N_0} = r_{k-1} - r_k$$

Vzorec 15 - Pravděpodobnost sjednocení

$$\begin{aligned} r_{k-1} &= a_k + r_k = a_k + a_{k+1} + r_{k+1} = \dots = a_k + a_{k+1} + \dots + a_{T-1} + r_{T-1} = \\ &= a_k + a_{k+1} + \dots + a_{T-1} + a_T \end{aligned}$$

$$r_{T-1} = \frac{N_{T-1}}{N_0} = a_T$$

Poslední zapsaná rovnost plyne ze vztahu:

$$r_0 = \sum_{k=1}^T a_k = 1.$$

Z výše uvedeného vztahu o r_0 vyplývá následující vztah:

Předpokládaná pravděpodobnost, že jednotka, která přežila do k -tého období, přežije do období $k+1$. Podmíněná pravděpodobnost, kterou lze odhadnout relativní četností z původního počtu prvků, které byly opotřebovávány v období $k+1$ vzhledem k počtu prvků, které byly zatěžovány v období k a více.

$$\frac{N_{k+1}}{N_k} = \frac{\frac{N_{k+1}}{N_0}}{\frac{N_k}{N_0}} = \frac{r_{k+1}}{r_k}$$

Vzorec 16 - Relativní četnost

Míra selhání je podmíněna pravděpodobností selhání během intervalu k , jestliže byl prvek v činnosti ještě v období $k-1$.

$$l_k = \frac{\frac{N_{k-1} - N_k}{N_0}}{\frac{N_{k-1}}{N_0}} = \frac{a_k}{r_{k-1}} = \frac{N_{k-1} - N_k}{r_{k-1}} \times \frac{N_0}{N_{k-1}} = 1 - \frac{r_k}{r_{k-1}}$$

Vzorec 17 - Míra selhání

Průměrná doba použití prvku jde vypočítat jako střední hodnota doby provozu prvků a lze ji popsat následujícím vzorcem:

$$V = \sum_{k=1}^T k * a_k = 1 * a_1 + 2 * a_2 + \dots + T a_T$$

Vzorec 18 - Průměrná doba použití

Průměrnou dobu lze také vyjádřit pomocí pravděpodobnosti přežití:

$$V = r_0 + r_1 + \dots + r_{T-1}$$

Vzorec 19 – Důsledek sjednocení nezávislých jevů

Protože:

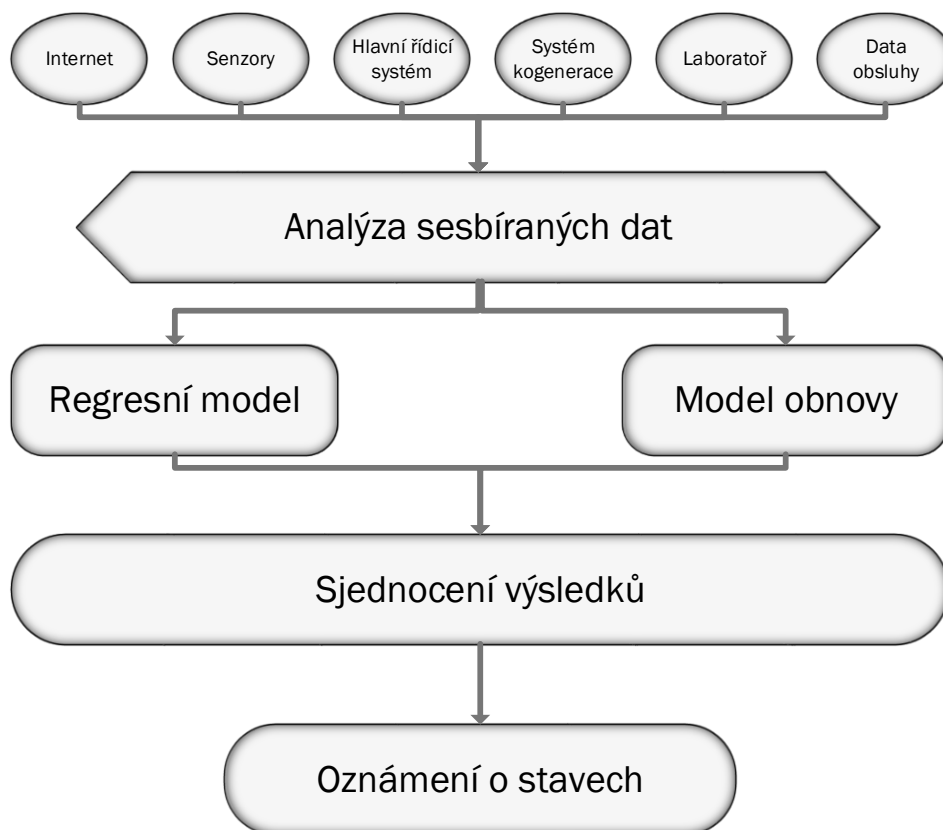
$$\begin{aligned} V &= 1 \times a_1 + 2 \times a_2 + \dots + T a_T = 1(r_0 - r_1) + 2(r_1 - r_2) + \dots + T(r_{T-1} - r_T) = \\ &= r_0 + r_1 + \dots + r_{T-1} + r_T = r_0 + r_1 + \dots + r_{T-1} \end{aligned}$$

Poslední výraz vyplývá z toho, že $r_T = 0$.

Díky těmto modelům lze provést monitoring zařízení pomocí výpočtů se zadanými hlídanými hladinami. Informace byly čerpány ze zdrojů číslo [30], [35] a [36].

Modely jsou dva z důvodu odlišných vstupních dat a rozdílnosti výsledných parametrů a rozhodovacího procesu.

Na následujícím obrázku je vyobrazeno schéma zpracování informací navrhovaného systému.



Obrázek 13 - Schéma navrhovaného systému

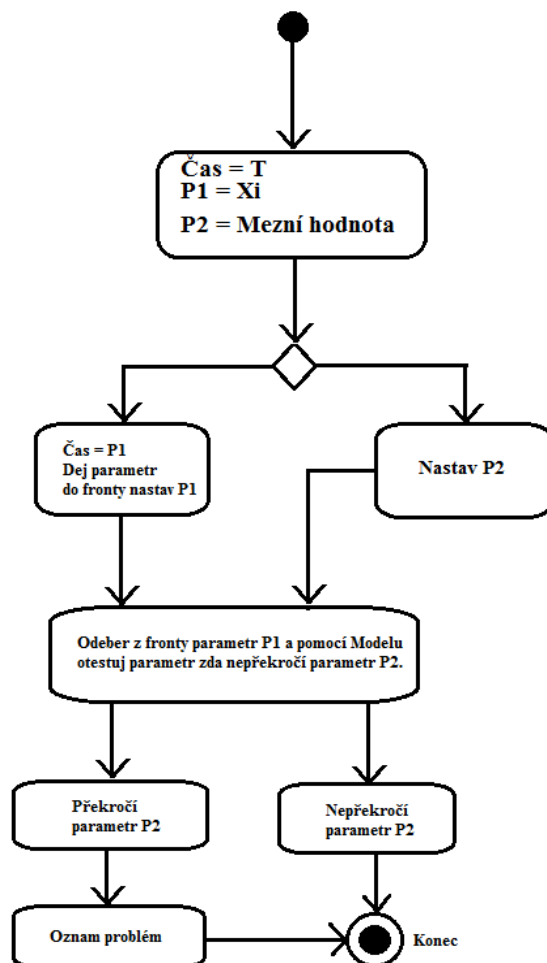
Schéma zobrazuje rozhodování navrhovaného systému. Žluté bubliny naznačují umístění a charakter vstupních dat. Ve druhé fázi označené analýza se příchozí data zanalyzují a převedou do potřebné podoby pro zpracování. Následující body označují modely, které výpočetně zpracují analyzovaná data a určí jejich charakter dle nastavených hraničních hodnot. Ty budou sjednoceny dále dle nastavených priorit buď zobrazeny na displeji zařízení, nebo při závažnějším ohrožení zaslány obsluze formou například SMS nebo e-mailem.

Využití navrhovaného zařízení je opravdu široké a úhel pohledu může být různý. Hlavním cílem je především maximalizovat efektivitu celého zařízení BPS. To je úzce spojeno s ekonomikou nejen vystavěného zařízení, ale při investici 60.000.000 Kč, také s ekonomikou celé firmy.

V případě špatného zacházení je tedy možné přivést k existenčním problémům i středně velkou firmu s majetkem 500.000.000 Kč. Dalším cílem je bezpečnost obyvatel bydlících v blízkosti stavby a obsluhy samotné, především z důvodu úniku bioplynu do ovzduší a možnosti výbuchu fermentorů. Třetím důvodem je ulehčení hlídání takto složitěho zařízení, a tím tak zjednodušení práce obsluhy zařízení. Poslední možností využití je informovat nejen obsluhu, ale jakoukoliv kompetentní osobu například ředitele firmy.

6.1.1 Ověření modelů výpočtem

Model kontroly fermentace je testovací model, kterým lze ověřit, zda by zařízení správně rozhodlo. Ověření dosáhneme tím, že dosadíme starší sesbíraná data s kritickými body a výpočet ověříme.



Obrázek 14 - Schéma algoritmu pro zpracování dat

Jednotlivé parametry hlídající fermentační proces lze hlídat následujícím způsobem. Použitá data pro kontrolní výpočet jsou vzata z hlavního řídicího systému, konkrétně ze dne 4. 8. 2015 v časovém rozpětí 5:18 – 17:18, což lze ověřit z Obrázek 19, jedná se o první část měsíčního protokolu. Z 15 vzorků metanu byla spočítána průměrná naměřená hodnota 49,71 %.

Ideální hodnota metanu při ideální fermentaci je 53 %. Budeme tedy testovat na hladině $\alpha = 0,05$ zda je nutné upozornit obsluhu nebo ne.

Začneme tedy určením hypotézy:

$$\begin{array}{ll} H_0 : \mu = \mu_0 & H_0 : \mu = 53 \\ H_1 : \mu \neq \mu_0 & H_1 : \mu \neq 53 \end{array} \quad \text{tedy v reálných číslech}$$

na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a stupeň volnosti je $df = n - 1$

K výpočtu máme k dispozici 15 hodnot koncentrací metanu za 12hodinový časový úsek. Nutnost četnosti kontroly je možno libovolně měnit. Pro demonstraci kontroly to postačí, ale v zařízení je ideální použít kontrolu výpočtem jednou za hodinu s četností vzorků 60, tedy jeden vzorek za minutu.

Jak již bylo zmíněno, průměr vyšel 49,71 %, ze vzorků pomocí vzorečku:

$$\bar{X} = \sum \frac{1}{n} (x_1 + x_2 + \dots + x_n) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

Vzorec 20 - Průměr

$$\begin{aligned} \bar{X} &= \frac{51 + 50,5 + 50,1 + 49,7 + 49,4 + 49,9 + 49,6 + 49,3 + 49,2}{15} \\ &+ \frac{49,2 + 49,3 + 49,9 + 50,1 + 49,3 + 49,1}{15} = \frac{745,6}{15} = 49,71 \end{aligned}$$

Nyní můžeme spočítat směrodatnou odchylku vztahem:

$$s = \sqrt{\frac{\sum (x_i - \bar{X})^2}{n}}$$

Vzorec 21 - Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{\frac{(51 - 53)^2 + (50,5 - 53)^2 + \dots + (49,1 - 53)^2}{15}} = 3,19$$

Nyní můžeme pomocí výpočtu určit, zda vznikl závažný problém a je nutné ho nahlásit obsluze nebo ne. Protože testujeme střední hodnotu rozdělení dat bez znalosti populační směrodatné odchylky, použijeme t-test, jehož testové kritérium má tvar:

$$T = \frac{\bar{X} - \mu_0}{s} * \sqrt{n}$$

Vzorec 22 - Výpočet závažnosti problému

Po dosazení vzorce určíme realizaci testového kritéria.

$$T = \frac{49,71 - 53}{3,19} * \sqrt{15} = -3,994$$

Vzorec 23 - Rozebraný vzorec problému

Následně musíme výsledek porovnat s kritickými hodnotami:

$$W_{\alpha} = \{t : |t| > t_{1-\alpha/2; df=n-1}\}$$

Vzorec 24 - Testování výpočtu problému

H_0 se zamítá, když platí vztah $|t| > t_{1-\alpha/2; df}$

Dosazeno:
$$W_{0,05} = \{t : |-3,994| > 2,14\}$$

Z výpočtu vyplývá, že H_0 zamítáme na hladině významnosti α . Koncentrace metanu klesla natolik, že je nutné oznámit stav obsluhy bioplynové stanice. Na 5 % hladině významnosti lze říci, že pokud to půjde dále tímto směrem, fermentace se dostane do kritického stavu. Proto je důležité oznámit tento předpoklad obsluhy, a tím tak zabránit problému. Při nahlédnutí do reálných zaznamenaných dat, je po porovnání zřejmé, že výpočet se nemýlí a je nutné zvýšit pozornost na fermentaci.

Takto je možné hlídat každý parametr fermentace zvlášť, a tak udržovat jistou kontrolu. Některé prvky jsou spolu přímo spojeny, nebo dokonce na sobě závislé, a tak je vhodné provést vzájemné kontroly výsledků dvou a více prvků. Zda jsou mezi sebou opravdu prvky významně svázány lze ověřit zadáním hodnot do tabulky.

Je dáno, že hodnota metanu je při problému fermentace přímo spojena s hodnotou spotřeby motoru. Když klesá koncentrace metanu v bioplynu, úměrně se zvyšuje spotřeba spalovaného bioplynu.

Ukázkou jsou zadané reálné hodnoty ze dne 2. 1. 2015 jsou hodnoty kritické, 19.1.2015 jsou hodnoty nadstandardní a průměrné hodnoty jsou hodnoty z měsíce ledna.

Hodnoty BPS	Metan %	Spotřeba plynu m3	Výkon motoru kWh	Denní dávka t
Kritické hodnoty	48,4	6759	14430	28,93
Průměrné hodnoty	52,2	6284,7	14430	23,78
Nadstandardní hodnoty	55	5528	14430	20,81

Tabulka 3 - Spojitost mezi sledovanými prvky

Z Tabulka 3 to vypadá, že by hodnoty mohly být vzájemně korelované. Za předpokladu, že výkon motoru je 100 %, jak je ukázáno v tabulce, je možné určit závislost mezi koncentrací metanu, spotřebou plynu a dávkou pevného substrátu. To je důležité z hlediska udržení kvality fermentace a s tím spojené správné dávkování substrátů. Takto lze porovnat i ostatní hodnoty spojené s fermentací.

Druhým testovacím modelem je model obnovy. Díky tomuto modelu je možné hlídat opotřebení jednotlivých dílů kogenerační jednotky. Ukázkou výpočtu budeme demonstrovat na hlídání olejové náplně a její proběh vyjádřený v motohodinách. Použitá data jsou reálná data vzata z běžného provozu kogenerační jednotky za dobu běhu tři roky.

Začneme výpočet sečtením sesbíraných dat, což jsou jednotlivé proběhy olejové náplně v motohodinách za poslední tři roky.

$$X = 474 + 1116 + 1479 + 1166 + 828 + 856 + 529 + 1396 + 740 + 1607 + \\ + 1549 + 1723 + 1522 + 1591 + 2102 + 1138 + 1522 = 21338$$

Dále spočítáme N_0 pomocí vzorce: $N_0 = \frac{X}{n}$

Kde X je součet předchozích proběhů a n je počet proběhů. Výpočet nám dá hodnotu průměrného proběhu náplně za období existence stanice.

$$N_0 = \frac{21338}{17} = 1255,18$$

Vzorec 25 - Průměrný proběh olejové náplně

výsledkem je vypočtený průměrný proběh oleje v motohodinách.

Nyní můžeme spočítat zatížení nové olejové náplně pomocí vzorce:

$$a_k = \frac{N_{k-1} - N_k}{N_0}$$

Vzorec 26 - Zatížení nové olejové náplně

$$\text{po dosazení } a_k = \frac{1522 - 600}{1255,18} = 0,7346$$

Pro zkoušku bylo dosazeno N_{K-1} , což je poslední známý proběh, N_k momentální najeté motohodiny kogenerační jednotky a N_0 , což je průměrný proběh olejové náplně. Z výsledku víme, že olej je prozatím opotřebován na 26,54 %.

Následovně zjistíme pravděpodobnost, zda nová olejová náplň má možnost vydržet déle, než je průměr.

$$r_k = \frac{N_k}{N_0}$$

Vzorec 27 - Pravděpodobnost výdrže olejové náplně

$$\text{po dosazení } r_k = \frac{600}{1255,18} = 47,8$$

Po dosazení do vzorečku můžeme konstatovat, že pravděpodobnost delšího dožití nynější olejové náplně oproti průměru je 47,8 %.

Jako poslední důležitou pravděpodobnost vypočítáme pravděpodobnost míry selhání aktuální olejové náplně. Lze vypočíst pomocí následujícího vzorce.

$$l_k = \frac{\frac{N_{k-1} - N_k}{N_0}}{\frac{N_{K-1}}{N_0}}$$

Vzorec 28 - Pravděpodobnost míry selhání

$$l_k = \frac{\frac{1522 - 600}{1255,18}}{\frac{1255,18}{1255,18}} = \frac{0,7346}{1,2126} = 0,6058$$

po dosazení

Z toho vyplývá, že pravděpodobnost míry selhání nynější olejové náplně je 60,58 %.

Testujeme na hypotéze:

$$H_0 : \mu = \mu_0$$

$$H_1 : \mu \neq \mu_0$$

tedy v reálných číslech

$$H_0 : \mu = 1255$$

$$H_1 : \mu \neq 1255$$

na hladině významnosti $\alpha = 0,05$ a stupeň volnosti je $df = n - 1$

$$T = \frac{600 - 1255,18}{437,7} * \sqrt{17} = -6,17$$

Vzorec 29 – Výpočet závažnosti problému

$$\text{Dosazeno: } W_{0,05} = \{t : |6,17| > 2,12\}$$

H_0 se zamítá, když platí vztah $|t| > t_{1-\alpha/2;df}$

Ta je z provozního hlediska sice vcelku vysoká, ale ne kritická. Ze všech výpočtů můžeme tedy usoudit, že olejová náplň je prozatím v pořádku. Potvrdil to i test výpočtu problému.

Model bude dále testovat i ostatní prvky podléhající opotřebením a hlásit případné problémy při provozu. Je nutné vzít také v úvahu propojení s prvním modelem. To především u olejové náplně, kdy se kromě proběhu hlídají také jednotlivé složky oleje. V praxi to znamená, že se bude hlídat nejen proběh náplně, ale také kontrola stavu jednotlivých prvků.

Díky těmto modelům lze početně testovat jednotlivé stavy a dle celkového nastavení systému upozorňovat na jejich závažnost dle nastavené priority. Všechny prvky nebudou mít maximální prioritu, což je oznámení zprávou SMS nebo e-mailem. Je nutné je rozdělit do třech odvětví. Mírná, oznámení o plánovaných akcích, mírné kolísání a velký výkyv jednoho prvku, který je spojen s dalšími, u těchto je dostačující oznámení na obrazovce zařízení.

Střední oznámení, což je oznámení o větších výkyvech jednotlivých prvků. V případě spojení více kolísajících prvků spolu navzájem kompatibilní bude problém hlášen obsluze zařízení. V případě výkyvu pouze jednoho prvku, postačí výpis na obrazovku zařízení. Nakonec jsou kritická oznámení, která bude systém vždy odesílat formou SMS nebo e-mailem obsluze zařízení. Jedná se o překročení maximální tolerované hranice nastavené u jednotlivých modelů.

Dle dostupných informací je možné takovéto zařízení vytvořit, nicméně zatím neexistuje. Jeho výroba bude velmi nákladná. Důležitým rozhodovacím argumentem výroby bude tedy cena. Použité zdroje v této kapitole [30], [31], [32], [35] a [36].

6.1.2 Vícenásobná regresní analýza

Regresní modely jsou vhodné na testování praktických situací, a proto byl pro testování vybrán vícenásobný lineární regresní model. V mnoha případech je obtížné identifikovat závislou proměnnou ze složitého nebo nepřesného měření. Tento model určí závislou proměnnou a dokáže vytvořit předběžný odhad hodnot závislých na proměnné. Model může sloužit ke stanovení závislé proměnné v časovém okamžiku do minulosti a dokáže jednoznačně detekovat veličiny, které jsou ve vzájemném vztahu spolu a k vysvětlované proměnné.

Pro sestavení modelu je zásadní identifikace jednotlivých proměnných, které jsou příčinou změn závislé proměnné a celkovému výsledku změny stavu procesu. Regresní model pak popisuje pozorované souvislosti a vztahy. Je tedy možné říci, že pomocí modelu lze odhadnout očekávanou hodnotu závislé proměnné při konkrétní kombinaci hodnot proměnných nezávislých, které jsou v modelu použity. Správnost odhadu tedy ovlivňují změny působení použitých vstupních proměnných, tedy příčin, které děj ovlivňují.

Vícerozměrný regresní model řeší tři základní otázky ovlivňující průběh procesu ze zadaných proměnných. První otázkou je kolik, tedy jaký počet nezávislých proměnných je třeba k uspokojivému vysvětlení závislé proměnné. Dále, které nezávislé proměnné vysvětlí změny závislé proměnné a jaký tvar má tedy dle analýzy mít regresní funkce.

V tomto případě je použit vícerozměrný lineární regresní model k výpočtu očekávaného průběhu provozu na bioplynové stanici. Vstupními parametry jsou nasbírané hodnoty ze senzorů popsanych v předchozích kapitolách.

Do modelu byly vloženy průměry denního provozu ze systémů důležitých pro tvorbu bioplynu. Předpokládá se, že model určí závislé proměnné a dle prvků určí budoucí běh, případně oznámí změnu stavu.

Spotřeba m ³	Krmení t	Výkon kWh	Teplota F. °C	síra ppm	Metan %	CO ₂ %	Vnější t. °C
6685	29,49	14420	41,9	120	49,3	50,0	4,0
6759	28,93	14430	41,9	85	48,4	50,0	4,3
6611	22,17	14420	42,0	98	49,9	49,3	3,5
6223	26,76	14090	41,7	44	51,8	48,0	2,3
6448	27,02	14310	41,0	144	50,6	49,2	1,0
6354	22,50	14210	41,3	54	51,3	48,7	1,5
6273	24,13	14360	41,5	54	52,6	47,4	-0,1
6343	22,56	14430	42,1	62	52,5	47,6	5,2
6315	25,84	14070	42,1	89	51,5	48,4	7,0
5528	24,42	11880	41,8	52	49,5	47,7	11,6
6301	29,02	13900	41,1	43	50,8	49,1	4,4

Tabulka 4- Systémová data průběhu procesu tvorby bioplynu

Tabulka 4 obsahuje ukázkou z vložených dat sesbíraných různými měřicími zařízeními na technologii i mimo ni. Jako závislou proměnnou je zvolena spotřeba plynu, která je ovlivněna všemi ostatními nezávislými hodnotami v tabulce, nebo to tak alespoň vypadá. Je třeba brát také v potaz, že některé závislé proměnné jsou závislé na více než jedné nezávislé proměnné, a každá s proměnných může být stále limitována dalšími nečekanými a i přesto možnými nepřesnostmi, jako třeba porucha konkrétního zařízení nebo chyba při sběru dat.

První nezávislé proměnnou je pevný substrát (v tabulce nazvané krmení). Množství nadávkovaného krmení přímo ovlivňuje množství CO₂ a metanu. Při vysoké hodnotě dávkování začne hodnota metanu klesat a hodnota CO₂ zároveň stoupá. Je to způsobeno chemickým procesem. Pokud se náhle zvedne dávka, proces začne být nestabilní a první hodnota, na které se to projeví, je procento obsahu metanu, dále procento obsahu CO₂ a spotřeba plynu. Je nutné mít všechny tři hodnoty, protože pravděpodobnost nesprávného měření procent obsahů jednotlivých složek bioplynu je velká. Obráceně dávka krmení je zase závislá na spotřebě plynu. Čím větší je spotřeba plynu, tím vyšší je hodnota krmné dávky.

Proměnná výkon je přímo spojena s proměnou doby provozu. Na těchto dvou proměnných je přímo viditelné spojení, je jasné, že pokud není motor v provozu, tedy je doba provozu nižší než 24:00, tak spotřeba plynu přímo úměrou klesá. Zbytek proměnných ovlivňují menšími skoky stav biologie spíše dlouhodoběji. Při provedení regresního modelu se ukáže v jakém rozsahu a zda je nutné je brát v potaz jako hlavní ovlivňující proces či nikoliv.

Vícenásobná korelace a regresní analýza popisuje závislost více než dvou číselných proměnných. V prezentovaném příkladu je více proměnných nezávislých a vysvětlující proměnné jsou z pravidla značeny x_1, x_2, \dots, x_n , a jen jedna vysvětlovaná proměnná je závislá. V případě potřeby lze do analýzy zařadit i slovní proměnné. Je nutno je však vyčíslit. To je možné například přiřazením čísla 1 a čísla nula. Příkladem může být umělá proměnná pohlaví, kdy k ženě přiřadíme číslo 0, a k muži číslo 1 nebo opačně. Pokud má slovní proměnná více než dvě obměny $k > 2$, převede se na $k - 1$ binárních proměnných. Což v řešeném případě není uplatněno.

Prvním krokem ze sesbíraných dat vytvoříme korelační matici a vyřešíme případné problémy s multikolinearitou, pokud nastane. Dále provedeme regresní analýzu, díky které budou odhadnuty koeficienty regresní funkce, a následně bude zvolen vhodný model podle významnosti koeficientů. Volba modelu se rozhodne na základě testu. Modely z testu porovná testovací statistika. K závěru pak proběhne analýza reziduí, a pokud budou splněny všechny podmínky, provede se bodová předpověď.

6.1.3 Vícenásobná korelace

Byla analyzována data z Tabulka 4 z důvodu prokázání závislosti Spotřeba plynu na krmení, výkonu, teploty fermentoru, síry, metanu CO₂, vnější teploty, doby provozu. Je třeba brát také v úvahu jednotlivé počty dnů, ze kterých jsou hodnoty brány.

V MS EXCEL byla vytvořena korelační matice. Postup: Nástroje – Doplnky – Analýza – Analýza dat – Korelace.

<i>Spotřeba plynu</i>	<i>Krmení</i>	<i>Výkon</i>	<i>Teplota F.</i>	<i>Síra</i>	<i>Metan</i>	<i>CO2</i>	<i>Vnější t.</i>	
Spotřeba	1							
Krmení	0,599158	1						
Výkon	0,955729	0,585789	1					
Teplota F.	0,231565	-0,00297	0,117855	1				
Síra	0,123036	0,213829	0,23272	-0,1804	1			
Metan	0,811954	0,488687	0,862567	-0,0005	0,22401	1		
CO2	0,730959	0,572293	0,807629	-0,22552	0,32993	0,90663	1	
Vnější t.	0,187448	-0,16711	-0,04672	0,361623	-0,3515	0,00122	-0,187	1
Doba pr.	0,944714	0,576498	0,967335	0,112484	0,19214	0,89159	0,8238	0,012038

Tabulka 5 - Korelační matice

Podle matice je spotřeba vysoce korelována výkonem, procentem metanu, procentem oxidu uhličitého a dobou provozu. Nižší, i když nezanedbatelná korelace, je také s množstvím krmení. Naopak nízká korelace byla zaznamenána, ve spojení se spotřebou plynu, u teploty fermentace, obsahu síry a vnější teploty. Z tohoto zjištění je možné z dalších výpočtů vyřadit nízkokorelované prvky.

Je nutné však zkontrolovat i korelace mezi vysvětlujícími prvky aby nevznikla multikolinearita. Ta je v regresním modelu nežádoucí. V řešené tabulce je zřejmá vysoká korelace mezi dobou provozu a výkonem, z čehož vyloučíme dobu provozu z důvodu nutnosti použití proměnné výkon. Dále CO₂ je vysoce korelováno s metanem.

Důležitější proměnná pro spotřebu je metan, takže bude vyřazen oxid uhličitý. I když má metan vyšší korelaci s výkonem než se spotřebou plynu z provozního hlediska je tato hodnota klíčová ve správnosti řešení modelu.

6.1.4 Vícenásobný regresní model

Vícenásobný regresní model zjednodušeně zobrazuje realitu a její závislosti se snaží popsat pomocí konkrétních rovnic. Uvažuje se lineární regresní model, proto vztah mezi nezávislými a závisle proměnnou je lineární s neznámými koeficienty β_0 až β_n .

Obecný vzorec:

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_n x_n + \varepsilon$$

Vzorec 30 - Vícenásobný regresní model

ε – Náhodná složka – všechny nepopsané neboli ostatní vlivy

Zbytek pravé strany rovnice popisuje deterministické složky neboli proměnné mající vliv na závislou proměnnou.

Principem regresní analýzy je najít odhady parametrů β_0 až β_n , tak, aby odchylka od naměřených hodnot byla minimální. Takové řešení existuje vždy pouze jedno a nalezneme ho pomocí metody nejmenších čtverců, dále jen MNČ. Ta je založena na řešení soustavy normálních rovnic a řešením jsou vždy odhady koeficientů (b_0, b_1, \dots, b_n). V některém případě se dají použít i umělé proměnné popsané uprostřed této kapitoly Vícenásobná regresní analýza.

Je nutné znovu upozornit, že v regresním modelu nesmí být silná korelace mezi vysvětlujícími prvky, tedy nezávislými proměnnými typu x_i . V případě silné korelace prvků sice MNČ použít lze, ale je zde velká pravděpodobnost, že odhady směrodatných chyb regresních koeficientů (b_i) budou příliš velké. Potom jsou intervaly spolehlivosti příliš široké a t -testy nevedou k zamítnutí hypotézy o nevýznamnosti koeficientů, parametry jsou pak nulové.

Extrémní situace nastane tehdy, kdy mezi vysvětlujícími proměnnými vznikne závislost, tedy kdy je korelační koeficient r_{xy} 1 nebo -1. Pak nejde parametry z modelu pomocí NMČ vůbec odhadnout. Jako příklad lze uvést, kdyby byla použita data pro spotřebu krmení v jednom řádku jako tuny a v dalším v metracích.

Nebo v případě využití umělých proměnných binární proměnné jako je počet obměn slovní proměnné. Pokud se toto stane, jedná se o tzv. multikolinearitu. To v praxi znamená, že jedna z dvojice vysvětlujících proměnných je vzájemně silně závislá. To znamená, že je v modelu navíc a měla by být z modelu vyřazena. Dle některých autorů je multikolinearita nezdravá, pokud je koeficient libovolné dvojice vysvětlujících proměnných x větší než 0,8.

V řešeném případě bylo odhaleno několik multikolinearit, a tak je nutné je z dvojice vysvětlujících proměnných vyřadit. Týká se to logicky proměnných s vysokým, ale také s nízkým koeficientem korelace.

Popis řešeného příkladu s viditelnými multikolinearitami je vidět v kapitole Vícenásobná korelace. Po vyřazení se již v modelu multikolinearita nevyskytuje. Spotřeba plynu je zde silně korelována se všemi proměnnými, ale proměnné mezi sebou už ne.

Nyní přichází na řadu regresní model. Vyjádříme odhad koeficientů regresní funkce. To bude provedeno pomocí MS EXCEL: Data – Analýza dat – Regrese.

	<i>Koeficienty</i>	<i>Chyba stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>
Hranice	87650,11146	21826,50154	4,015765	0,000216905	43715,64325	131584,5797
Krmení	5,620293699	6,537516278	0,859699	0,39441355	-7,53904384	18,77963124
Teplota F.	-14,03803959	116,2850884	-0,120721	0,904437884	-248,107779	220,0316993
Metan	-42,38503003	18,22475135	-2,325685	0,024498767	-79,0695512	-5,700508823
Vnější tepl	-13,05832697	5,689491286	-2,295166	0,026334009	-24,5106788	-1,605975181
Datum	-5,40709E-05	1,50411E-05	-3,594871	0,000788267	-8,4347E-05	-2,37947E-05

Tabulka 6 - Odhad koeficientů

Z toho vyplývá, že odhad regresní funkce má tvar:

$$\hat{y} = 87650,11 + 5,62 * x_1 + (-14,04 * x_2) + (-42,38 * x_3) + (-13,06 * x_4) + (-5,41 * x_5)$$

Vzorec 31 - Regresní funkce

neboli:

$$Spotřipot = 87650,11 + 5,62 * krmeni - 14,04 * Teplota F. - 42,38 * me tan - 13,06 * vnejsi teplota - 5,41 * datum$$

Vzorec 32 - Regresní funkce popsaná

Hodnota regresního koeficientu udává očekávanou neboli střední hodnotu, tedy o kolik se změní spotřeba plynu při zvýšení nezávislé proměnné o jednotku, jestliže hodnoty ostatních nezávislých proměnných se nezmění.

Z koeficientů empirického regresního modelu plyne, že s každou přidanou hodnotou hmotnosti, tedy o jednu tunu krmení, se zvedne spotřeba plynu o 5,62 bodu, pokud se zvedne teplota fermentoru o jeden stupeň Celsia, tak se sníží spotřeba plynu o 14,04 bodu, když se zvedne procento kvality metanu o jedno procento, sníží se spotřeba plynu o 42,38 bodu, pokud se zvýší vnější teplota o jeden stupeň Celsia, sníží se spotřeba plynu o 13,06 bodu, a v závislosti na počtu dní z nichž se vzorky berou se změní spotřeba plynu o 5,41 bodu.

To vše za podmínky, že se změní vždy jen jeden z faktorů neboli jedna nezávislá proměnná a ostatní se nezmění. Spotřeba plynu je udávána v m^3 a je tolik závislá na kvalitě a produkci plynu, z důvodu kvality spalování zážehovým motorem. Což je popsáno v předchozích kapitolách.

Z výsledku rovnice lze pak interpretovat průměrné šetření nebo větší spotřebu plynu v motoru. Díky tomu lze tedy nastavit řízení provozu závislé na datech sesbíraných systémy.

Odhady parametrů v Tabulka 6 byly počítány pomocí MNČ a podle jejich velikosti nelze usoudit, které nezávisle proměnné mají nenulový vliv na závislou proměnnou spotřeba plynu. Vzhledem k tomu, že každá proměnná je měřena v jiných měrných jednotkách, je nutné brát v úvahu také jinou výběrovou chybu. Tabulka současně obsahuje informace na spočítání testů hypotéz o nulovosti jednotlivých koeficientů v regresi.

Mimo odhadů koeficientů pro nezávislé proměnné tabulka také obsahuje další data. Dále obsahuje chybu střední hodnoty, což je směrodatná chyba odhadů pro každý koeficient. Tyto hodnoty je možné vidět také v tabulkách pod názvem Standard error.

Dále lze v tabulce nalézt hodnotu t-Stat neboli T-value, což je testové kritérium pro testy hypotéz o nulovosti jednotlivých koeficientů. T-Stat lze spočítat jako podíl koeficientu a chyby střední hodnoty k němu patřící.

	<i>Koeficienty</i>	<i>chyba stř. hodnoty</i>	<i>t Stat</i>	<i>Hodnota P</i>	<i>Dolní 95%</i>	<i>Horní 95%</i>
Hranice	87650,11146	21826,50154	4,015765	0,000216905	43715,64325	131584,58
Krmení	5,620293699	6,537516278	0,859699	0,39441355	-7,539043839	18,779631
Teplota F.	-14,03803959	116,2850884	-0,120721	0,904437884	-248,1077785	220,0317
Metan	-42,38503003	18,22475135	-2,325685	0,024498767	-79,06955123	-5,700509
Vnější tep	-13,05832697	5,689491286	-2,295166	0,026334009	-24,51067876	-1,605975
Datum	-5,40709E-05	1,50411E-05	-3,594871	0,000788267	-8,43471E-05	-2,38E-05

Tabulka 7 - Odhad koeficientů 2

Pokud p-hodnota pro příslušnou realizaci testového kritéria T-stat nepřesáhne hladinu významnosti $\alpha = 0,05$, poté H_0 o nulovosti koeficientu zamítáme.

Pokud je však významnost opačná, tak nulovou hypotézu nelze zamítnout. Podle výsledků z Tabulka 7 mají proměnné s největší pravděpodobností nenulové hodnoty koeficientů také v populačním modelu, takže jejich význam pro predikci spotřeby plynu není možné z provozního hlediska pro žádný z nich zanedbat. Ovšem z hlediska statistického by bylo možné zanedbat dva parametry a to krmení a teplotu fermentace. Po následném nasazení na systém by však data byla příliš zkreslena, proto je zde uvažováno i s těmito parametry.

Nemůžeme nulovou hypotézu zamítnout dle Hodnoty P z Tabulka 7. To znamená, že absolutní člen může být v populačním lineárním regresním modelu nenulový. Motor, který má spotřebu plynu a bude mít nulové krmení, nulovou teplotu, nula procent metanu a nulovou vnější teplotu bude mít nulovou spotřebu, protože nebude mít co spalovat. Model tím tedy neodporuje realitě.

Dolní a horní 95 % meze spolehlivosti koeficientů se vypočítají přičtením a odečtením výběrové chyby od hodnoty příslušného koeficientu. Výběrová chyba je rovna součinu směrodatné chyby a kvantilu Studentova rozdělení.

<i>Regresní statistika</i>	
Násobné R	0,680992232
Hodnota spolehlivosti R	0,46375042
Nastavená hodnota spolehlivosti R	0,405462422
Chyba stř. hodnoty	119,3444135
Pozorování	52

Tabulka 8 - Regresní statistika

Dalším výstupem regrese je Tabulka 8 tzv. regresní statistika. Jako první je nutné zmínit, že překlad Microsoft Excel není zcela přesný, a je nutné uvést správné názvy parametrů. Násobné R má český název koeficient korelace R. Hodnota spolehlivosti R má korektní název Koeficient determinace R^2 . Nastavená hodnota spolehlivosti R je ve skutečnosti upravený koeficient determinace značený jako R^2_{adj} a chyba střední hodnoty je směrodatná chyba nebo je také nazývána odhad směrodatné chyby a značí se s^2 . Nejdůležitějším výstupem z Tabulka 8 je druhá hodnota a to koeficient determinace R^2 . Tato hodnota $R^2 = 0,4637$ po vynásobení hodnotou 100 vypovídá o tom, že spotřeba plynu je ze 46,37 % vysvětlena popsáním modelem. Rozdílem od 100 % jsou ostatní nesledované vlivy.

To znamená, že přidáním dalších proměnných zpřesňujeme model, ale je třeba dát pozor na výskyt multikolinearity, jako v představovaném příkladu.

ANOVA					
	<i>Rozdíl</i>	<i>SS</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>Významnost F</i>
Regrese	5	566603,6546	113320,7309	7,95619059	1,81638E-05
Rezidua	46	655182,0954	14243,08903		
Celkem	51	1221785,75			

Tabulka 9 – ANOVA

Regresní model je statisticky významný a obecný regresní model je možné odvodit. P-hodnota F-testu je menší než hladina významnosti $\alpha = 0,05$, takže zamítáme nulovou hypotézu o nevhodnosti modelu.

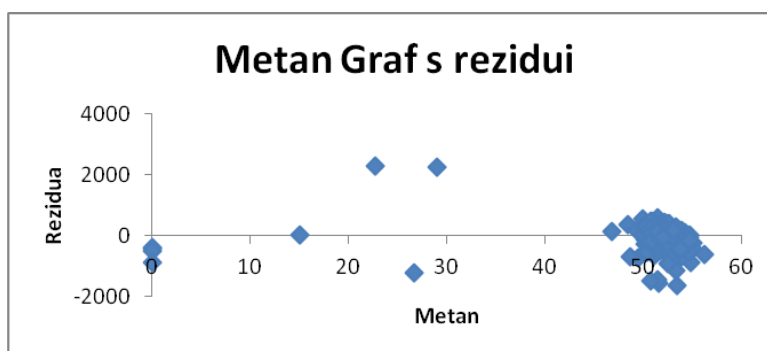
Volba vhodného modelu je velmi důležitá. Příliš vysoký počet proměnných vysvětlujících model může vést ke statistické nevýznamnosti některých koeficientů, i když mezi nimi není zjevná multikolinearita. Volba takového modelu spočívá ve výběru vhodných proměnných a vyřazení proměnných nevhodných. Vyřazení nevhodné proměnné by nemělo mít vliv na kvalitu regresního modelu. Taková proměnná po vyřazení v modelu nezpůsobí pokles kvality modelu, tedy nesníží koeficient determinace.

Proces vyřazení vysvětlujících proměnných probíhá dvěma směry. Směr procesu shora, do modelu se nejprve zařadí všechny vysvětlující proměnné a ty se pak postupně pomocí testu vyřazují.

Druhý směr zdola, se postupně do modelu přidávají proměnné a testuje se, jestli dojde k významnému zlepšení kvality modelu.

Rezidua by měla splňovat tři základní podmínky:

1. Rezidua jsou **náhodná a nezávislá**.
2. Rezidua mají **normální rozdělení** $N(0; \sigma^2)$.
3. Rozptyl reziduí σ^2 je **konstantní**.



Graf 4 - Graf reziduí

Podmínku náhodnosti reziduí lze určit následným způsobem, na ose x je vyneseno pozorování metanu. Jedná se tedy pouze o jednu proměnnou x , a jelikož vysvětlujících proměnných je v modelu více, je nutné vytvořit více grafů. Konkrétně tolik, kolik je v modelu vysvětlujících proměnných. V grafu je vidět, že obsahuje mimo jiné také náhodná rezidua. To znamená, že body v grafu nejsou symetricky poskládána. Čím více je provedeno měření, tím spolehlivěji lze určit stav náhodných reziduí a jejich přesnost.

Dalším testem je znaménkový test ze závislosti spotřeby plynu na ostatních parametrech vysvětlujících proměnných.

Je nutné stanovit hypotézy:

H_0 : rezidua jsou náhodná

H_1 : rezidua nejsou náhodná

Pro názornost byla vzata část dat z počítaného příkladu. Pro ukázkou výpočtu postačí 14 hodnot.

V plném početním modelu jich bude dle volby přesnosti a nutnosti vyjádření modelu. Ukázkový příklad ovšem počítá s denními daty za jeden rok tedy s 365 pozorováními.

<i>Pozorování</i>	<i>Očekávané Spotřeba plynu</i>	<i>Rezidua</i>	<i>Naměřené hodnoty</i>
1	6420,65	419,3524542	6517
2	6694,44	225,5577025	6520
3	6291,71	-462,712268	6520
4	6640,05	-85,0498023	6525
5	6549,51	140,493579	6526
6	6825,81	93,19156008	6527
7	6790,26	215,7372093	6533
8	6787,18	275,8164364	6538
9	6933,18	227,8208714	6538
10	6553,62	362,3847186	6538
11	6262,05	-60,053615	6538
12	6442,60	-623,599441	6541
13	6611,08	-418,07822	6542
14	6409,05	-140,052352	6544

Tabulka 10 - Rezidua

V první řadě je důležité určit počet kladných rozdílů S^+ . V tomto případě z Tabulka 10 vyplývá, že kladných rozdílů je více, v tomto případě 8, tedy $S = 8$.

Dále je nutné spočítat hodnotu testového kritéria U . Lze ji spočítat následujícím vzorcem:

$$U = \frac{S + 0,5 - \frac{n-1}{2}}{\sqrt{\frac{n-1}{4}}} = \frac{8 + 0,5 - \frac{14-1}{2}}{\sqrt{\frac{14-1}{4}}} = \frac{8,5 - 6,5}{\sqrt{3,25}} = 1,1094$$

Vzorec 33 - Testové kritérium

Z toho vyplývá, že $U = 1,1094$ a není větší než 1,96, takže nezamítáme nulovou hypotézu o tom, že jsou rezidua náhodná. Můžeme tedy konstatovat, že podmínka o náhodnosti reziduí je splněna.

Protože rezidua v modelu splňují všechny podmínky, znamená to, že parametry i celý model jsou statisticky významné a na základě tohoto modelu lze vytvořit předpověď. Bodová předpověď hodnoty spotřeby plynu na základě odhadnutého modelu vypadá následovně:

Tvar regresní roviny:

$$\text{Spotřeba} = 87650,11 + 5,62 * \text{krmeni} - 14,04 * \text{Teplota F.} - 42,38 * \text{me tan} - 13,06 * \text{vnejsi teplota} - 5,41 * \text{datum}$$

Vzorec 34 - Spotřeba plynu

Po zadání konkrétních hodnot do modelu lze odhadnout spotřebu plynu dle parametru. Pro potřeby vyvíjeného zařízení se stejným způsobem vytvoří modely pro všechny důležité proměnné popsané v kapitole 5 a ty se poté zavedou do programování. V kapitole Vícenásobná regresní analýza byly použity informace ze zdrojů číslo [37], [38] a [39].

6.1.5 Analýza dat v časové řadě

Nejvíce využívaným modelem časových řad je jednorozměrný model, který je zároveň tím nejjednodušším. Stejně jako u regresní analýzy je i model časových řad jednodušším ztvárněním reality. Formální model neumí nalézt a popsat věcné příčiny vývoje časové řady. Časové řady mají za cíl pouze popis pohybu časové řady. Ta pak vychází z historického vývoje konkrétního ukazatele. V počítaném případě to znamená, že díky této řadě popíšeme vývoj jednotlivých prvků v čase.

V následující ukázce bude použit jednorozměrný model formální, který rozkládá časovou řadu na čtyři složky. Bude tedy vytvořena takzvaná dekompozice časové řady. Ovšem není podmínkou, že všechny složky jsou v každé časové řadě obsaženy.

6.1.6 Modely časové řady

Aditivní model – v tomto modelu se složky sčítají:

$$Y_t = T_t + S_t + C_t + \varepsilon_t$$

Vzorec 35 - Časová řada - Aditivní model

Tento model je v praxi velmi často využíváný.

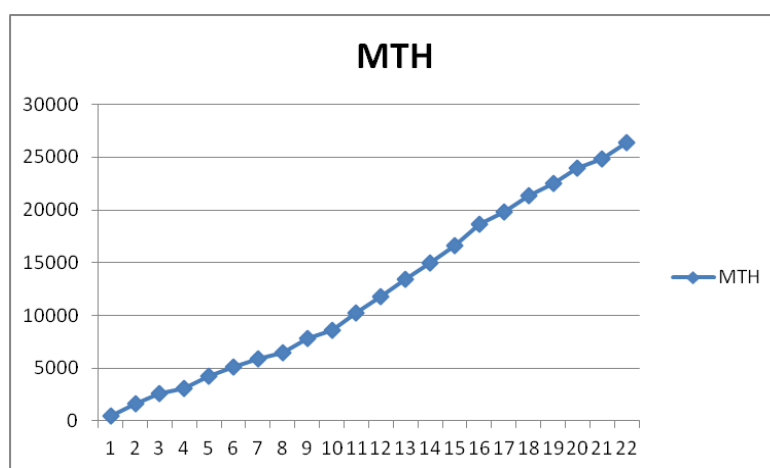
Multiplikativní model – jehož složky se násobí:

$$Y_t = T_t * S_t * C_t * \varepsilon_t$$

Vzorec 36 - Časová řada - Multiplikativní model

➤ Trendová složka (Tt)

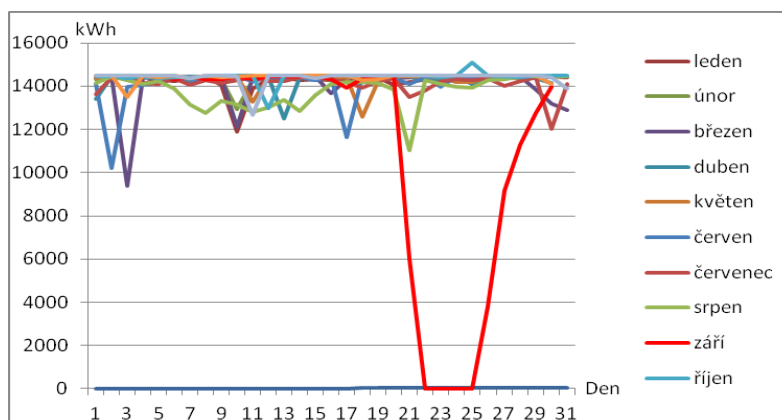
Trendová složka může být zpravidla rostoucí, klesající nebo konstantní. Dlouhodobá tendence časové řady ukazuje, že obvykle časová řada kolísá kolem určité hodnoty. To v praxi znamená, že časová řada může vykazovat spíše parabolický průběh.



Graf 5 - Výměny oleje

Příkladem je Graf 5, ve kterém lze pozorovat jednotlivé výměny oleje po čase běhu KGJ v řádech moto-hodin. Jedná se o časovou řadu s rostoucím trendem. Ta lze také znázornit pro proběh zapalovacích svíček při načítání moto-hodin KGJ.

Druhým příkladem je časová řada s parabolickým trendem. Nutno zmínit, že takovýto typů je v počítaných modelech většina.



Graf 6 - Výkon motoru v roce 2015

Trendová složka je dlouhodobá tendence ve vývoji časové řady konkrétního prvku. Popis této složky slouží k získání informací o hlavní tendenci vývoje analyzovaného ukazatele. Je možné z něho poté odhadnout předpověď ukazatele do budoucna. Nejčastěji se popisuje prostřednictvím konkrétní matematické funkce. Pokles viditelný v září byl způsoben odstavením KGJ v delším než běžném intervalu.

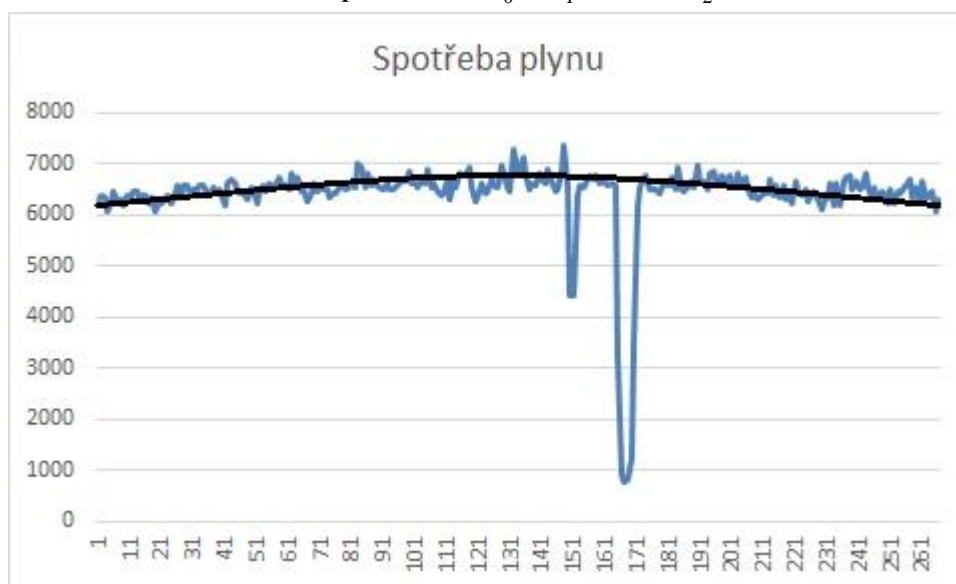
V praxi se pak v analýze uplatňuje matematická funkce používaná v regresní analýze, která je popsána v předcházející kapitole. Využívají se funkce přímka, parabola, logaritmus a další složitější například exponenciální nebo logistická funkce takzvaná S-křivka. Parametry trendových funkcí se odhadují pomocí metody nejmenších čtverců, jak je popsáno v kapitole Vícenásobná regresní analýza pomocí Microsoft Excel. Vysvětlovanou proměnnou je spotřeba plynu označená v časové řadě jako y_t a vysvětlující proměnnou je čas t . Jedná se o kvadratický trend tedy parabolu.

$$y_t = b_0 + b_1 * t + b_2 * t^2$$

Vzorec 37 – Kvadratický trend - Průměrná spotřeba

Je možné to zapsat také ve tvaru:

$$\text{Průměrná spotřeba} = b_0 + b_1 * \text{den} + b_2 * \text{den}^2$$



Graf 7 - Průměrná denní spotřeba

Volba vhodného modelu má čtyři kritéria, věcnou analýzu, grafickou analýzu, analýzu diferencí a koeficientů růstu a volbu, která je na základě determinačních indexů a interpolačních kritérií.

Věcná analýza se posuzuje na základě věcných znalostí problému a jedná se výhradně o řadu rostoucí nebo klesající. Tato analýza roste konstantně, nebo se její růst snižuje nebo zvyšuje. Pokud roste, tak vystoupá nad všechny meze, nebo dojde ke konkrétní asymptotě a tam se ustálí. Další variantou může být rychlý růst, bod zlomu a pozvolné klesání.

Grafická volba se provádí pomocí analýzy grafu časové řady. Provádí se stejně jako při regresní analýze (popsáno v kapitole Vícenásobná regresní analýza). Je snaha nalézt nejvhodnější funkci procházející zobrazovacími body časové řady.

U analýzy diferencí a koeficientů růstu časové řady se jedná o elementární charakteristiky těchto řad a platí pro ně jistá pravidla. V lineárním trendu platí, že první diference Δ jsou přibližně konstantní. U kvadratického trendu jsou pak přibližně konstantní diference druhé $\Delta^{(2)}$. A exponenciální trend má přibližně konstantní koeficienty růstu k .

Volba na základě determinačních indexů a interpolačních kritérií F^2 respektive R^2 používané v regresní analýze není vhodné, jsou-li porovnávány modely s různým počtem parametrů. Lepší je pak využít opravený index F^2_{opr} . Nejen v analýze dat, ale i při regresi se proto preferují jednodušší modely s nižším počtem parametrů. Vyskytují se modely, pro které nelze determinační indexy počítat, proto je komplexnějším nástrojem interpolační kritérium. To je založené na srovnání skutečných hodnot časové řady y_t a hodnot odhadnutých modelem, protože se počítají z reziduí modelu. Model je tím vhodnější, čím je hodnota interpolačního kritéria nižší.

M.S.E. – střední čtvercová chyba odhadu

$$M.S.E. = \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)^2}{n}$$

Vzorec 38 - Střední čtvercová chyba
- V praxi se využívá nejčastěji.

M.A.E. – střední absolutní chyba odhadu

$$M.A.E. = \frac{\sum |y_t - \hat{y}_t|}{n}$$

Vzorec 39 - Střední absolutní chyba

M.E. – střední chyba odhadu

$$M.E. = \frac{\sum (y_t - \hat{y}_t)}{n}$$

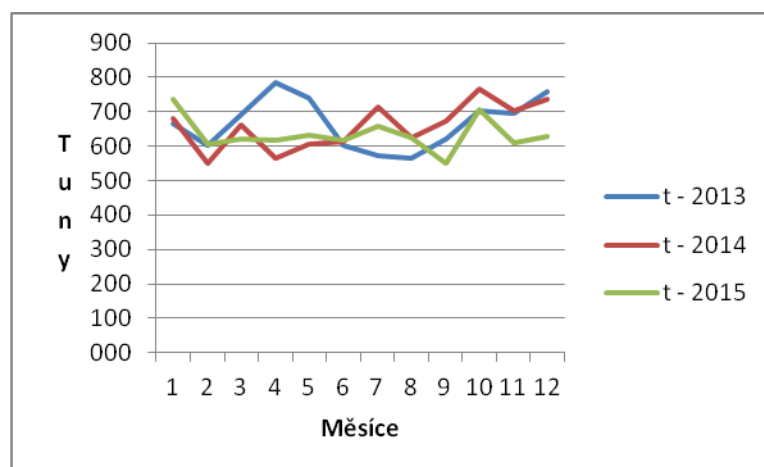
Vzorec 40 - Střední chyba
- Pokud je použita MNČ, je vždy 0.

➤ Sezónní složka (S_t)

Jde o složku s opakujícím se trendem a opakující se odchylkou. Sezónní složka je z pravidla kratší než jeden rok, maximálně je však rovna právě jednomu roku. Doba, po které se odchylka opakuje, je nazývána periodou.

Zde je možné uplatnit další data využívající předchozí model. Jedná se o zjištění, zda v některých měsících je spotřeba krmiv nižší a v jiných zase vyšší.

To lze poté srovnat s ostatními vysvětlujícími proměnnými například s vnější teplotou a z toho se poté dá připravit na jednotlivá období v roce.



Graf 8 - Spotřeba krmiv

Na Graf 8 - Spotřeba krmiv lze vidět spotřebu krmiv za období let 2013, 2014 a 2015 rozdělené po měsících. Nebudeme-li brát v potaz ostatní vlivy a zaměříme se čistě na srovnání údajů jednotlivých období, lze konstatovat, že v období desátého měsíce se zvýší pravidelně spotřeba krmiv.

V případě, že budou vzaty všechny jednotlivé prvky ze všech procesů, je možné ohlídat jednotlivé souvislosti v čase, a pak určit správnou dobu sledování jednotlivých proměnných. Spojením časových řad s regresním modelem lze docílit ideálního řízení všech jednotlivých kategorií výroby. Není dobré odhadovat tuto složku přímo z řady obsahující trendovou složku. Předpověď pak není přesná.

Model s konstantní sezónností:

$$Y_t = T_t + S_t + \varepsilon_t$$

Vzorec 41 - Konstantní sezónnost

Sezónní výkyvy jsou každý rok stejné, k popisu sezónní složky se používají sezónní rozdíly a_j ($S_t = a_j$). Jedná se o absolutní odchylku za období v rámci periody. Dle délky periody lze značit například jako a_{leden} , $a_{únor}$... Sezónní rozdíl a_j vyjadřuje, o kolik se změnil rozdíl nahoru nebo dolů oproti dlouhodobému průměru.

Tyto výkyvy lze kompenzovat v rámci periody tím, že se součet všech a_j dá do rovnosti s nulou. V řešeném případě to znamená, že dle určení přesnosti jaká je u daného prvku potřeba sečteme $a_{1hodina} + a_{2hodina} + a_{3hodina} \dots = 0$. Při odhadu sezónních rozdílů a_j je nutné provést tzv. očištění časové řady. Ta se očišťuje od sezónní složky pomocí klouzavých průměrů popsanych na začátku této kapitoly. Ty pocházejí z klouzavých úhrnů a jedná se vlastně o průměrnou hodnotu za předem stanovené období.

Poté je tedy řada původních hodnot nahrazena řadou klouzavých průměrů. Pozorování klouzavého průměru postupuje vždy kupředu, a tak se z výpočtu vyřazují vždy ty nejstarší hodnoty za uplynulé období. V případě že nastane situace, kdy je nutné vybrat období, ve kterém připadá na měření sudý počet hodnot, je nutné provést centrovaný m členný klouzavý průměr. Je to z důvodu toho, aby při dalších procedurách nedošlo ke ztrátě celého čísla nutného k výpočtu.

Centrovaný průměr tedy bere v potaz nutnost celočíselného výsledku a provede operaci se dvěma sousedními hodnotami. Ty se mezi sebou ještě jednou zprůměrují, aby nedošlo k problému s přiřazením ke konkrétnímu časovému rozmezí. V počítaném příkladě jde o čas v rámci dnů, nebylo by tedy možné přiřadit hodnoty, protože by nebylo jasné, ke kterému dni patří. Dle dalších výpočtů jednotlivých průměrů popsanych v kapitole Ověření modelů výpočtem je zřejmé, že centrovaný 12členný klouzavý průměr dokázal jako jediný odstranit z časové řady sezónní složku. Lze tedy usoudit, že centrovaný průměr je vhodný pro očištění časové řady, z důvodu minimálních výkyvů průběhu.

Samotné sezónní rozdíly a_j se pak odvozují z rozdílu mezi skutečnými hodnotami a hodnotami klouzavých průměrů. Sezónní rozdíl je tedy průměrem všech rozdílů spojených za stejné období.

Na základě výše uvedených faktů je možné určit postup, jak odhadovat sezónní složku modelu.

1. Stanovení délky periody a výpočet odpovídajícího klouzavého průměru
2. Očištění časové řady od sezónní složky za pomoci klouzavého průměru
3. Výpočet empirických sezónních rozdílů a korekce na upravené sezónní rozdíly
4. Očištění časové řady pomocí upravených sezónních rozdílů
5. Volba vhodné trendové funkce očištěním časové řady a výpočet parametrů trendu

➤ **Cyklická složka (C_t)**

Jedná se o kolísání kolem trendové složky v důsledku dlouhodobého vývoje s délkou vlny delší než jeden rok. U krátkých časových řad například s rozsahem maximálně pár let se téměř nevyskytují. Příkladem může být dlouhodobý hospodářský výsledek celého podniku od vzniku.

➤ **Náhodná složka (ϵ_t)**

Je to část časové řady, kterou není možné popsat ani pomocí trendu, sezonní nebo cyklickou složkou. Obvykle se jedná o výkyvy časové řady vlivem malých a nepostižitelných příčin nebo vlivem nějaké náhody. Pro volbu vhodného modelu je stejně jako u regresní analýzy důležitá analýza vlastností náhodné složky časové řady. Model je vhodný, jsou-li splněny následující podmínky.

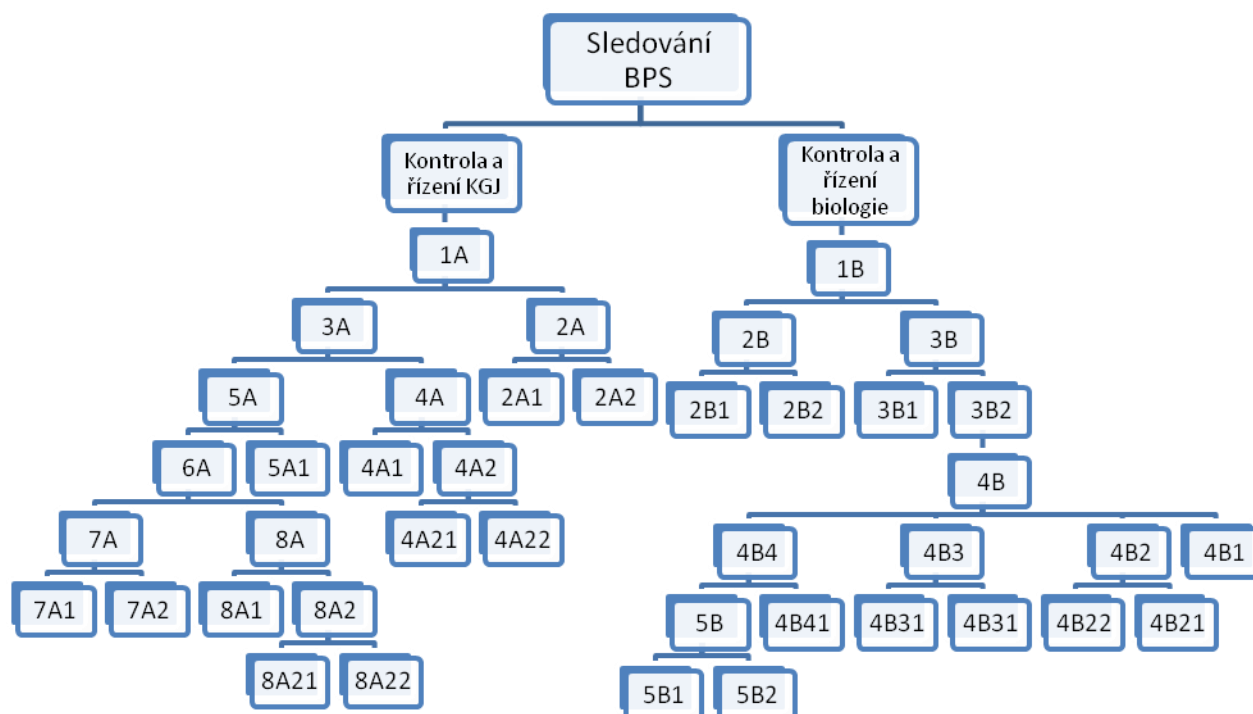
1. Rezidua jsou náhodná a nezávislá
2. Rezidua mají normální rozdělení $N(0; \sigma^2)$
3. Rozptyl reziduí σ^2 je konstantní

Tyto podmínky jsou stejné jako u regresní analýzy popsané v bodě Vícenásobný regresní model. Pokud jsou podmínky splněny, lze model použít pro předpověď hodnot na konkrétní období dopředu. Je však nutné vzít v potaz, že i když model dobře popisuje minulost, tak to ještě neznamená, že jeho předpovědi budoucího vývoje budou správné. Může se také stát, že popisovaný model jako méně vhodný bude mít přesnější předpověď než model považovaný za vhodnější.

Co lze s jistotou předpovědět jsou fyzikální procesy, jako jsou pohyb vesmírných těles, přesný čas, poloha slunce a odpor vodiče z konkrétního materiálu. Naopak velmi nepřesně se určuje kolektivní chování lidí, události ovlivňující lidský faktor a události, na které působí velké množství vlivů a náhoda. Obecně tedy platí, že čím delší předpověď do budoucna je požadována, tím méně přesná pak bývá. Na tuto kapitolu byly použity informace ze zdrojů [37], [38] a [39].

6.1.7 Rozhodovací strom

Na základě regresních modelů a časových řad byl vytvořen rozhodovací strom, který je zobrazen na Obrázek 15. Tento rozhodovací strom tvoří dvě základní větve. První větev kontroluje a následně na základě modelů řídí stavy kogenerační jednotky a veškeré souvislosti provozu. Druhá větev kontroluje a následně dle regresních modelů řídí základní stavy biologického procesu pro maximální efektivitu. Koncové stavy pak popisují postupy řešení problémů, které není možné vyřešit pomocí systému.



Obrázek 15 - Rozhodovací strom

➤ **Kontrola a řízení KGJ**

Tato větev kontroluje stav celé KGJ dle sledovaných parametrů. Postupně kontroluje jednotlivé důležité milníky, a buď upozorní na možný problém, nebo v případě již nastalého problému navrhne přípustné řešení.

1A – Kontrola teplot spalovacích prostorů - Dle těchto hodnot lze určit první diagnózu stavu motoru. Průměrná teplota na válci by se měla pohybovat v intervalu 385 ± 20 °C. Pokud tomu tak není, jsou pak jen dvě možnosti pohybu teplot.

2A – Teploty se mohou pohybovat směrem nahoru razantně nad 400 °C nebo naopak dolů, kdy se budou blížit hodnotě 300 °C. V tomto uzlu model rozhodne, na jakou stranu se teploty blíží.

2A1 – Teplota klesá – Klesající tendence teploty naznačuje špatné pálení zapalovací svíčky. Pokud je klesající teplota na jednom nebo dvou místech v zapalovacích prostorech, znamená to, že se blíží konec životnosti zapalovací svíčky. Zde vyskočí okno s upozorněním „Na válci číslo např. A5 v blízké době bude nutná výměna svíčky!“. Pokud je snížení teplot plošné, je problém s kvalitou plynu a s jeho dopravou do motoru. Je nutné zvednout frekvenci dopravního dmychadla plynu. Poté přijde varování obsluze na mobil o problému s kvalitou plynu.

2A2 – Teplota roste – Rostoucí tendence teploty na válcích znamená jen dvě věci a u obou je nutná kontrola ze strany servisu. První variantou je vada těsnících gumiček v hlavě válce. Tyto gumičky je nutné vyměnit, jinak teplota neklesne. Horší variantou je zadírání motoru, průběh problému je stejný jako u první varianty. Pokud model zjistí stoupající teploty na válcích, neprodleně pošle SMS zprávu obsluze a sníží výkon motoru. Zpráva bude obsahovat čísla válce, kde je zvýšená teplota, a radu na okamžité zavolání servisu motoru.

3A – Kontrola teploty oleje – Teplota oleje motoru by se měla pohybovat okolo 92 °C. Maximální přípustná teplota je 94 °C, to je i hranice regresního modelu pro vyhodnocení problému s přehříváním.

4A – Kontrola funkčnosti chlazení – model který zjistí funkčnost chlazení. Zkontroluje všechny elektronické prvky ovlivňující chlazení motoru.

4A1 – Chlazení není funkční – Zašle zprávu obsluze o nefunkčnosti chlazení a konkrétní místo problému s chlazením.

4A2 – Chlazení je funkční – Kontrola zda jsou všechny ventily otevřeny na plný výkon a stejně tak zda jsou vrtule chladícího stolu roztočeny na plný výkon.

4A21 – Vše je na plný výkon – Venkovní teplota je příliš vysoká, je nutné zařídit přídavné chlazení. Vhodnou volbou dochlazení je zahradní hadice s rozprašovačem umístěná pod chladící stoly. Dá se také využít přídavné zařízení na uplatnění tepla. Například suška zemědělských komodit.

4A22 – Chlazení nemá plný výkon – Systém určí, kde se nachází problém s chlazením a uvědomí obsluhu. Pokud systém nebude schopen analyzovat problém, navrhne následující řešení: Zkontroluj otevření třicestných ventilů, zkontroluj, zda se opravdu točí čerpadla, zkontroluj stav chladících vrtulí, vyčisti chladící stoly.

5A – Kontrola otevření klapky sání motoru – Standardní otevření klapky se pohybuje v rozmezí 55 ± 15 %. Pokud není klapka v mezích, je nějaký problém.

5A1 – Otevření klapky je mimo meze – Upozornění obsluze – vyměň vzduchový filtr motoru. Pokud to nepomohlo, je nutné změřit plnicí tlak turba. S největší pravděpodobností nevyvíjí dostatečný plnicí tlak přibližně 2,1 bar. Nutná oprava turba.

6A – Kontrola tlaku klikové skříně – Model kontroluje, zda je tlak klikové skříně v rozmezí od 4 do +4 bar.

8A – Tlak je mimo meze, zde se rozhoduje, zda nahoru nebo dolů.

8A1 – Vzniká podtlak na klikové skříně - Zkontroluj řídicí membránu, pokud bude protržená, tak ji vyměň. Pokud nemáš náhradní, otevři víčko na vlévání oleje do motoru, tím se tlaky vyrovnají. Zavolej servis.

8A2 – Tlak na klikové skříně roste – Je nutná kontrola řídicí membrány podtlaku (žabáka), případně seřízení tlaku membránou.

8A21 – Oprava pomohla, vše je v pořádku.

8A22 - Sniž výkon motoru na 50 % a zavolej servis. Náběh na zadření motoru.

7A – Kontrola mazacího tlaku motoru – Zde model kontroluje, zda motor má potřebný mazací tlak od 4,1 do 5,5 bar.

7A1 – Plnicí tlak je v pořádku – Motor je v optimálním stavu

7A2 – Plnicí tlak je nižší nebo žádný - Ihned zastav motor, pokus se zjistit příčinu a volej servis.

➤ **Kontrola a řízení biologie**

Tato větev kontroluje stav celé biologie tedy tvorby bioplynu dle sledovaných parametrů. Postupem kontroluje jednotlivé důležité milníky, a buď upozorní na možný problém, nebo v případě problému již nastalého navrhne přípustné řešení.

1B – Naplněnost plynového vaku – Ideální interval naplnění plynového vaku je v rozmezí od 80 do 90 %. V případě nějakého výkyvu model pošle podmět ke změně.

2B – Kontrola obsahu síry v bioplynu – Pokud interval naplněnosti plynového vaku odpovídá, je dalším důležitým krokem kontrola obsahu síry v bioplynu. Ideální koncentrace je do 100 ppm.

2B1 – Koncentrace do 100 ppm – Stav biologie je ideální.

2B2 – Koncentrace je nad 100 ppm. Model prodlouží interval pauzy míchání v dofermentoru procentuálně dle koncentrace síry tak, aby dosáhl snížení obsahu síry v bioplynu pod 100 ppm.

3B – Procentuální naplnění plynového vaku je mimo interval – Zde model určí, kam se interval změnil.

3B1 – Naplnění vaku roste – Model sníží dávku pevných substrátů procentuálně úměrně dle procent naplnění plynového vaku.

3B2 – Naplnění vaku klesá – Model zvýší dávku pevných substrátů procentuálně úměrně dle procent naplnění plynového vaku.

4B – Kontrola výtěžnosti plynu – Model provede kontrolu výtěžnosti bioplynu, zjistí problém a navrhne následné řešení na opravu.

4B1 – Klesá procento metanu a také výtěžnost bioplynu – Pokud model vyhodnotí klesající tendenci procenta bioplynu a snížení tvorby plynu. Objevilo se podezření na biologický problém. Model omezí dávkování, na 30 minut začne dávkovat materiál z dofermentorů do hlavního fermentoru a navrhne obsluhu následující. Odeber a odešli vzorek fermentátu do laboratoře a spoj se, se svým biologickým dozorem.

4B2 – Kontrola spotřeby plynu – Zde model zkontroluje, zda procento metanu, které dává analýza plynu je správné.

4B21 – Procenta neodpovídají spotřebě plynu- Model provede tedy vyčištění analýzy vzduchem a případnou nesrovnalost opraví korekcí hodnoty procenta metanu s hodnotou spotřeby plynu, která je s ní přímo spjata.

4B22 – Procento odpovídá se spotřebou plynu – Analýza je v pořádku

4B3 – Metan je v intervalu 51,5 – 55 % metanu – Model hlídá, zda metan je ve správných intervalech. Pokud není, přejde k vyhodnocení.

4B31 – Metan je v intervalu – Měření a kvalita plynu je v pořádku.

4B32 – Metan je mimo intervaly – Pokud roste, zkontroluj senzor a proved' čištění vzduchem. Pokud klesá, zhoršuje se kvalita plynu a zřejmě se schyluje k biologickému problému. Pokud zároveň klesá tvorba plynu, je nutné omezit dávkování, biologie je nejspíše překrmená. Nutno odeslat vzorek fermentátu do laboratoře a z něj poté zkontrolovat stav kyselin.

4B4 – Udržování teploty fermentace – Ideální teplota fermentace by se měla pohybovat v intervalu 42,8 – 43,8 °C.

4B41 – Teplota je v intervalu – Teplota fermentace je v pořádku.

5B – Teplota fermentace kolísá – Model určí, kam teplota kolísá.

5B1 – Teplota je vyšší – Vypni čerpadlo topení fermentoru a přivři průtokový ventil topení.

5B2 – Teplota hlavního fermentoru klesá – Nutno zvýšit teplotu topící větve maximálně však na teplotu 75 °C. Proved' kontrolu topného čerpadla.

Rozhodovací strom se snaží pokrýt veškeré stavy dějící se v jednotlivých procesech. Strom využívá k hlídání regresní modely vytvořené z jednotlivých dat stejným způsobem, jako je popsáno v kapitole Vícenásobná regresní analýza použité v čase podle kapitoly Analýza dat v časové řadě.

7 Kritické zhodnocení případové studie

Ve studii jsou vyjádřeny modelové vzorce pro jednotlivé sledované prvky. Tyto modely by měly být použitelné do následného programování pro vytvoření hlídacího a rozhodovacího systému řešícího procesy v BPS. Aby bylo možné modely použít, musí být ověřena jejich funkčnost. Ta bude ověřena na reálných datech shromážděných z chodu BPS Nechanice.

7.1 Ověření modelu obnovy

Model obnovy bude v procesu využit především na hlídání a připomínání cyklicky se opakujících procesů. To jsou například periody výměny oleje v míchadlech, čerpadlech a hydro-motorech. Dále poslouží k připomínání opakujících se legislativních věcí, jako jsou například revize, vzorky pro životní prostředí a další procesy podobného charakteru. Nejdůležitější využití bude mít tento model pro sledování procesu opotřebení KGJ. Bude předpovídat životnost zapalovacích svíček a dalších opotřebitelných dílů a důležitých náplní nutných pro chod motoru.

Model obnovy bude demonstrován právě na výpočtu proběhu olejové náplně motoru, která podléhá největšímu opotřebení a je nutné ji důsledně hlídat, jak je popsáno v kapitole 3.4. Předpokladem je, že model určí přibližný čas příští výměny. Podle toho lze následně rozhodnout den výměny, ale také potřebu počtu vzorkování a čas jejich odebrání.

Byl použit vzorec z kapitoly 6, který má následující tvar pro výpočet.

$$N_0 = \frac{\bar{X}}{n}$$

Vzorec 42 - Dožití olejové náplně

Z jednoduchého vztahu vyplývají tři proměnné. První proměnná N_0 je doba dožití, která určí za jakou přibližnou dobu myšleno v MTH bude nutné vyměnit olejovou náplň motoru. Druhá proměnná je \bar{X} , což je proměnná, do které vstupují hodnoty najetých motohodin při výměně olejové náplně. Postupem času výměn se tyto hodnoty sčítají. Je to tedy suma proběhů olejových náplní za čas. Poslední proměnnou je n , které určuje počet výměn olejové náplně k aktuálním hodnotám započtených do \bar{X} .

Výpočet pak bude vypadat následovně:

$$N_0 = \frac{23497}{19} = 1236,684$$

Vzorec 43 - Dožití s dosazenými modelovými hodnotami

Z výpočtu vyplývá, že následující výměna by měla být přibližně za 1236,684 MTH. Výsledek vznikl ze součtu všech proběhů olejových náplní bez první, která byla zkrácená z důvodu zabíhání motoru a poslední ze stejného důvodu. Pro názornost a kontrolu funkčnosti byly provedeny další výpočty zaznamenané do následující tabulky.

	Předpoklad MTH	Skutečnost MTH	rozdíl MTH	rozdíl v %
Test 1	1237	1481	244	16,48
Test 2	1071	1166	95	7,72
Test 3	806	856	50	5,84
Test 4	1418	1481	63	4,25
Test 5	1605	1522	83	5,17
Průměr celkový	1227	1301	107	7,89
Průměr výběrový	1276	1286	10	1

Tabulka 11 - Test dožití

Bylo provedeno 5 různých testů funkčnosti modelu dožití. Výsledky testů byly zaznamenány do Tabulka 11. Test 1 byl spočten ze součtu průměrů 21 hodnot bez rozlišení jakýchkoli aspektů, které mohou způsobit nepřesnost výpočtu. Průměrná předpokládaná hodnota dožití vyšla dle modelu 1237 MTH. Skutečná doba dožití byla 1481 MTH, což znamená, že model bez jakékoli korekce dokáže určit dobu dožití s přesností výpočtu 83,48 %.

Chyba výpočtu je tedy 16,48 %, což je v přepočtu 244 MTH. Převědeme-li to na reálný čas s korekcí dlouhodobého výkonu 96,32 %, vychází chyba měření na 235 MTH. Model tedy dokáže určit výměnu oleje s přesností na 9,79 dní. Vezmeme-li v úvahu, že vyhodnocení vzorku oleje laboratoří trvá 7 dní, lze konstatovat, že chyba měření bez korekce je příliš nepřesná, a tedy nepoužitelná. Je tomu tak z důvodu velkého časového rozpětí chyby. Během této doby by mohlo dojít k porušení motoru. Je třeba vzít v úvahu fakt, že k dispozici máme výsledek z laboratoře, který jasně vypovídá o tom, zda je náplň provozuschopná či nikoliv.

Test 2 testuje první použitý olej Pegasus s vlastnostmi LA více je popsáno v kapitole 5.6. Olej byl použit od prvního startu a test obsahuje i hodnotu záběhové výměny, která je vždy kratší. Test je proveden průměrem čtyř hodnot a výsledkem je předpoklad na výměnu v hodnotě 1071 MTH. Skutečná doba výměny byla provedena na 1166 MTH, z čehož vyplývá chyba výpočtu po započtení dosaženého výkonu 8,5 %, což jsou po zaokrouhlení 4 dny. Je tedy jasné, že použijeme-li další informace, lze zpřesnit model a to výrazně.

Test 3 a test 4 provádí kontrolu vhodnosti modelu při korekci přesnosti díky rozdělení olejů podle jejich mazacích parametru LA a HA popsané v kapitole 5.6 a odebráním hodnot, kdy se olejová náplň měnila ve zkráceném intervalu z důvodu záběhu motoru po opravě. V Tabulka 11 lze vidět procentuální chybu výpočtu těchto testů bez započtení výkonnostní složky.

Z toho vyplývá, že model s korekcí jednotlivých parametrů je schopen určit dobu dožití s přesností z testu 3 – 2,1 dne a testu 4 s přesností na 2,6 dne.

Test 5 je testem náhodného výběru hodnot výměn a určuje vždy hodnotu následující. Přesnost určení výpočtu náhodného výběru je 3,46 dne.

Zásadní informací pro určení vhodnosti použití je pak část v Tabulka 11 pod názvem Průměr výběrový. Tento řádek průměruje hodnoty testů, které byly zpřesněny jednotlivými parametry olejové náplně a chodu motoru. Z testu vyplývá, že model s informacemi na vhodnou korekci výpočtu je schopen určit čas výměny olejové náplně s přesností po zaokrouhlení na 1 %. To je po převedení na reálný čas s upřesněním podle průměru dlouhodobého výkonu 9 hodin a 36 minut. Za tuto dobu nedojde k žádnému problému typu poškození zařízení.

Testovaný model s výsledkem chyby měření 1 % je vynikající a lze jednoznačně říci, že model lze použít. Díky zpřesnění modelu pomocí parametrů sesbíraných z laboratorních vzorků bude neustále probíhat korekce modelu tak, aby byla docílena maximální přesnost výpočtu, a tím správné určení pro výměnu olejové náplně. Korekce modelu bude počítána pomocí vícenásobného regresního modelu.

7.2 Ověření funkčnosti regresního modelu

Aby bylo možné objektivně posoudit funkčnost regresního modelu a zjistit ideální volbu modelu, bylo vytvořeno šest různých modelů s různým počtem vstupních proměnných a různým umístěním v časové řadě běhu BPS. Do vytvořených modelů byly následně pro test jejich funkčnosti vloženy hodnoty všech závisle proměnných. Předpokládaným cílem testu je zjistit, jakou přesnost bude mít model v následném srovnání s reálnou hodnotou z historie běhu provozu.

Test funkčnosti navrhovaných modelů dle předpisu $y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \beta_3 \cdot x_3 + \beta_4 \cdot x_4 + \beta_5 \cdot x_5$							
Číslo modelu	β_0	β_1	β_2	β_3	β_4	β_5	Počet pozorování
Model 1	5193,42	10,15	66,54	-33,46	-29,58	6,011	35 Náhodně
Model 2	-1745,23	41,98	148,94	15,73	3,37	3,753	95 Náhodně
Model 3	4027,5	45,77	89,98	-48,08	15,05	6,319	48 Konkrétní
Model 4	4116,09	24,75	186,44	-112,2	0,719	4,564	97 Konkrétní
Model 5	-1456,58	45,1	164,94	-5,074	16,88	-0,642	168 Konkrétní
Model 6	-6782,79	68,65	174,24	78,9	15,57	1,342	365 náhodně

Tabulka 12- Test modelů regrese

Tabulka 12 obsahuje vytvořené modely, kam patří také položky x, které zde nejsou uvedeny z důvodu úspory prostoru, ale jsou znázorněny v základním vzorci napsaném v hlavičce tabulky.

Model s pořadovým číslem jedna byl vytvořen pomocí 35 náhodně vybraných pozorování z provozu BPS. Celkový počet použitých provozních dat pro modely odpovídá 365 pozorováním z reálného provozu BPS, tedy jeden kalendářní rok.

Model dva je vytvořen z 95 náhodně vybraných pozorování. Nutno říci, že charakteristika náhodně vybraný, neznamená přímo výběry úplně náhodné, ale vybraná pozorování jsou například od dubna do května a testujeme funkčnost modelu v měsíci srpnu. Model tedy nemá zcela přesnou informaci, jaký je aktuální stav procesu. Zde nás zajímá především to, o kolik se liší, dle aktuálnosti informací, a jakou roli zde hraje počet vstupních pozorování.

Model tři, čtyři a pět byly vytvořeny z pozorování jdoucích za sebou. Zároveň se jedná o denní pozorování končící dnem, na který navazují následně vložené testovací hodnoty. Tyto modely tedy mají naprosto aktuální vstupní informace. Dělí je jen počet pozorování, z kterých jsou modely vytvořeny. Tento test byl proveden především pro zjištění, z kolika pozorování je nutné vytvořit model, aby byl přesný a zároveň pro výpočet nenáročný pro procesor.

Poslední model je vytvořen z 365 pozorování a návaznost testování je náhodná, tedy testované dny přímo nenavazují na pozorování, pomocí kterých se model vytvořil. Zde bylo účelem otestovat, jestli když model bude tvořen s ročními daty, tak s jakou chybou dokáže určit chod BPS na náhodně vybrané dny následujícího roku.

Test funkčnosti po doplnění složek x a výpočtu předpokladu spotřeby plynu						
Číslo testu / řádek	217	218	219	220	221	222
Test 1	5713	5671	5708	5676	5618	5664
Test 2	6351	6315	6500	6510	6522	6621
Test 3	6545	6583	6843	6935	7036	7151
Test 4	6462	6557	6750	6915	7038	7121
Test 5	6575	6587	6816	6889	6964	7068
Test 6	6640	6550	6826	6791	6787	6933
Reálná hodnota	6555	6690	6919	7006	7063	7161

Tabulka 13 - Test funkčnosti modelů

V Tabulka 13 je soupiska výsledků výpočtů jednotlivých modelů. Číslo testu je shodné s použitým modelem z předchozí tabulky Tabulka 12- Test modelů regrese. Očíslovaný řádek nahoře odpovídá dni v provozním roce BPS. Tyto dny jsou použity jednak pro pozorování a následně vyjádření modelů, ale také slouží ke kontrole funkčnosti modelů. Poslední řádek modelu pak ukazuje reálnou hodnotu, která byla změřena v provozu BPS Nechanice.

Jednotlivé výpočty vycházejí z vytvořených modelů. Následně pak byly porovnány se změřenými hodnotami, aby bylo možné určit chyby výpočtů jednotlivých modelů.

Rozdíly jednotlivých výpočtů testu se skutečností						
Číslo testu / řádek	217	218	219	220	221	222
Test 1	842	1019	1211	1330	1445	1497
Test 2	204	375	419	496	541	540
Test 3	10	107	76	71	27	10
Test 4	93	133	169	91	25	40
Test 5	20	103	103	117	99	93
Test 6	85	140	93	215	276	228

Tabulka 14- Chyba výpočtu modelů - rozdíl hodnot

Tabulka 14 obsahuje vypočítané odchylky výsledků modelů. Zde je ideální porovnání přesnosti výpočtu jednotlivých modelů. Odchylky byly spočítány způsobem odečtení reálné naměřené hodnoty od hodnoty vypočtené. Všechny hodnoty jsou kladné, protože v tuto chvíli není nutné znaménko výsledku, ale hodnota odstupuje od skutečnosti a je jedno na jakou stranu se odchylka tvoří. Vypočtené hodnoty dokazují, o kolik m^3 se model splete v každý konkrétní den do budoucna. Vezmeme-li v úvahu, že dlouhodobě vysledovaná průměrná spotřeba plynu za den je $6500 m^3$ a ze stejného časového pásma vycházejí i testovací modely, lze na tomto základě výsledky vyhodnotit.

Jako rozhodující fakt přesnosti tedy bude, o kolik se sníží přesnost modelu v přepočtu rozdílu na hodiny. Z průměrné denní spotřeby je jasné, že průměrná hodinová spotřeba v běžném biologickém stavu je po zaokrouhlení $271 m^3$.

Model jedna vykazuje největší nepřesnost odhadu budoucího chodu biologického procesu. Průměrnou hodnotou z výpočtů modelu 1 je $1224 m^3$. Přesně o tolik se průměrně model plete ve srovnání s reálně změřenou hodnotou. Model tedy určí stav biologie v rozmezí šesti dnů do budoucna s průměrnou přesností na 4 hodiny a 30 minut. Výsledek je v celku přípustný, ale tato doba může mírně ovlivnit náročnost na návrat do dobrého stavu.

Model dva vychází o poznání lépe. Model dva se mílí v průměru o $429 m^3$ a určí tedy stav biologické kondice na šest dní do budoucna s rozdílem 1 hodiny a 35 minut oproti reálně změřené hodnotě. Tento výsledek je bez problému použitelný. V případě léčení biologie jsou reakce posunu stavu přibližně v hodinovém rozpětí. Půlhodinové zpoždění tedy není až tak závažný problém.

Model jedna a dva vycházejí z náhodných vzorků pozorování, a i tak lze říci, že nám mohou říci v celku včas blížící se problém.

Modely tři, čtyři a pět vychází z přesných pozorování a jejich výsledné výpočty tomu odpovídají. Model tři má průměrnou chybu určení stavu biologie 50 m^3 , což odpovídá tomu, že se model splete při určení běhu BPS na šest dní do budoucna oproti reálně změřenému stavu o 11,4 minuty. Model čtyři má průměrnou nepřesnost výpočtu 92 m^3 v přepočtu na čas po zaokrouhlení 20 minut a model pět vychází průměrně 89 m^3 a v čase po zaokrouhlení stejně jako model čtyři.

Tyto tři modely mají výborný výsledek a paradoxně model tři, který pracuje s nejméně vzorky má nejlepší výsledek. Všechny tři modely jsou jednoznačně použitelné a lze je doporučit pro použití při programování.

Poslední test šest vypočítaný z modelu stejného čísla byl vytvořen ze vzorků sesbíraných za celý rok. Průměrná přesnost výsledků výpočtu modelu je 173 m^3 . Na časové ose to znamená, že průměrná chyba výpočtu modelu na šest dní do budoucna odpovídá po zaokrouhlení 38 minut. Lze tedy říci, že i tento model lze použít pro další zpracování.

Shrneme-li testování jednotlivých modelů, první model nevyšel zcela příznivě, ale ne úplně nepoužitelně. Co se týká modelů 2 až 6, jejich testování vyšlo pozitivně, lze je použít do programování na vyhodnocování stavu a určení chování BPS v blízké budoucnosti. Důvod proč bylo použito právě šest dní na testování je jednoduchý. V případě že budeme mít předpoklad chování BPS na pět, až šest dní do budoucna je možné zareagovat v pravý čas se změnou dávkování, teploty a dalších parametrů přímo ovlivňujících provoz BPS, a tím se tak vyhnout havarijnímu stavu, čímž lze zaručit maximální efektivitu provozu. K výsledným výpočtům lze ještě zmínit zvláštní anomálii. Ta se skrývá v náhlém zhoršení přesnosti výpočtu u druhého a většinou i třetího dne. Poté přesnost opět roste. Tato anomálie se prozatím nepodařila vysvětlit. Na určení chodu provozu však nemá významnější vliv, ale je dobré s ní počítat.

Procentuální chyba modelu	
Model 1	17,65
Model 2	6,18
Model 3	0,73
Model 4	1,34
Model 5	1,28
Model 6	2,48

Tabulka 15- Procentuální chyba modelu

V Tabulka 15 lze pozorovat chybu výpočtu jednotlivých modelů v procentech. Dle výsledku je možné říci, že modely 2 až 6 lze použít pro programování. Doporučeným modelem pro použití je jednoznačně model číslo tři. Nejen že je výpočetně nejméně náročný, ale je zároveň nej přesnější. Podle výsledků lze říci, že model s chybou do 7 % je přímo použitelný. Tímto způsobem budou tvořeny modely pro všechny stavy v provozu BPS. Znamená to, že do tohoto modelu budou vstupovat výsledky jiných modelů. U teplot tomu tak nebude, teplota fermentace se udržuje ve stále stejných tolerancích a vnější teplota se bude doplňovat dle hodnot zaznamenaných z údajů Českého hydrometeorologického ústavu za posledních deset let.

Dávka se bude doplňovat automaticky, podle vážního systému dávkovacího vozu, který je hlídán každou hodinu při dávkách. Z toho lze určit, zda dávka roste nebo klesá. A hodnota metanu bude počítána stejným modelem, s rozdílem vstupních hodnot. Ty budou doplněny dle aktuálních laboratorních rozborů jednotlivých substrátů. Vezmeme-li v úvahu tyto skutečnosti a budeme-li předpokládat použití modelu tři, který je nej přesnější, tak po započtení chyb výpočtu ostatních závislých proměnných dostaneme, že model bude schopen vyhodnotit jakoukoli část provozu, s chybou výpočtu určení na šest dní do budoucnosti 3 %, což je více než dostačující. Lze tedy modely posoudit jako funkční.

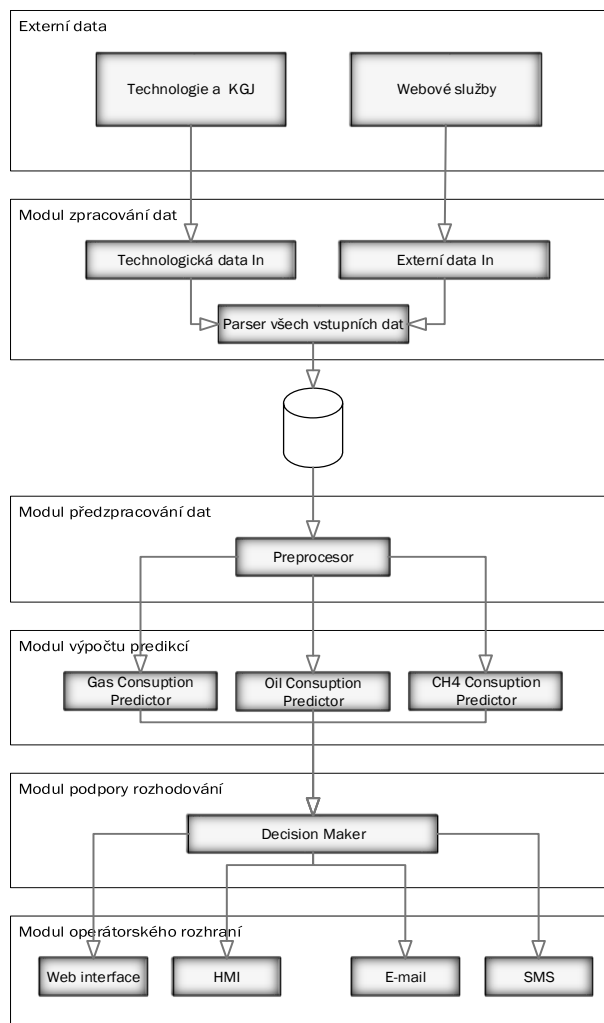
7.3 Ověření predikčního modelu

Hlavním cílem návrhu popisovaného systému bylo ověření funkčnosti statistických modelů. V softwaru, zpracovávajícím reálně změřená data, jsou vypočítány predikce s odhadem na 6 dní do budoucnosti. V rámci ověření predikčního modelu bude provedeno srovnání mezi hodnotami vypočítanými tímto modelem a reálně naměřenými daty.

7.4 Struktura navrhovaného systému vyhodnocení dat

Na schématu Obrázek 16 - Softwarové schéma je rozkreslen návrh vznikajícího systému dohledu nad BPS. Kromě vizualizace aktuálně měřených hodnot z jednotlivých interních čidel BPS a externích zdrojů dat, má systém za úkol také podávat operátorovi informace o vývoji stavů BPS, které vedou ke zlepšení efektivity výroby energie.

Konkrétně se jedná o předpověď spotřeby plynu, předpověď kvality plynu a předpověď vhodného času pro výměnu olejové náplně kogenerační jednotky.



Obrázek 16 - Softwarové schéma

Celý systém dohledu je rozdělený do několika menších celků. Mezi ně patří modul získávání dat, jak ze samotné technologie BPS, tak z externích zdrojů. Další modul má na starosti předzpracování dat do formy, která je vyžadována následujícími moduly. Třetí modul má za úkol výpočty jednotlivých druhů predikce na základě evidovaných dat a uživatelsky nastavených parametrů. Předposlední modul zajišťuje podporu rozhodování operátora pomocí rozhodovacího stromu. Poslední modul pak slouží jako uživatelské rozhraní, které předává operátorovi jednotlivé dílčí informace, a to jak ve formě webové vizualizace, tak například i formou e-mailu nebo SMS dle důležitosti informace.

7.4.1 Modul zpracování vstupních dat

V reálném provozu je počítáno s připojením navrhovaného systému přímo na řídicí PLC jednotlivých částí stanice. V rámci ověřovacího návrhu softwaru a z licenčních důvodů nelze do těchto zařízení zasahovat. V rámci testování byla zvolena možnost čtení dat ze souboru, konkrétně souborů typu „.csv“ kvůli relativní jednoduchosti jejich zpracování. Jednotlivé soubory obsahují reálně zaznamenaná data z jednotlivých částí celého systému BPS.

```
Parser par = new Parser();
if (table.equals("Table1")) {

    par.loadDataSource(localFile.toAbsolutePath().toString(),
        ParserInterface.TYPE_FILE);
    int numRows = par.getDatasetSize();

    par.processData("app.DAO."+table);
    par.clearData();

    par.loadDataSource("localhost/predictorDB;Table1;user;pass;" + numRows + ";idvah"
        ,
        ParserInterface.TYPE_DB);
    par.processData("app.DAO.Table2");
    par.clearData();
}
```

Kód 1 - Parser

Třída Parser je určena ke zpracování surových dat, jak ze souborů, tak z externích zdrojů a v plánovaném provozu i přímo vyčítaných hodnot z PLC. Jde tedy o univerzální vstupní bod pro veškerá dále zpracovávaná data. V průběhu zpracování dat ve třídě Parser jsou mimo jiné kontrolovány jednotlivé parametry datových vstupů, jako například očekávaná délka dat pro každý konkrétní typ dat, nebo datový typ jednotlivých hodnot. Pokud všechny tyto parametry souhlasí, je obsah datového vstupu uložen do databáze.

Data se zpracovávají pomocí reflexe, což zajišťuje v objektovém programování získat za běhu informace o typu objektu, třídě i datovém typu objektu. Díky tomu je možné třídou Parser naplnit atributy různých doménových objektů příslušnými daty, aniž bychom museli implicitně vytvářet instance daných objektů.

Díky reflexi je možné následně do modelu přidat další objekty bez jakýchkoliv složitých úprav.

```
if (className.equals("app.DAO.Table10")) {  
  
    Session session = HibernateUtil.getSessionFactory().openSession();  
    for (int i = 0; i < dataTable.size(); i++) {  
        if (dataTable.get(i).length > 1) {  
            Object obj = classTemp.newInstance();  
            int timestamp = 0;  
            timestamp = DataUtil.dateToTimestamp(dataTable.get(i)[0], "\\.");  
            int dobaChodu = 0;  
            dobaChodu = DataUtil.timeToTimestamp(dataTable.get(i)[1], ":");  
            obj.getClass().getMethod("setDobaChodu",  
Integer.TYPE).invoke(obj, dobaChodu);  
            obj.getClass().getMethod("setDatum", Integer.TYPE).invoke(obj, timestamp);  
            obj.getClass().getMethod("setVykon", Integer.TYPE).invoke(obj,  
Integer.valueOf(dataTable.get(i)[2].replace(", ", ".")));  
            obj.getClass().getMethod("setDoSite", Integer.TYPE).invoke(obj,  
Integer.valueOf(dataTable.get(i)[3].replace(", ", ".")));  
            obj.getClass().getMethod("setZeSite", Integer.TYPE).invoke(obj,
```

Kód 2 - Reflexe

V ukázce kódu reference je představeno použití reflexe k mapování hodnot patřících do tabulky 10, která uchovává údaje elektrických parametrů, jako například doba chodu motoru, elektrický výkon do sítě, příkon ze sítě doba chodu generátoru a další.

7.4.2 Modul předzpracování uložených dat

Třída Preprocessor je vytvořena jako univerzální rozhraní pro přístup k datům v databázi. Další moduly využívají funkci Preprocessoru. Preprocessor zajišťuje přímý přístup do databáze podle definované konfigurace načítaných dat. Tato konfigurace určuje z jakého sloupce, a jaké tabulky mají být data načítána. Dále také očekávaný rozsah vstupních hodnot a výstupní rozsah pro škálování. Jako poslední parametr je v konfiguraci nastaveno, podle jakého sloupce a v jakém rozsahu hodnot se mají data vyčítat.

```
public PrepConf(String dataSource, String description, String datum, int  
datumMin, int datumMax, double scaleInMin, double scaleInMax, double  
scaleOutMin, double scaleOutMax) {  
    this.scaleOutMax = scaleOutMax;  
    this.scaleOutMin = scaleOutMin;  
    this.scaleInMax = scaleInMax;  
    this.scaleInMin = scaleInMin;  
    this.datumMin = datumMin;  
    this.datumMax = datumMax;  
    this.datum = datum;  
    this.description = description;
```

Kód 3 - Konfigurační třída

Před voláním samotného Preprocesoru je nutné vytvořit seznam jednotlivých konfiguračních tříd, na základě kterých vytváří Preprocesor výstupní pole hodnot. Po načtení surových dat z databáze do interní struktury Preprocesoru, je následně možné zavolat jednu z dostupných funkcí pro získání výsledku. Tyto funkce umožní získat dvourozměrné pole načtených dat jako double, nebo průměr načtených hodnot, kdy výstup obsahuje jediný řádek pro všechny požadované sloupce, případně formou klouzavých průměrů definovaných sloupců.

Takto získaná pole výstupních hodnot, jsou používána v ostatních modulech celého systému. Slouží pak jako vstupy pro výpočty predikcí, vizualizaci provozních stavů a jako zdroj pro notifikaci obsluhy.

7.4.3 Modul výpočtu predikcí

Data připravená předchozím modulem následně vstupují do jednotlivých predikčních modelů, kde jsou zpracována. Jako ukázka byl zvolen predikční model spotřeby plynu, který modeluje předpověď spotřeby plynu. Tento predikční model byl popisován v kapitole 6.1.4 a otestován v kapitole 7.2, a proto je zde popsán jako referenční implementace. Predikční model využívá k výpočtu regresní funkce zadané pomocí matic.

Následující Kód 4 popisuje jednu z konfigurací modulu Preprocesoru, pomocí kterého získáme hodnoty pro naplnění matic, použitých při výpočtu regresního modelu.

```
public GasConsumptionPredictor(int bfrom, int bto, int xyears) {
    timestampBetaFrom=bfrom;
    timestampBetaTo=bto;
    timestampXyears=xyears;
    daysToScale = (timestampBetaTo-timestampBetaFrom)/60/60/24;

    List<PrepConf> dataX = new ArrayList<>();
    dataX.add(new PrepConf("table1:davka", "pevnaDavka", "DatumDavky",
        timestampBetaFrom, timestampBetaTo, 0, 35, 0, 35));
    dataX.add(new PrepConf("table4:teplotaFermentace", "teplota", "datumBio",
        timestampBetaFrom, timestampBetaTo, 35, 48, 35, 48));
    dataX.add(new PrepConf("table5:metan", "ch4",
        "datumPlyn", timestampBetaFrom, timestampBetaTo, 45, 58, 45, 58));
    dataX.add(new PrepConf("table4:venkovniTeplota", "teplotaVenek",
        "datumBio", timestampBetaFrom, timestampBetaTo, -20, 50, -20, 50));
    dataX.add(new PrepConf("table4:datumBio", "Datum",
        "datumBio", timestampBetaFrom, timestampBetaTo, timestampBetaFrom,
        timestampBetaTo, 0, daysToScale ));
}
```

Kód 4 - Predikce plynu

Vytvoření statistického modelu je popsáno v kapitole Vícenásobný regresní model, konkrétní implementace vícerozměrného regresního modelu využívá vlastní implementaci práce s maticemi.

Hodnoty všech nezávisle proměnných jsou popsány jako x . Ty jsou poskládány do matice $X \times X$, jejíž velikost se odvíjí od počtu vstupních proměnných.

Nakonec budou vypočítány hodnoty β , jako matice sloupců b .

$$B = (X' * X) - 1X'Y$$

Kde X' je transpozice matice X a $a-I$ vrací inverzní matici. Je implementována jedna metoda nad všechny ostatní maticové operace. Jednotlivé kroky kódu jsou následující, jako první se přidá parametr zaujatosti, což je β_0 a tím přibude v matici X nový sloupec. Následně se zkontroluje, zda je vstupní matice platná, tedy zda obsahuje všechny potřebné parametry. Pokud je vše v pořádku, vypočítá se transpozice matice X na X' . Následně se mezi sebou vynásobí X a X' a naleznou se inverzní matice $(X*X')^{-1}$, což se rovná Y . Následně se vynásobí X' a Y a jako poslední operace je vynásobení inverzní matice výsledkem z násobení X' a Y .

Tímto postupem získáme parametry rovnice predikce. Pomocí těchto hodnot, jsme nyní schopni vypočítat predikci provozních stavů na určitý časový úsek do budoucnosti. Pro tento výpočet je nutné znovu připravit sadu konfigurace pro Preprocesor, který načte odpovídající hodnoty, které budou dosazeny do predikční rovnice.

Pro zachování maximální přesnosti výpočtu jsou tyto hodnoty načítány v závislosti na konkrétním dnu predikce a dále se tyto hodnoty průměrují z historicky naměřených dat z předchozích let, odpovídajícím dnům, které mají být predikovány.

To například znamená, že vezmeme aktuální den, například 1.1.2017. Od tohoto data si prediktor vezme data za určitý počet dní zpět a vypočítá pomocí regrese parametry β . Následně se načtou průměry dat například pro 6 dní do budoucnosti, tj. v rozsahu od 2.1. do 8.1. za všechny předchozí roky. Takto spočítané hodnoty β a x se vloží do rovnice a vypočítají se jednotlivé předpovědi pro spotřebu na dny od 2.1. do 8.1.2017. Tyto hodnoty jsou následně uloženy do databáze pro zpracování dalšími moduly.

```
if (betas.length==6 & dX.length==5) {
    results[day - 1] = betas[0] + betas[1] * dX[0] + betas[2] * dX[1] +
    betas[3] * dX[2] + betas[4] * dX[3] + betas[5] * dX[4];
```

Kód 5 - Rovnice predikce

7.4.4 Modul podpory rozhodování

Tento modul navazuje na rozhodovací strom popsaný detailně v kapitole 6.1.7. Podle posledních hodnot uložených v databázi, ať dat načtených z různých zdrojů, nebo dat uložených z prediktorů modul rozhoduje.

Modul podpory rozhodování kontroluje aktuální stavy sledovaných hodnot v pravidelných časových intervalech například každou minutu. Na základě těchto hodnot a hraničních hodnot k nim určených, modul rozhoduje, zda upozorní obsluhu na aktuální problém a jakým způsobem. V rámci definice kontroly jsou kontrolována vstupní data a porovnávána s hraničními hodnotami danými výrobcem k jednotlivým parametrům.

Definice následně rozhoduje, kam se naváže dle vyhodnocení dat. Pokud jsou data pod minimální hraniční mezí, pokračuje se větví danou definicí kontroly pro hodnoty pod minimální hranicí. Obdobně systém zpracuje i opačný scénář, tedy hodnoty nad maximální možnou hranicí nebo při normálním stavu. Pokud není definována navazující kontrola pro danou větev, systém nastaví příslušné hlášení pro navazující modul.

Po uběhnutí nastaveného časového intervalu probíhá kontrola rozhodovacího stromu znovu od začátku. V programovacích částech byly využity zdroje [40], [42], [43].

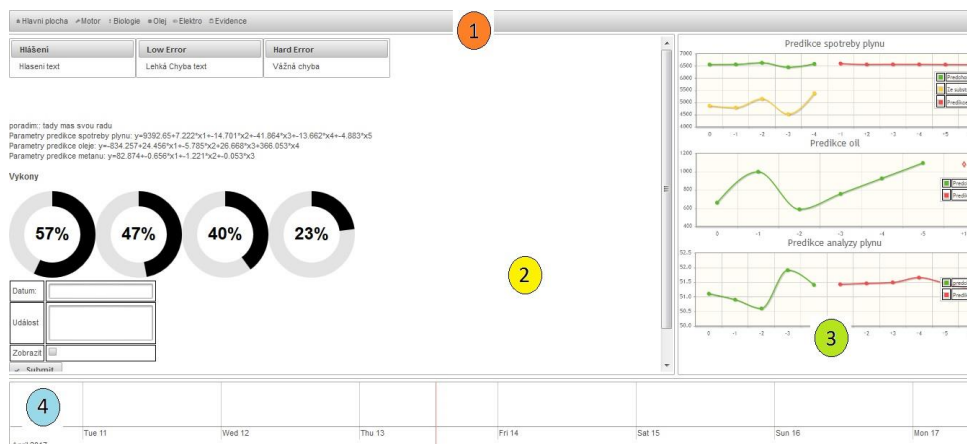
7.4.5 Modul operátorského rozhraní

Hlavní část operátorského rozhraní tvoří webová stránka rozdělená do několika bloků podle jednotlivých sledovaných technologických sekcí BPS. Tyto bloky zobrazují přehled aktuálních hodnot měřených veličin a případně je doplňují o příslušné grafy znázorňující historický vývoj. Poslední část operátorského rozhraní umožňuje operátorovi s příslušným oprávněním nastavit zdroj dat, parametry predikcí a další provozní parametry. K těmto údajům nemá z bezpečnostních důvodů běžná obsluha přístup.

➤ Vizualizace dat

Webové rozhraní je přizpůsobeno maximálnímu komfortu pro obsluhu stanice a zároveň je jasně odlišené od zbývajících řídicích systémů, aby nemohlo dojít k chybě obsluhy. Cílem je centralizovat sledované parametry jednotlivých technologických sekcí BPS do sjednocených přehledů. Na rozdíl od řídicího systému jednotlivých technologických sekcí, kde nejsou veškeré monitorované parametry přehledně dostupné, a kde musí obsluha často některé hodnoty ručně dopočítávat, je v navrhovaném systému umožněno tyto parametry sledovat přímo.

Navrhovaný systém v žádném případě neslouží k přímému řízení jednotlivých technologických sekcí, ale jako podpůrný nástroj pro zaškolenou obsluhu.



Obrázek 17 - Webové rozhraní predátoru

Samotné webové rozhraní se skládá z několika oddělených částí. První částí je přehledné menu, které rozděluje uživatelské rozhraní na jednotlivé technologické celky.

Konkrétní obsah jednotlivých celků je zobrazován ve druhé části operátorského rozhraní. Obrazovka „Hlavní plocha“, jež je vidět na Obrázek 17 - Webové rozhraní predátoru, slouží jako hlavní přehled nejdůležitějších ukazatelů chodu BPS. V horní části této obrazovky se mohou zobrazovat jednotlivá hlášení modulu pro podporu rozhodování. Pod nimi je možné kontrolovat vypočítané parametry predikcí, na základě kterých jsou zobrazovány výsledné hodnoty v grafech ve třetí části rozhraní. Předposledním prvkem hlavní plochy jsou procentuální ukazatele splněného výkonu KGJ, které obsluze ukazují jednotlivé elektrické výkony za den, týden, měsíc a rok. Zde je využito škálování hodnot pomocí konfiguračního listu. V poslední části této obrazovky je vstupní formulář pro ukládání plánovaných událostí do kalendáře. Na ostatních přehledových obrazovkách jednotlivých technologických celků jsou zobrazovány aktuální hodnoty monitorovaných veličin ve formě posouvateľných bloků. Pozice jednotlivých bloků je uživatelsky nastavitelná a udržuje se pro každého uživatele zvlášť.

Ve třetí části je prostor graficky znázorňující vývoj zvolených parametrů pro danou obrazovku. V případě hlavní plochy a evidence se jedná o grafy zobrazující data z jednotlivých predikčních modelů. V sekci zobrazující údaje o provozu motoru to jsou například naměřená spotřeba plynu, teplota oleje a mazací tlak motoru za definované období. Sekce biologie využívá grafy pro zobrazení hodnot sledovaných složek analyzátoru plynu. V sekci monitoringu stavu oleje jsou zobrazovány důležité parametry z rozborů olejové náplně motoru. V sekci elektro grafy zobrazují průběžné hodnoty svorkové výroby, spotřeby elektrické energie areálu ZD a vlastní spotřebu elektrické energie BPS.

Spodní část operátorského rozhraní slouží k přehledné evidenci plánovaných událostí spojených s chodem BPS. Jednotlivé události jsou vynášeny na časovou osu, na které je možné sledovat jednotlivé záznamy událostí nadcházejících, ale také minulých pomocí rolování myši. Pro použití Primefaces byl využit zdroj [41].

➤ **Možnosti hlášení poruch obsluze**

Mezi základní možnosti hlášení poruch BPS obsluze patří tři základní možnosti, první je mírná chyba, která se zobrazí ve webovém rozhraní, druhá je závažnější chyba, ta se rozesílá e-mailem a jako poslední je závažná chyba, při níž je obsluha upozorněna pomocí SMS.

Ve webovém rozhraní se zobrazují všechny chyby včetně doporučených postupů, jak poruchu odstranit. Mezi chyby zobrazované pouze na panelu operátora patří například blížící se termínovaná oprava nebo rozbor oleje atd.

Závažnější chyby jsou odesílány pomocí e-mailu příslušným pracovníkům, jde především o chyby, kde není zásadně omezen chod BPS, nicméně omezuje se proces výroby elektrické energie v maximální efektivitě. Je to například nedostatek plynu z biologické části, závadná zapalovací svíčka KGJ nebo mírné překročení provozních hodnot motoru, které způsobují náhlé snížení výkonu KGJ. Tyto chyby nevyžadují okamžitý zásah obsluhy.

Kritické chyby jsou hlášeny pomocí SMS brány připojené sériovým portem k operátorskému počítači. Jde o závažné poruchy, které je nutné řešit okamžitě, nebo v nejkratší možné době. Jedná se především o jakoukoli poruchu způsobující okamžité odstavení KGJ. Případně i jiné poruchy kde hrozí újma na zdraví, životě nebo majetku.

Tyto hlášení jsou generovány modulem pro podporu rozhodování a následně v případě potřeby předány modulu operátorského rozhraní, které je na základě vážnosti doručí příslušnou formou obsluze. V této kapitole byl použit zdroj [45] a v celé části aplikace bylo vycházeno ze zdroje [44].

8 Závěr

Práce analyzuje možnosti měření provozu bioplynových stanic, kdy na základě měření těchto hodnot je prováděna predikce možných kritických jevů.

V první kapitole jsou popsány technologie měření některých stavů a komponent k tomu použitých. Po důkladném prozkoumání jednotlivých zařízení vyšlo najevo, že některé technologie měření nejsou příliš efektivní a dochází k určitým problémům v rámci jednotlivých měření.

Druhá kapitola obsahuje popis principů měření jednotlivých monitorovaných složek bioplynu a provozních stavů. Jsou zde uvedeny také možnosti řešení problémů, které byly popsány v předchozí kapitole.

Ve třetí kapitole jsou popsány jednotlivé jevy a jejich negativní vlivy na chod bioplynové stanice s důrazem na nutnost predikce extrémních hodnot v rámci jednotlivých měření.

Čtvrtá kapitola se věnuje aktuálním možnostem monitoringu jednotlivých složek a provozních stavů spolu s analýzou nedostatků aktuálních měření. Nedostatky těchto měření způsobují problémový chod bioplynové stanice, jehož důsledkem jsou zvýšené náklady na provoz a servis stanice a zároveň snižují efektivitu výroby elektrické energie.

V další kapitole jsou rozebrány možnosti a principů nově navrhovaného systému pro měření a analýzu provozních stavů, na základě kterých byl navržen predikční model. Tento model je detailně popsán a ověřen ve dvou posledních kapitolách.

Šestá a sedmá kapitola popisuje konkrétní modely predikce pro nově vznikající systém měření. V rámci ověření funkčnosti byly využity historické hodnoty získané ze stávající technologie. I přes určitou chybovost těchto senzorů, se zdá být navrhovaný model funkční. Jeho výsledky rámcově odpovídají reálným stavům BPS, které byly průběžně zjišťovány.

V rámci dalšího vývoje zde představeného systému měření se počítá také s integrací do stávajícího řídicího systému BPS. Pak by bylo možné, aby systém analýzy a predikce na základě svých výstupů mohl v určitých mezích zasahovat do nastavení parametrů řízení BPS bez zásahu obsluhy. Pokud by byl případný zásah větší, bude o něm informována obsluha.

V rámci testování funkce jednotlivých modelů predikce byla uvažována i výpočetní a datová náročnost. Proto byly jednotlivé modely testovány na různých rozsazích a vzorkovacích frekvencích historických dat. V rámci biologického modelu chování bylo zjištěno, že nejlepších výsledků dosahoval model s nejnižší vzorkovací frekvencí a s daty nejbližší k bodu testování na vstupu. Pokud model využíval starší data, jeho predikční odchylka od reálného stavu se zvyšovala (obvykle v řádu jednotek procent) proti menšímu rozsahu vstupních dat.

Z testů v závěrečné kapitole vychází, že navrhované modely prošly ověřením funkce s velmi dobrými výsledky. Průměrná chyba predikce se pohybuje přibližně kolem 1 % ve všech případech jednotlivých testů. To znamená, že model je schopný nastítnit budoucí provozní stavy a nutné změny přibližně 6 dní dopředu, což je vzhledem k času potřebnému na reakci (v případě biologické části obvykle 2 týdny, v případě technologické části 8 dní) více než dostačující. Díky tomu je tedy možné předcházet výpadkům v kratší době než nyní, a tím pádem minimalizovat ztráty na minimum.

Výsledné predikční modely jsou použity jako základ pro nově vyvíjený řídicí systém BPS, který krom jiného integruje i možnosti evidence skladových zásob technologického materiálu, a na základě predikcí provozních stavů připomíná i potřebné zásobování. Spolu s tím jsou evidovány i zákonem stanovené lhůty pro provádění emisních měření a ověřování dalších provozních stavů integrovaných do jednotného systému hlášení. V této práci byl kladen důraz především na část monitorující a predikující vývoj jednotlivých parametrů technologie BPS a evidenční část vyvíjené aplikace je plánována pro budoucí rozšíření.

9 Seznam použité literatury

- [1] Heinz, Schulz; Eder, Barbara. *Bioplyn v praxi*. 1. České vydání. Ostrava : HEL, 2004. 168 s. ISBN 80-86167-21-6
- [2] Baader, W.; Dohne, E.; Brenndörfer, M.; Biogas in Theorie und Praxis. KTBL-Schrift Nr. 229, Darmstadt 1978, „*Bioplyn v teorii a praxi*“.
- [3] Thomé-Kozmiensky, K.J.: Biogas, Anaerobtechnik in der Abfallwirtschaft. EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik, Berlin 1989 „*Bioplyn, anaerobní technologie v odpadovém hospodářství*“.
- [4] TÜV Bayern: Zusammenstellung der wichtigsten technischen Regeln und Vorschriften bezüglich Biogasanlagen. TÜV Bayern e. V., Westendstr. 199, 80686 München, 10. 4. 1992. „*Souhrn nejdůležitějších technických pravidel a předpisů týkajících se bioplynových stanic*“.
- [5] Kára, J., Adamovský, R.: Praktická příručka - obnovitelné zdroje energie. MZE ČR, Praha, 1993.
- [6] Minkevič. I. G. – Jerošin, V. K.: Productivity and heat generation of fermentation under oxygen limitation. *Folia Microbiol.*, 18, 1973, 376 až 387.
- [7] Sobotka. M. et al.: The mass-energy balance of anaerobic methanoproduction. *Folia Microbiol.*, 1983, 28, 195—204.
- [8] Symons, G. E. — Buswell. A. M.: The methane fermentation of carbohydrates. *J. Am. Chem. Soc.*, 55, 1933, 2028—2029.
- [9] DLG (Deutsche Landwirtschaftsgesellschaft), 2006: Praxishandbuch Futterkonservierung. Silagebereitung, Siliermittel, Dosiergeräte, Silofolien. DLG-Verlags-GmbH, 7. Auflage, ISBN 3-7690-0677-1.
- [10] Pötsch E.M. 2007: Low Input Farming Systems and livestock production - grassland and dairy farming in Austria. Proceedings of the Summer University at Ranco, Italy, JRC Scientific and Technical Reports, ISBN 978-92-79-08007-4, 33-38.
- [11] IBLER, Zbyněk, KARTÁK, Jan, MERTLOVÁ, Jiřina, IBLER, Zbyněk ml. Technický průvodce energetika-1. díl, 2002. 1. vydání. Praha: BEN-technická literatura, ISBN 80-7300-026-1.
- [12] VACÍK, Jiří, BARTHOVÁ, Jana, PACÁK, Josef, STRAUCH, Bohuslav, SVOBODOVÁ, Miloslava, ZEMÁNEK, František. *Přehled středoškolské chemie*, 1995. 1. vydání. Praha: SPN-pedagogické nakladatelství, a.s., ISBN 80-85937-08-5.
- [13] ATKINS, Peter. *Čtyři zákony, které řídí vesmír*, 2012. První vydání. Praha: Academia, ISBN 978-80-200-2108-3.

- [14] POHOŘELÝ, Michael, JEREMIÁŠ, Michal, SKOBLIA, Siarhei, KAMENÍKOVÁ, Petra, SVOBODA, Karel, TOŠNAROVÁ, Markéta, ŠYC, Michal, PUNČOCHÁŘ, Miroslav, GÁL, Leoš. Zplyňování biomasy – možnosti uplatnění, *Konference OZE 2010*, 2010. Kouty nad Desnou. Dostupné z <http://files.tretiruka.cz/200001013-a770ca86ad/109.pdf>.
- [15] Reichl, Jaroslav; Všeticka, Martin; Plyny (vzduch). Encyklopedie Fyziky.[online] Dostupné z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/117-plyny-vzduch>>
- [16] Wang, Y. T. at al.: Anaerobic treatment of phenol by an expanded-bed reactor. *Journal WPCF*, 58, 1986, 227—233.
- [17] Dokumentace Firmy Aseko, spol. s.r.o.: [online].: Dostupné na WWW: <<http://www.biogasanalyzers.com/?lang=CS>>
- [18] ÖKOBIT GmbH Jean-Monnet-Str. 12 54343 Föhren/NĚMECKO.: Technologie bioplynu.: [online].: Dostupné na WWW:<<http://www.oekobit-biogas.com/cz/kontakt.html>>.
- [19] České sdružení pro biomasu, Opletalova 7/918, 111 44 Praha 1, 2001-2009, CZ Biom. [online].: Dostupné na WWW: <<http://biom.cz/>>.
- [20] 2007-2015 meteocentrum.cz. [online] Dostupné z WWW: <<http://www.meteocentrum.cz/>>.
- [21] Schäfer, R.: Beurteilung des Biogasverfahrens and Hand von Modellen. KTBL-Schrift Nr. 284, Darmstadt 1987. „*Posouzení bioplynové technologie na základě modelů*“.
- [22] Schauman.: Znalosti o fermentačních procesech. Nepublikováno!
- [23] Biogest.: Interní dokumentace o bioplynovém zařízení. Nepublikováno!
- [24] MWM.: Interní dokumentace zařízení kogenerační jednotky. Nepublikováno!
- [25] Aseko.: Interní dokumentace senzorů plynu. Nepublikováno!
- [26] Buswell, A.M., Anaerobic fermentation. Div. State Water Survey, 1936. 32.
- [27] Hill, D.T., A COMPREHENSIVE DYNAMIC-MODEL FOR ANIMAL WASTE METHANOGENESIS. *Transactions of the Asae*, 1982. 25(5): p. 1374-1380.
- [28] Weissbach F. and H. Honig, 1992: Ein neuer Schlüssel zur Beurteilung der Gärqualität von Silagen auf Basis der chemischen Analyse. 104. VDLUFA-Kongress Göttingen, VDLUFA-Schriftenreihe 35, 489-494
- [29] Weissbach F., 2002: Grundlagen und Praxis der Produktion guter Grassilagen. Bericht zum 8. Alpenländischen Expertenforum „Zeitgemäße Futterkon servierung“, HBLFA Raumberg-Gumpenstein, 1-5
- [30] SKALSKÁ, Hana. *Stochastické modelování*. Vyd. 2., rozš. a upr. Hradec Králové: Gaudeamus, 2006, 162 s. ISBN 80-7041-488-x.

- [31] OECD (2009): *Managing Risk in Agriculture. A Holistic Approach*. OECD, 172 p. ISBN 92-64-07530-6.
- [32] Hardaker, J. B. et al. (2004): *Coping With Risk in Agriculture*. 2nd ed. CABI Publishing, 344 p. ISBN 0-85199-831-3.
- [33] WEISENSEL, W. P. – SHONEY, R. A. (1989): *An Analysis of the Yield-Price Risk Associated with Specialty Crops*. *Western Journal of Agricultural Economics* 14 (2): 293 – 299.
- [34] TICHÝ, M. (2006): *Ovládání rizika: analýza a management*. 1. vydání. C. H. Beck, 2006. ISBN 80-7179-415-5.
- [35] ŠIROKÝ, J.; NEUGEBAUER, J. *Podklady pro ověřování LCC v provozu vozidel*. In: TD 2005 – Diagon 2005. Zlín: Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. 2005. ss: 172. s: 30-35. ISBN 80-7318-293-9
- [36] VINTR, Z., HOLUB, R. *A Model of Vehicle Dependability Evaluation*. In: *Transport Means 2003 - Proceedings of International Conference*. Kaunas: Kauno technologijos universitetas 2003, pp 161 – 165. ISBN 9955-09-511-3
- [37] HEBÁK, Petr, Jiří HUSTOPECKÝ, Eva JAROŠOVÁ a Ivana MALÁ. *Vícerozměrné statistické metody*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-025-3.
- [38] HEBÁK, Petr, Jiří HUSTOPECKÝ a Ivana MALÁ. *Vícerozměrné statistické metody*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-036-9.
- [39] HEBÁK, Petr, Jiří HUSTOPECKÝ, Eva JAROŠOVÁ a Ivana MALÁ. *Vícerozměrné statistické metody*. Vyd. 1. Praha: Informatorium, 2005. ISBN 80-7333-025-3.
- [40] PECINOVSKÝ, RUDOLF. *MYSLÍME OBJEKTOVĚ V JAZYKU JAVA: KOMPLETNÍ UČEBNICE PRO ZAČÁTEČNÍKY. 2., AKTUALIZ. A ROZŠ. VYD. PRAHA: GRADA, 2009. MYSLÍME V--*. ISBN 978-80-247-2653-3.
- [41] ÇALIŞKAN, Mert. a Oleg. VARAKSIN. *PrimeFaces cookbook: over 90 practical recipes to learn PrimeFaces - the rapidly evolving, leading JSF component suite*. Birmingham: Packt Pub., 2013.
- [42] Ram Kulkarni, *Java EE Development with Eclipse, 2nd Edition*, September 2015, ISBN 1-78355-047-3.
- [43] Peter A. Pilgrim, *Digital Java EE 7 Web Application Development, September 2015*, ISBN 1-78217-665-9.
- [44] Alex Bretet, *Spring MVC CookBook*, February 2016, ISBN 1-78439-410-6.
- [45] Insys icom, *Technická dokumentace k GSM data sheet*, INSYS MICROELECTRONICS GmbH , 1.dubna 2012, D-93049 Regensburg, Germany.

10 Seznam ilustrací

OBRÁZEK 1 - SÍRA NA STĚNÁCH FERMENTORU.....	3
OBRÁZEK 2 - SCHÉMA ROZKLADU PLYNU.....	6
OBRÁZEK 3 - PŘENOSNÝ ANALYZÁTOR.....	8
OBRÁZEK 4 - KONTINUÁLNÍ ANALYZÁTOR PLYNU.....	9
OBRÁZEK 5 - METODA INFRAČERVENÉHO MĚŘENÍ: ZDROJ [25].....	11
OBRÁZEK 6 - SCHÉMA ELEKTRICKÉHO ČIDLA:ZDROJ [25].....	13
OBRÁZEK 7 - ATMOSFÉRICKÝ TLAK EVROPY: ZDROJ METACENTRUM.CZ.....	16
OBRÁZEK 8 - KONCOVÝ SKLAD BPS.....	26
OBRÁZEK 9 - SYSTÉM ODSÍŘENÍ BIOPLYNU.....	28
OBRÁZEK 10 - KOGENERAČNÍ JEDNOTKA BPS.....	29
OBRÁZEK 11 - CYKLUS OVLÁDÁNÍ RIZIK: ZDROJ [35] A [36].....	46
OBRÁZEK 12 - MODEL OBNOVY: ZDROJ [35] A [36].....	47
OBRÁZEK 13 - SCHÉMA NAVRHOVANÉHO SYSTÉMU.....	51
OBRÁZEK 14 - SCHÉMA ALGORITMU PRO ZPRACOVÁNÍ DAT.....	52
OBRÁZEK 15 - ROZHODOVACÍ STROM.....	73
OBRÁZEK 16 - SOFTWAREVÉ SCHÉMA.....	84
OBRÁZEK 18 - WEBOVÉ ROZHRAŇÍ PREDÁTORU.....	90
OBRÁZEK 19 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 1.....	105
OBRÁZEK 20 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 3.....	106
OBRÁZEK 21 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 4.....	107
OBRÁZEK 22 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 5.....	108
OBRÁZEK 23 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 6.....	109
OBRÁZEK 24 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 7.....	110
OBRÁZEK 25 - PROTOKOL HLAVNÍHO ŘÍDICÍHO SYSTÉMU STRANA 8.....	111
OBRÁZEK 26 - VÝSLEDEK LABORATORNÍ ZKOUŠKY OLEJE.....	112
OBRÁZEK 27 - VÝSLEDEK LABORATORNÍ ZKOUŠKY OLEJE GRAFY OPOTŘEBENÍ.....	113
OBRÁZEK 28 - VÝSLEDEK LABORATORNÍHO MĚŘENÍ DIGESTÁTU.....	114
OBRÁZEK 29 - LABORATORNÍ ZKOUŠKA BIOPLYNU.....	115
OBRÁZEK 30 - ZADÁNÍ K ZÁVĚREČNÉ PRÁCI.....	116

11 Seznam tabulek

TABULKA 1 - ROZSAHY MĚŘENÍ JEDNOTLIVÝCH SLOŽEK BIOPLYNU.....	7
TABULKA 2 - TEORETICKÝ OBSAH BIOPLYNU.....	18
TABULKA 3 - SPOJITOST MEZI SLEDOVANÝMI PRVKY	54
TABULKA 4- SYSTÉMOVÁ DATA PRŮBĚHU PROCESU TVORBY BIOPLYNU.....	58
TABULKA 5 - KORELAČNÍ MATICE.....	59
TABULKA 6 - ODHAD KOEFICIENTŮ	61
TABULKA 7 - ODHAD KOEFICIENTŮ 2.....	62
TABULKA 8 - REGRESNÍ STATISTIKA	63
TABULKA 9 – ANOVA.....	64
TABULKA 12 - REZIDUA.....	65
TABULKA 14 - TEST DOŽITÍ.....	78
TABULKA 15- TEST MODELŮ REGRESE	79
TABULKA 16 - TEST FUNKČNOSTI MODELŮ	80
TABULKA 17- CHYBA VÝPOČTU MODELŮ - ROZDÍL HODNOT	81
TABULKA 18- PROCENTUÁLNÍ CHYBA MODELU.....	82
TABULKA 19 - VLASTNOSTI VZDUCHU	103
TABULKA 20 - KONCENTRACE LÁTEK VE FERMENTAČNÍ HMOTĚ.....	104

12 Seznam vzorců

VZOREC 1 - BUSWELL	4
VZOREC 2 - BUSWELL ROZPRACOVANÝ	4
VZOREC 3 - BUSWELL PO UPRAVĚ.....	5
VZOREC 4 - STUPEŇ REDUKOVATELNOSTI.....	5
VZOREC 5 - OBSAH METANU	5
VZOREC 6 - LAW BEER-LAMBERT	11
VZOREC 7 - ZMĚNA NAPĚTÍ.....	12
VZOREC 8 - FRAKČNÍ ABSORPCE	12
VZOREC 9 - RYCHLOST OPOTŘEBENÍ.....	34
VZOREC 10 - VÝTĚŽNOST PLYNU WEISSBACH	39
VZOREC 11 - VÝTĚŽNOST AMON.....	39
VZOREC 12 - PRAVDĚPODOBNOST SELHÁNÍ.....	48
VZOREC 13 - PRAVDĚPODOBNOST DOŽITÍ	49
VZOREC 14 - SELHÁNÍ VS. DOŽITÍ	49
VZOREC 15 - PRAVDĚPODOBNOST SJEDNOCENÍ.....	49
VZOREC 16 - RELATIVNÍ ČETNOST.....	50
VZOREC 17 - MÍRA SELHÁNÍ.....	50
VZOREC 18 - PRŮMĚRNÁ DOBA POUŽITÍ	50
VZOREC 19 – DŮSLEDEK SJEDNOCENÍ NEZÁVISLÝCH JEVŮ	50
VZOREC 20 - PRŮMĚR	53
VZOREC 21 - SMĚRODATNÁ ODCHYLKA	53
VZOREC 22 - VÝPOČET ZÁVAŽNOSTI PROBLÉMU	53
VZOREC 23 - ROZEBRANÝ VZOREC PROBLÉMU	53
VZOREC 24 - TESTOVÁNÍ VÝPOČTU PROBLÉMU	54
VZOREC 25 - PRŮMĚRNÝ PROBĚH OLEJOVÉ NÁPLNĚ	55
VZOREC 26 - ZATÍŽENÍ NOVÉ OLEJOVÉ NÁPLNĚ.....	55
VZOREC 27 - PRAVDĚPODOBNOST VÝDRŽE OLEJOVÉ NÁPLNĚ	55
VZOREC 28 - PRAVDĚPODOBNOST MÍRY SELHÁNÍ	56
VZOREC 29 – VÝPOČET ZÁVAŽNOSTI PROBLÉMU	56
VZOREC 30 - VÍCENÁSOBNÝ REGRESNÍ MODEL	60
VZOREC 31 - REGRESNÍ FUNKCE.....	61
VZOREC 32 - REGRESNÍ FUNKCE POPSANÁ	61
VZOREC 35 - TESTOVÉ KRITÉRIUM	66
VZOREC 36 - SPOTŘEBA PLYNU.....	66
VZOREC 37 - ČASOVÁ ŘADA - ADITIVNÍ MODEL.....	66
VZOREC 38 - ČASOVÁ ŘADA - MULTIPLIKATIVNÍ MODEL	67

VZOREC 39 – KVADRATICKÝ TREND - PRŮMĚRNÁ SPOTŘEBA.....	68
VZOREC 44 - STŘEDNÍ ČTVERCOVÁ CHYBA.....	69
VZOREC 45 - STŘEDNÍ ABSOLUTNÍ CHYBA.....	69
VZOREC 46 - STŘEDNÍ CHYBA	70
VZOREC 47 - KONSTANTNÍ SEZÓNNOST	71
VZOREC 48 - DOŽITÍ OLEJOVÉ NÁPLNĚ.....	77
VZOREC 49 - DOŽITÍ S DOSAZENÝMI MODELOVÝMI HODNOTAMI	77

13 Seznam grafů

GRAF 1 - GRAF FA	12
GRAF 2 - GRAF ŽIVOTNOSTI OLEJOVÉ NÁPLNĚ: ZDROJ [24]	32
GRAF 3 - GRAF OPOTŘEBENÍ MOTORU A PŘÍTOMNOSTI KOVŮ V OLEJI: ZDROJ[24].	34
GRAF 4 - GRAF REZIDUÍ.....	64
GRAF 5 - VÝMĚNY OLEJE	67
GRAF 6 - VÝKON MOTORU V ROCE 2015.....	67
GRAF 7 - PRŮMĚRNÁ DENNÍ SPOTŘEBA	68
GRAF 8 - SPOTŘEBA KRMIV	70

14 Seznam kódů

KÓD 1 - PARSER	85
KÓD 2 - REFLEXE.....	86
KÓD 3 - KONFIGURAČNÍ TŘÍDA.....	86
KÓD 4 - PREDIKCE PLYNU	87
KÓD 5 - ROVNICE PREDIKCE	88

15 Přílohy

	teplota vzduchu	relativní vlhkost vzduchu	tlak vodní páry	obsah vodní páry	teplota vzduchu, při které dochází ke kondenzaci	teplota vzduchu, při které dochází k riziku vzniku plísní
	[°C]	[%]	[Pa]	[g/m ³]	[°C]	[°C]
1	-15	84	139	0,87	-16,9	
2	20	25	584	4,33	-0,5	2,5
3	20	30	701	5,19	1,9	5,1
4	20	35	818	6,06	4,1	8,6
5	20	40	935	6,92	6,0	7,9
6	20	45	1052	7,79	7,7	11,0
7	20	50	1169	8,65	9,3	12,6
8	20	55	1285	9,52	10,7	14,1
9	20	60	1402	10,38	12,0	15,4
10	20	65	1519	11,25	13,2	16,7
11	20	70	1636	12,11	14,4	17,9
12	20	75	1753	12,98	15,4	19,0
13	20	80	1870	13,84	16,5	20
14	20	85	1986	14,71	17,4	
15	20	90	2103	15,57	18,3	
16	20	95	2220	16,44	19,2	
17	20	100	2337	17,30	20	

Tabulka vybraných vlastností vzduchu

Tabulka 16 - Vlastnosti vzduchu

odběr	Datum	NH4-N	NH4-N	FOS	TAC	FOS/TAC	pH	k. Octová	k. propionová	k. máselná	suma NMK	sušina %
1	17.10.2012	0,18%	1,75	2397	10691	0,22	7,73	123	30	30	183	4,86
2	24.10.2012	0,17%	1,7	2081	11579	0,18	8,03	103	30	30	163	4,53
3	30.10.2012	0,19%	1,86	2217	11088	0,2	8,25	188	30	30	248	4,51
4	7.11.2012	0,20%	1,92	2581	11752	0,22	7,79	353	31	30	414	4,34
5	13.11.2012	0,18%	1,79	2603	11515	0,23	7,75	563	34	30	627	4,55
6	21.11.2012	0,20%	1,95	2158	11198	0,19	7,69	30	30	30	90	4,67
7	5.12.2012	0,16%	1,61	2317	10642	0,22	7,74	52	30	30	112	5,73
8	19.12.2012	0,17%	1,65	2644	10886	0,24	7,76	182	30	30	242	6,74
9	30.1.2013	0,15%	1,5	2876	11296	0,25	7,76	30	30	30	90	6,93
10	22.3.2013	0,16%	1,59	5300	10777	0,49	7,53	822	30	30	882	7,07
11	21.5.2013	0,13%	1,25	4146	10945	0,38	7,68	259	30	30	319	8,7
12	25.6.2013	0,13%	1,25	3368	9568	0,35	7,71	338	30	30	398	8,07
13	3.9.2013	0,17%	1,63	3363	11384	0,3	7,71	30	30	30	90	8,22
14	22.10.2013	0,14%	1,42	2813	10873	0,26	7,76	91	30	30	151	7,49
15	19.11.2013	0,15%	1,47	2614	9562	0,27	7,7	30	30	30	90	7,49
16	30.12.2013	0,15%	1,43	2308	11405	0,2	7,62	30	30	30	90	7,07
17	21.1.2014	0,19%	1,84	2772	10668	0,26	7,76	357	30	30	417	7,37
18	25.2.2014	0,16%	1,6	3145	8894	0,35	7,58	554	30	30	614	7,31
19	18.3.2014	0,16%	1,54	2839	10534	0,27	7,52	39	30	30	99	7,22
20	15.4.2014	0,16%	1,54	2515	10478	0,24	7,78	58	30	30	118	7,64
21	29.4.2014	0,15%	1,51	4523	9435	0,48	7,43	2323	30	30	2383	7,7
22	21.5.2014	0,15%	1,45	2496	10023	0,25	7,54	36	30	30	96	7,36
23	17.6.2014	0,15%	1,51	2888	8999	0,32	7,49	56	30	30	116	7,63
24	15.7.2014	0,14%	1,39	2971	9696	0,31	7,65	73	30	30	133	7,56
25	19.8.2014	0,15%	1,43	2785	10872	0,26	7,79	54	30	30	114	7,07
26	16.9.2014	0,13%	1,28	3395	10698	0,32	7,53	63	30	30	123	6,81
27	21.10.2014	0,13%	1,25	2523	8805	0,29	7,5	76	30	30	136	6,49

Tabulka 17 - Koncentrace látek ve fermentační hmotě

provozní hod. KVET	výkon						Bioplyn		Fermentor					
	výkon proud do sítě	výkon proud ze sítě	výkon KVET	proud zelený bonus	výkon zařízení vlastní potřeby	Spotřeba plynu	volná plocha	množství v dávkovači denní množství HF	množství tepla Hlavní fermentor	Průměrná teplota v Hlavní fermentor	množství tepla Dofermentor	Průměrná teplota v Dofermentor		

Datum	h : m	kWh	kWh	kWh	kWh	kWh	m3	[-]	t	MWh	°C	MWh	°C
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Po, 1.6	23:38	11550	21	14090	0,0	1,0	6557,0	--	21,09	0,5	42,2	0,0	42,3
Wt., 2.6	17:20	8397	451	10200	0,0	0,0	4826,0	--	19,74	0,9	41,8	0,0	42,3
Čer., 3.6	24:00	11495	0	13960	0,0	0,0	6482,0	--	19,71	1,5	42,4	0,0	42,2
Ct, 4.6	23:39	11386	28	14040	0,0	1,0	6415,0	--	18,20	0,4	42,4	0,0	42,3
Pa, 5.6	23:44	11538	19	14190	0,0	0,0	6456,0	--	19,08	0,5	42,3	0,0	42,3
So, 6.6	24:00	11923	0	14400	0,0	0,0	6588,0	--	21,00	0,4	42,4	0,0	42,3
Ne, 7.6	23:36	11785	39	14140	0,0	0,0	6463,0	--	19,35	0,4	42,3	0,0	42,3
Po, 8.6	24:00	11722	0	14430	0,0	1,0	6583,0	--	20,30	0,9	42,1	0,0	42,3
Wt., 9.6	23:51	11494	23	14280	0,0	0,0	6434,0	--	21,81	1,8	41,6	0,0	42,3
Čer., 10.6	24:00	11660	0	14430	0,0	0,0	6544,0	--	23,74	1,5	42,4	0,0	42,4
Ct, 11.6	23:45	11452	23	14210	0,0	0,0	6512,0	--	20,35	0,2	42,5	0,0	42,4
Pa, 12.6	24:00	11621	0	14420	0,0	0,0	6738,0	--	22,36	0,2	42,5	0,0	42,4
So, 13.6	24:00	12032	0	14380	0,0	1,0	6705,0	--	19,15	0,4	42,2	0,0	42,4
Ne, 14.6	24:00	12027	0	14400	0,0	0,0	6727,0	--	20,06	1,1	42,0	0,0	42,4
Po, 15.6	23:46	11818	31	14260	0,0	0,0	6604,0	--	18,35	1,5	41,8	0,0	42,4
Wt., 16.6	24:00	11728	0	14440	0,0	0,0	6607,0	--	19,52	1,6	42,3	0,0	42,4
Čer., 17.6	19:30	9352	434	11630	0,0	1,0	5496,0	--	21,95	0,3	42,3	0,0	42,5
Ct, 18.6	24:00	12005	0	14430	0,0	0,0	6703,0	--	20,85	1,3	42,1	0,0	42,5
Pa, 19.6	24:00	12039	0	14450	0,0	0,0	6665,0	--	21,45	1,4	42,4	0,0	42,5
So, 20.6	24:00	12096	0	14370	0,0	0,0	6622,0	--	20,98	0,8	42,2	0,0	42,5
Ne, 21.6	23:44	11863	22	14120	0,0	1,0	6577,0	--	21,44	0,8	42,2	0,0	42,5
Po, 22.6	24:00	11877	0	14400	0,0	0,0	6749,0	--	20,46	1,5	41,9	0,0	42,5
Wt., 23.6	23:40	11558	39	13980	0,0	0,0	6577,0	--	21,12	1,8	42,2	0,0	42,5
Čer., 24.6	24:00	12016	0	14440	0,0	1,0	6589,0	--	20,07	0,3	42,3	0,0	42,5
Ct, 25.6	24:00	11948	0	14440	0,0	0,0	6621,0	--	21,40	0,5	42,3	0,0	42,5
Pa, 26.6	24:00	11638	0	14420	0,0	0,0	6706,0	--	22,24	0,5	42,3	0,0	42,5
So, 27.6	24:00	12070	0	14430	0,0	0,0	6690,0	--	20,50	0,5	42,3	0,0	42,5
Ne, 28.6	24:00	11927	0	14430	0,0	0,0	6652,0	--	21,04	0,8	42,2	0,0	42,5
Po, 29.6	24:00	11950	0	14450	0,0	0,0	6638,0	--	21,85	0,6	42,2	0,0	42,5
Wt., 30.6	24:00	11911	0	14420	0,0	1,0	6681,0	--	19,91	0,5	42,3	0,0	42,5
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
součet	706:17	347878	1130	422680	0,0	8,0	195207,0	--	619,07	25,4		0,0	
průměr	23:32	11595,9	37,7	14089,3	0,0	0,3	6506,9	--	20,64	0,8	42,2	0,0	42,4
denní minimum	17:20	8397	0	10200	0,0	0,0	4826,0	--	18,20	0,2	41,6	0,0	42,2
dne	02/06/15	02/06/15	03/06/15	02/06/15	01/06/15	02/06/15	02/06/15	--:--:--	04/06/15	11/06/15	09/06/15	01/06/15	03/06/15
denní maximum	24:00	12096	451	14450	0,0	1,0	6749,0	--	23,74	1,8	42,5	0,0	42,5
dne	03/06/15	20/06/15	02/06/15	19/06/15	01/06/15	01/06/15	22/06/15	--:--:--	10/06/15	09/06/15	11/06/15	01/06/15	24/06/15

vytištěný z user	Podpis	část 1 / 10
-------------------------	---------------	--------------------

Obrázek 18 - Protokol hlavního řídicího systému strana 1

Analýza plynu

	H2S min	H2S max	H2S průměr	O2 min	O2 max	O2 průměr	CH4 min	CH4 max	CH4 průměr	CO2 min	CO2 max	CO2 průměr	volná plocha
Datum	ppm	ppm	ppm	%	%	%	%	%	%	%	%	%	[-]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Po, 1.6	49	252	145	0,6	0,7	0,7	51,9	53,7	52,8	43,0	46,0	44,3	--
Wt., 2.6	21	133	68	0,5	0,7	0,6	52,1	54,7	53,4	42,0	46,0	44,4	--
Čer., 3.6	17	73	43	0,5	0,6	0,6	52,1	54,6	53,3	44,0	46,0	44,9	--
Ct, 4.6	11	114	26	0,5	1,3	0,6	44,2	54,9	53,9	40,0	46,0	44,7	--
Pa, 5.6	28	188	66	0,5	0,6	0,6	53,0	54,7	53,9	43,0	46,0	44,4	--
So, 6.6	42	331	142	0,6	0,7	0,6	52,9	54,8	53,7	43,0	46,0	44,5	--
Ne, 7.6	25	49	41	0,5	0,7	0,6	52,7	55,2	54,0	44,0	46,0	44,6	--
Po, 8.6	25	251	72	0,5	0,6	0,6	53,0	54,6	53,7	43,0	46,0	44,3	--
Wt., 9.6	33	122	73	0,5	0,6	0,6	52,8	54,8	54,0	42,0	45,0	43,9	--
Čer., 10.6	19	95	46	0,5	0,7	0,6	52,8	54,6	53,7	43,0	45,0	44,1	--
Ct, 11.6	19	57	35	0,6	0,7	0,7	52,3	54,2	53,3	40,0	45,0	43,8	--
Pa, 12.6	16	59	35	0,6	0,7	0,6	51,5	53,3	52,3	43,0	46,0	44,3	--
So, 13.6	12	64	28	0,6	0,7	0,6	51,6	53,4	52,5	43,0	45,0	43,9	--
Ne, 14.6	18	64	41	0,6	0,7	0,6	51,7	53,1	52,4	43,0	45,0	43,9	--
Po, 15.6	18	60	38	0,6	0,7	0,6	51,3	53,8	52,7	43,0	45,0	43,6	--
Wt., 16.6	23	68	43	0,6	0,7	0,7	52,5	54,0	53,1	43,0	45,0	43,6	--
Čer., 17.6	28	112	57	0,6	0,7	0,7	51,8	54,3	53,3	42,0	45,0	43,6	--
Ct, 18.6	47	123	82	0,6	0,7	0,7	52,0	53,4	52,7	42,0	45,0	43,3	--
Pa, 19.6	42	107	69	0,6	0,7	0,7	52,0	53,7	52,8	42,0	44,0	43,2	--
So, 20.6	24	62	47	0,6	0,7	0,6	52,4	53,8	53,1	42,0	45,0	43,1	--
Ne, 21.6	31	98	59	0,6	0,7	0,6	51,8	53,8	52,9	42,0	45,0	43,4	--
Po, 22.6	18	57	37	0,6	0,8	0,6	51,4	53,3	52,3	42,0	45,0	43,3	--
Wt., 23.6	28	72	47	0,7	0,8	0,7	50,8	53,6	51,9	42,0	44,0	42,9	--
Čer., 24.6	19	67	42	0,7	0,8	0,8	52,2	53,8	52,9	42,0	45,0	43,2	--
Ct, 25.6	24	62	42	0,7	0,8	0,8	52,3	53,6	52,9	43,0	45,0	43,6	--
Pa, 26.6	22	54	36	0,7	0,8	0,8	51,6	53,2	52,3	43,0	45,0	44,0	--
So, 27.6	21	49	34	0,7	0,8	0,8	51,6	53,2	52,4	43,0	45,0	43,5	--
Ne, 28.6	19	49	34	0,7	0,8	0,8	52,1	53,4	52,7	42,0	45,0	43,5	--
Po, 29.6	31	85	51	0,7	0,8	0,8	52,4	54,0	53,0	42,0	45,0	43,3	--
Wt., 30.6	37	103	64	0,7	0,8	0,8	52,2	53,7	52,8	43,0	45,0	43,6	--
-	-	-	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
součet průměr	26	103	55	0,6	0,7	0,7	51,8	54,0	53,0	42,5	45,2	43,8	--
denní minimum	11	0	26	0,5	0,6	0,6	44,2	53,1	51,9	40,0	44,0	42,9	--
dne	04/06/15	07/06/15	04/06/15	02/06/15	03/06/15	02/06/15	04/06/15	14/06/15	23/06/15	04/06/15	19/06/15	23/06/15	--:--:--
denní maximum	49	0	145	0,7	1,3	0,8	53,0	55,2	54,0	44,0	46,0	44,9	--
dne	01/06/15	06/06/15	01/06/15	23/06/15	04/06/15	24/06/15	05/06/15	07/06/15	07/06/15	03/06/15	01/06/15	03/06/15	--:--:--

vytištěny z
user

Podpis

část 3 / 10

Obrázek 19 - Protokol hlavního řídicího systému strana 3

Provozní hodiny

Datum	míchadlo 1 hlavní fermentor		míchadlo 2 hlavní fermentor		míchadlo 3 hlavní fermentor		volná plocha	volná plocha	volná plocha	míchadlo 1 dofermentor	míchadlo 2 dofermentor	volná plocha	volná plocha	cerpací stanice	pretlakové čerpadlo hlavní fermentor	volná plocha
	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13			
Po, 1.6	8:01	8:06	8:01	--	--	--	0:30	0:29	--	--	2:25	19:05	--			
Wt., 2.6	8:10	8:10	8:09	--	--	--	0:30	0:29	--	--	2:46	24:00	--			
Čer., 3.6	8:33	8:33	8:30	--	--	--	0:24	0:23	--	--	2:28	19:21	--			
Ct, 4.6	8:21	8:21	8:20	--	--	--	0:47	0:47	--	--	2:12	18:33	--			
Pa, 5.6	7:34	7:34	7:34	--	--	--	0:42	0:41	--	--	1:29	21:22	--			
So, 6.6	7:44	7:44	7:42	--	--	--	0:28	0:27	--	--	2:45	20:28	--			
Ne, 7.6	7:45	7:45	7:44	--	--	--	0:35	0:34	--	--	3:13	19:06	--			
Po, 8.6	7:23	7:23	7:23	--	--	--	0:40	0:40	--	--	1:48	20:45	--			
Wt., 9.6	7:53	7:53	7:52	--	--	--	0:35	0:34	--	--	3:37	24:00	--			
Čer., 10.6	7:59	7:59	7:59	--	--	--	0:28	0:27	--	--	3:01	18:15	--			
Ct, 11.6	7:47	7:47	7:47	--	--	--	0:37	0:37	--	--	2:37	15:32	--			
Pa, 12.6	7:54	7:54	7:54	--	--	--	0:39	0:38	--	--	2:08	16:14	--			
So, 13.6	7:39	7:39	7:39	--	--	--	0:35	0:34	--	--	1:18	20:02	--			
Ne, 14.6	7:38	7:38	7:38	--	--	--	0:42	0:41	--	--	3:02	20:03	--			
Po, 15.6	7:38	7:38	7:38	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:06	24:00	--			
Wt., 16.6	7:40	7:40	7:40	--	--	--	0:42	0:41	--	--	1:58	12:31	--			
Čer., 17.6	7:39	7:39	7:39	--	--	--	0:41	0:41	--	--	2:20	18:59	--			
Ct, 18.6	7:49	7:49	7:49	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:09	24:00	--			
Pa, 19.6	7:43	7:43	7:43	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:35	15:42	--			
So, 20.6	7:53	7:53	7:52	--	--	--	0:42	0:41	--	--	1:44	21:57	--			
Ne, 21.6	7:57	7:57	7:57	--	--	--	0:35	0:34	--	--	2:15	18:50	--			
Po, 22.6	7:37	7:37	7:36	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:04	24:00	--			
Wt., 23.6	7:54	7:54	7:54	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:48	14:20	--			
Čer., 24.6	7:53	7:53	7:53	--	--	--	0:42	0:41	--	--	1:36	15:05	--			
Ct, 25.6	7:41	7:41	7:41	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:25	14:30	--			
Pa, 26.6	7:55	7:55	7:54	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:09	13:30	--			
So, 27.6	7:37	7:37	7:37	--	--	--	0:48	0:48	--	--	2:27	17:11	--			
Ne, 28.6	7:59	7:59	7:59	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:15	19:29	--			
Po, 29.6	7:50	7:50	7:50	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:24	18:57	--			
Wt., 30.6	7:41	7:41	7:41	--	--	--	0:42	0:41	--	--	2:12	19:18	--			
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
součet	234:59	235:03	234:52	--	--	--	19:27	19:13	--	--	70:31	569:17	--			
průměr	7:49	7:50	7:49	--	--	--	0:38	0:38	--	--	2:21	18:58	--			
denní minimum	7:23	7:23	7:23	--	--	--	0:24	0:23	--	--	1:18	12:31	--			
dne	08/06/15	08/06/15	08/06/15	--	--	--	03/06/15	03/06/15	--	--	13/06/15	16/06/15	--			
denní maximum	8:33	8:33	8:30	--	--	--	0:48	0:48	--	--	3:37	24:00	--			
dne	03/06/15	03/06/15	03/06/15	--	--	--	27/06/15	27/06/15	--	--	09/06/15	02/06/15	--			

vytištěný z
user

Podpis

část 4 / 10

Provozní hodiny

odsířovací zařízení	Provozní hodiny													
	volná plocha	volná plocha	míchací snek 1	míchací snek 2	volná plocha	doprava snek 1	doprava snek 2	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	
Datum	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m	h : m
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	13
Po, 1.6	24:00	--	--	0:49	0:03	--	1:10	1:31	--	--	--	--	--	--
Wt., 2.6	24:00	--	--	0:46	0:03	--	1:08	1:30	--	--	--	--	--	--
Čer., 3.6	24:00	--	--	0:47	0:01	--	1:08	1:29	--	--	--	--	--	--
Ct, 4.6	24:00	--	--	0:48	0:02	--	1:09	1:30	--	--	--	--	--	--
Pa, 5.6	24:00	--	--	0:50	0:00	--	1:10	1:30	--	--	--	--	--	--
So, 6.6	24:00	--	--	0:53	0:07	--	1:12	1:32	--	--	--	--	--	--
Ne, 7.6	24:00	--	--	0:48	0:09	--	1:09	1:29	--	--	--	--	--	--
Po, 8.6	24:00	--	--	0:47	0:04	--	1:07	1:27	--	--	--	--	--	--
Wt., 9.6	24:00	--	--	0:50	0:00	--	1:11	1:32	--	--	--	--	--	--
Čer., 10.6	24:00	--	--	0:53	0:01	--	1:16	1:39	--	--	--	--	--	--
Ct, 11.6	24:00	--	--	0:50	0:02	--	1:11	1:32	--	--	--	--	--	--
Pa, 12.6	24:00	--	--	0:50	0:02	--	1:12	1:34	--	--	--	--	--	--
So, 13.6	24:00	--	--	0:40	0:00	--	1:01	1:22	--	--	--	--	--	--
Ne, 14.6	24:00	--	--	0:42	0:01	--	1:03	1:24	--	--	--	--	--	--
Po, 15.6	24:00	--	--	0:43	0:00	--	1:04	1:25	--	--	--	--	--	--
Wt., 16.6	24:00	--	--	0:44	0:00	--	1:05	1:26	--	--	--	--	--	--
Čer., 17.6	24:00	--	--	0:48	0:02	--	1:11	1:34	--	--	--	--	--	--
Ct, 18.6	24:00	--	--	0:51	0:04	--	1:13	1:35	--	--	--	--	--	--
Pa, 19.6	24:00	--	--	0:47	0:01	--	1:10	1:33	--	--	--	--	--	--
So, 20.6	24:00	--	--	0:46	0:01	--	1:09	1:32	--	--	--	--	--	--
Ne, 21.6	24:00	--	--	0:46	0:02	--	1:09	1:32	--	--	--	--	--	--
Po, 22.6	24:00	--	--	0:45	0:04	--	1:07	1:29	--	--	--	--	--	--
Wt., 23.6	24:00	--	--	0:44	0:05	--	1:07	1:30	--	--	--	--	--	--
Čer., 24.6	24:00	--	--	0:45	0:02	--	1:07	1:29	--	--	--	--	--	--
Ct, 25.6	24:00	--	--	0:45	0:02	--	1:06	1:29	--	--	--	--	--	--
Pa, 26.6	24:00	--	--	0:48	0:01	--	1:11	1:34	--	--	--	--	--	--
So, 27.6	24:00	--	--	0:43	0:00	--	1:05	1:27	--	--	--	--	--	--
Ne, 28.6	24:00	--	--	0:45	0:03	--	1:07	1:29	--	--	--	--	--	--
Po, 29.6	24:00	--	--	0:45	0:00	--	1:07	1:29	--	--	--	--	--	--
Wt., 30.6	24:00	--	--	0:41	0:00	--	1:02	1:23	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
součet	720:00	--	--	23:32	1:15	--	34:21	45:09	--	--	--	--	--	--
průměr	24:00	--	--	0:47	0:02	--	1:08	1:30	--	--	--	--	--	--
denní minimum	24:00	--	--	0:40	0:00	--	1:01	1:22	--	--	--	--	--	--
dne	01/06/15	--	--	13/06/15	15/06/15	--	13/06/15	13/06/15	--	--	--	--	--	--
denní maximum	24:00	--	--	0:53	0:09	--	1:16	1:39	--	--	--	--	--	--
dne	01/06/15	--	--	10/06/15	07/06/15	--	10/06/15	10/06/15	--	--	--	--	--	--

vytištěny z
user

Podpis

část 5 / 10

provozní hodiny				hladina plyn. vak									
kogenerační jednotka	plynový hořák	plynový kompresor	volná plocha	plynový vak - hladina max	plynový vak - hladina min	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha

Datum	h : m	h : m	h : m	h : m	%	%	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Po, 1.6	23:38	0:28	23:56	--	100,1	60,2	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 2.6	17:20	5:09	22:37	--	100,1	60,5	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 3.6	24:00	0:00	24:00	--	97,8	63,0	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 4.6	23:39	0:16	23:53	--	100,1	61,5	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 5.6	23:44	0:12	23:54	--	99,9	60,7	--	--	--	--	--	--	--
So, 6.6	24:00	0:01	24:00	--	99,9	55,8	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 7.6	23:36	0:15	23:52	--	100,1	64,8	--	--	--	--	--	--	--
Po, 8.6	24:00	0:00	24:00	--	97,9	51,4	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 9.6	23:51	0:04	23:55	--	100,1	61,3	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 10.6	24:00	0:00	24:00	--	90,7	64,1	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 11.6	23:45	0:08	23:52	--	100,1	55,5	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 12.6	24:00	0:00	24:00	--	97,0	54,3	--	--	--	--	--	--	--
So, 13.6	24:00	0:00	24:00	--	100,1	68,3	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 14.6	24:00	0:00	24:00	--	94,8	56,4	--	--	--	--	--	--	--
Po, 15.6	23:46	0:07	23:55	--	100,1	65,3	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 16.6	24:00	0:00	24:00	--	97,1	70,4	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 17.6	19:30	3:32	23:09	--	100,1	60,2	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 18.6	24:00	0:00	24:00	--	99,9	65,6	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 19.6	24:00	0:00	24:00	--	99,2	60,0	--	--	--	--	--	--	--
So, 20.6	24:00	0:00	24:00	--	99,0	68,5	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 21.6	23:44	0:08	23:54	--	100,1	65,7	--	--	--	--	--	--	--
Po, 22.6	24:00	0:00	24:00	--	99,3	63,8	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 23.6	23:40	0:14	23:55	--	100,1	68,1	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 24.6	24:00	0:00	24:00	--	92,5	74,0	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 25.6	24:00	0:00	24:00	--	99,3	65,3	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 26.6	24:00	0:00	24:00	--	95,5	62,7	--	--	--	--	--	--	--
So, 27.6	24:00	0:00	24:00	--	99,6	63,8	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 28.6	24:00	0:00	24:00	--	99,2	62,7	--	--	--	--	--	--	--
Po, 29.6	24:00	0:00	24:00	--	99,7	65,3	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 30.6	24:00	0:00	24:00	--	93,0	70,1	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

součet	706:17	10:39	716:57	--									
průměr	23:32	0:21	23:53	--	98,4	63,0	--	--	--	--	--	--	--
denní minimum	17:20	0:00	22:37	--	90,7	51,4	--	--	--	--	--	--	--
dne	02/06/15	03/06/15	02/06/15	--:--:--	10/06/15	08/06/15	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--
denní maximum	24:00	5:09	24:00	--	100,1	74,0	--	--	--	--	--	--	--
dne	03/06/15	02/06/15	03/06/15	--:--:--	01/06/15	24/06/15	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--	--:--:--

vytištěny z
user

Podpis

část 6 / 10

měření teplot

	Průměrná teplota v Hlavní fermentor	Průměrná teplota v Dofermentor	volná plocha	Průměrná teplota v vnejší teplota	vnejší teplota Max	vnejší teplota Min	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha	volná plocha
Datum	°C	°C	[-]	°C	°C	°C	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]	[-]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Po, 1.6	42,2	42,3	--				--	--	--	--	--	--	--
Wt., 2.6	41,8	42,3	--	25,6	42,5	16,6	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 3.6	42,4	42,2	--	28,7	44,4	18,1	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 4.6	42,4	42,3	--	26,9	43,9	18,1	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 5.6	42,3	42,3	--	27,1	45,1	14,7	--	--	--	--	--	--	--
So, 6.6	42,4	42,3	--	29,9	47,5	17,1	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 7.6	42,3	42,3	--	28,5	44,0	20,9	--	--	--	--	--	--	--
Po, 8.6	42,1	42,3	--	24,8	36,1	20,5	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 9.6	41,6	42,3	--	18,6	21,9	16,1	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 10.6	42,4	42,4	--	22,3	39,3	15,8	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 11.6	42,5	42,4	--	25,2	42,4	14,7	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 12.6	42,5	42,4	--	29,9	44,4	19,5	--	--	--	--	--	--	--
So, 13.6	42,2	42,4	--	27,8	41,6	19,2	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 14.6	42,0	42,4	--	27,8	43,9	20,1	--	--	--	--	--	--	--
Po, 15.6	41,8	42,4	--	22,9	29,1	17,5	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 16.6	42,3	42,4	--	20,2	31,7	14,3	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 17.6	42,3	42,5	--	21,4	38,5	14,4	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 18.6	42,1	42,5	--	19,8	26,4	14,4	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 19.6	42,4	42,5	--	19,6	31,5	14,4	--	--	--	--	--	--	--
So, 20.6	42,2	42,5	--	18,1	33,0	12,9	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 21.6	42,2	42,5	--	19,2	33,4	12,2	--	--	--	--	--	--	--
Po, 22.6	41,9	42,5	--	18,8	27,5	13,7	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 23.6	42,2	42,5	--	18,3	33,0	10,9	--	--	--	--	--	--	--
Čer., 24.6	42,3	42,5	--	18,6	33,6	11,1	--	--	--	--	--	--	--
Ct, 25.6	42,3	42,5	--	20,5	30,7	13,4	--	--	--	--	--	--	--
Pa, 26.6	42,3	42,5	--	23,1	36,9	14,5	--	--	--	--	--	--	--
So, 27.6	42,3	42,5	--	23,8	29,8	19,8	--	--	--	--	--	--	--
Ne, 28.6	42,2	42,5	--	23,5	38,4	17,5	--	--	--	--	--	--	--
Po, 29.6	42,2	42,5	--	24,4	40,4	15,4	--	--	--	--	--	--	--
Wt., 30.6	42,3	42,5	--	27,6	44,3	17,2	--	--	--	--	--	--	--
	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
součet průměr	42,2	42,4	--	23,6	37,4	16,0	--	--	--	--	--	--	--
denní minimum dne	41,6	42,2	--	18,1	21,9	10,9	--	--	--	--	--	--	--
denní maximum dne	09/06/15	03/06/15	--	20/06/15	09/06/15	23/06/15	--	--	--	--	--	--	--
	42,5	42,5	--	29,9	47,5	20,9	--	--	--	--	--	--	--
	11/06/15	24/06/15	--	12/06/15	06/06/15	07/06/15	--	--	--	--	--	--	--

vytištěny z
user

Podpis

část 7 / 10

Obrázek 23 - Protokol hlavního řídicího systému strana 7

hladina - merení

	Hlavní fermentor denní průměr	Hlavní fermentor denní maximum	Hlavní fermentor denní minimum	Dofermentor denní průměr	Dofermentor denní maximum	Dofermentor denní minimum	Přijimova Jimka denní průměr	Přijimova Jimka denní maximum	Přijimova Jimka denní minimum	koncový sklad denní průměr	volná plocha	volná plocha	volná plocha
Datum	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	[-]	[-]	[-]
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Po, 1.6	5,57	5,63	5,53	5,47	5,54	5,39	1,79	2,51	0,65	4,59	---	---	---
Wt., 2.6	5,58	5,65	5,53	5,45	5,54	5,37	1,74	2,53	0,77	4,67	---	---	---
Čer., 3.6	5,59	5,69	5,53	5,43	5,57	5,31	1,72	2,55	0,65	4,78	---	---	---
Ct, 4.6	5,61	5,73	5,09	5,44	5,59	5,25	1,77	2,50	0,96	4,66	---	---	---
Pa, 5.6	5,59	5,67	5,53	5,46	5,56	5,36	1,80	2,50	0,94	4,41	---	---	---
So, 6.6	5,59	5,67	5,53	5,51	5,57	5,43	1,86	2,46	0,66	4,31	---	---	---
Ne, 7.6	5,60	5,70	5,54	5,48	5,58	5,38	1,68	2,47	0,64	4,45	---	---	---
Po, 8.6	5,61	5,69	5,52	5,47	5,57	5,35	1,76	2,50	0,90	4,34	---	---	---
Wt., 9.6	5,58	5,66	5,52	5,47	5,59	5,36	1,73	2,55	0,77	4,27	---	---	---
Čer., 10.6	5,54	5,61	5,49	5,44	5,55	5,30	1,77	2,45	0,90	4,23	---	---	---
Ct, 11.6	5,55	5,66	5,49	5,39	5,54	5,25	1,71	2,49	0,65	3,99	---	---	---
Pa, 12.6	5,51	5,58	5,46	5,40	5,54	5,23	1,70	2,49	0,82	3,76	---	---	---
So, 13.6	5,55	5,62	5,48	5,41	5,55	5,32	1,76	2,47	1,07	3,66	---	---	---
Ne, 14.6	5,56	5,63	5,48	5,45	5,52	5,36	1,78	2,42	0,66	3,70	---	---	---
Po, 15.6	5,55	5,61	5,50	5,43	5,53	5,31	1,73	2,55	0,82	3,85	---	---	---
Wt., 16.6	5,57	5,62	5,53	5,45	5,53	5,37	1,78	2,48	0,78	3,67	---	---	---
Čer., 17.6	5,56	5,63	5,51	5,46	5,53	5,38	1,70	2,49	0,88	3,56	---	---	---
Ct, 18.6	5,55	5,61	5,52	5,45	5,53	5,37	1,67	2,48	0,85	3,71	---	---	---
Pa, 19.6	5,54	5,60	5,50	5,44	5,57	5,34	1,65	2,48	0,71	3,78	---	---	---
So, 20.6	5,55	5,62	5,50	5,42	5,55	5,31	1,67	2,46	0,72	3,87	---	---	---
Ne, 21.6	5,56	5,62	5,51	5,45	5,52	5,36	1,63	2,48	0,81	3,93	---	---	---
Po, 22.6	5,56	5,63	5,51	5,45	5,53	5,34	1,72	2,51	0,84	4,01	---	---	---
Wt., 23.6	5,56	5,63	5,51	5,46	5,55	5,36	1,63	2,55	0,85	4,10	---	---	---
Čer., 24.6	5,55	5,61	5,52	5,45	5,52	5,37	1,66	2,44	0,95	4,18	---	---	---
Ct, 25.6	5,55	5,61	5,51	5,45	5,53	5,36	1,65	2,54	0,65	4,25	---	---	---
Pa, 26.6	5,55	5,60	5,51	5,45	5,52	5,37	1,73	2,45	0,95	4,16	---	---	---
So, 27.6	5,55	5,61	5,51	5,45	5,53	5,36	1,77	2,45	1,06	4,08	---	---	---
Ne, 28.6	5,54	5,61	5,50	5,44	5,55	5,33	1,85	2,47	1,04	4,16	---	---	---
Po, 29.6	5,55	5,61	5,50	5,45	5,53	5,37	1,86	2,51	0,76	4,23	---	---	---
Wt., 30.6	5,54	5,61	5,50	5,46	5,55	5,37	1,66	2,49	0,82	4,30	---	---	---
	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---
součet průměr	5,56	5,63	5,50	5,45	5,55	5,34	1,73	2,49	0,82	4,12	---	---	---
denní minimum dne	5,51	5,58	5,09	5,39	5,52	5,23	1,63	2,42	0,64	3,56	---	---	---
denní maximum dne	5,61	5,73	5,54	5,51	5,59	5,43	1,86	2,55	1,07	4,78	---	---	---
	04/06/15	04/06/15	07/06/15	06/06/15	04/06/15	06/06/15	06/06/15	03/06/15	13/06/15	03/06/15	---	---	---

vytištěný z
user

Podpis

část 8 / 10

MWM 2016
ZÁŘIŽENÍ číslo
ZÁŘIŽENÍ výrobce
ZÁŘIŽENÍ typ
ZÁŘIŽENÍ sériové číslo
KAPACITA Ltrs
DATUM ODEBRÁNÍ VZORKU
 číslo vzorku
 doba provozu komponentu Hrs
 doba provozu systému Hrs
 doba provozu oleje Hrs
 výrobce oleje
 typ oleje
 viskozitní třída oleje Ltrs
 doplnění oleje Hrs
 doba provozu filtru Hrs
 výměna oleje

plynový motor
 ZD Nechanice
 25-May-15
 17153669
 21144
 20977
 21144
 1328
 1161
 AVIA
 HA 40
 SAE 40

13-Jul-15
 19187275
 22304
 22304
 966
 AVIA
 HA 40
 SAE 40

20-Jul-15
 19187855
 22472
 22472
 1134
 AVIA
 HA 40
 SAE 40

29-Jun-15
 19187084
 21970
 21970
 632
 AVIA
 HA 40
 SAE 40

18-May-15
 17153587
 20977
 20977
 1161
 AVIA
 HA 40
 SAE 40

UJIN 030357B

Datum odebrání vzorku 20-Jul-15
Datum zadání vzorku 21-Jul-15
Datum vydání protokolu 24-Jul-15

DIAGNOSTIKA

V oleji opět detekována voda. Obsah medi se mírně zvýšil. Zvýšena oxidace a sulfátace. Postupně pomale zhoršování stavu. Ostatní parametry jsou zatím v pořádku. Dáti kontrolu doporučujeme ve zkráceném termínu. Doporučujeme prověřeni možného zdroje medi.

	13-Jul-15	20-Jul-15	29-Jun-15	25-May-15	18-May-15
Fyzikální testy					
obsah vody-FTIR	0.2	0.2	0.3	0.2	0.1
glykol-FTIR (%)	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1
nitrate(Abs/cm)	16.0	16.0	13.0	15.0	14.0
sulfatce(Abs/cm)	25.0	22.0	11.0	30.0	29.0
oxidace(Abs/cm)	22.0	21.0	14.0	22.0	20.0
k.viskozita pri 40°C(mm2/s)	160	157	148	163	161
k.viskozita pri 100°C(mm2/s)	15.3	15.0	14.5	15.4	15.2
celkove cislo kyselosti	2.69	3.59	3.47	3.77	3.69
celkove cislo alkality	5.1	5.3	6.0	4.9	4.9
kovy (ppm)					
nikl (Ni)	<1	<1	<1	<1	<1
olovo (Pb)	<1	<1	<1	<1	1
hlinik(Al)	<1	<1	1	1	1
chrom (Cr)	<1	<1	<1	<1	<1
med (Cu)	<1	<1	<1	<1	1
zelezo (Fe)	40	33	29	5	5
cin (Sn)	4	4	3	<1	<1
kontaminace/aditiva (ppm)					
zinek (Zn)	462	454	381	433	507
vapnik(Ca)	3950	3990	2920	3420	3422
drasilik (K)	<1	<1	<1	<1	1
horcik (Mg)	7	7	7	7	7
molybden (Mo)	<1	2	<1	3	3
sodik (Na)	1	1	1	1	1
kremik (Si)	3	2	2	3	3
fosfor (P)	400	362	290	342	415
sira (S)	5780	6080	5320	5510	--
bor (B)	<5	<5	<5	<5	<5

AL 6000712932
 pavlína.sandová
 Vladimír Nováček

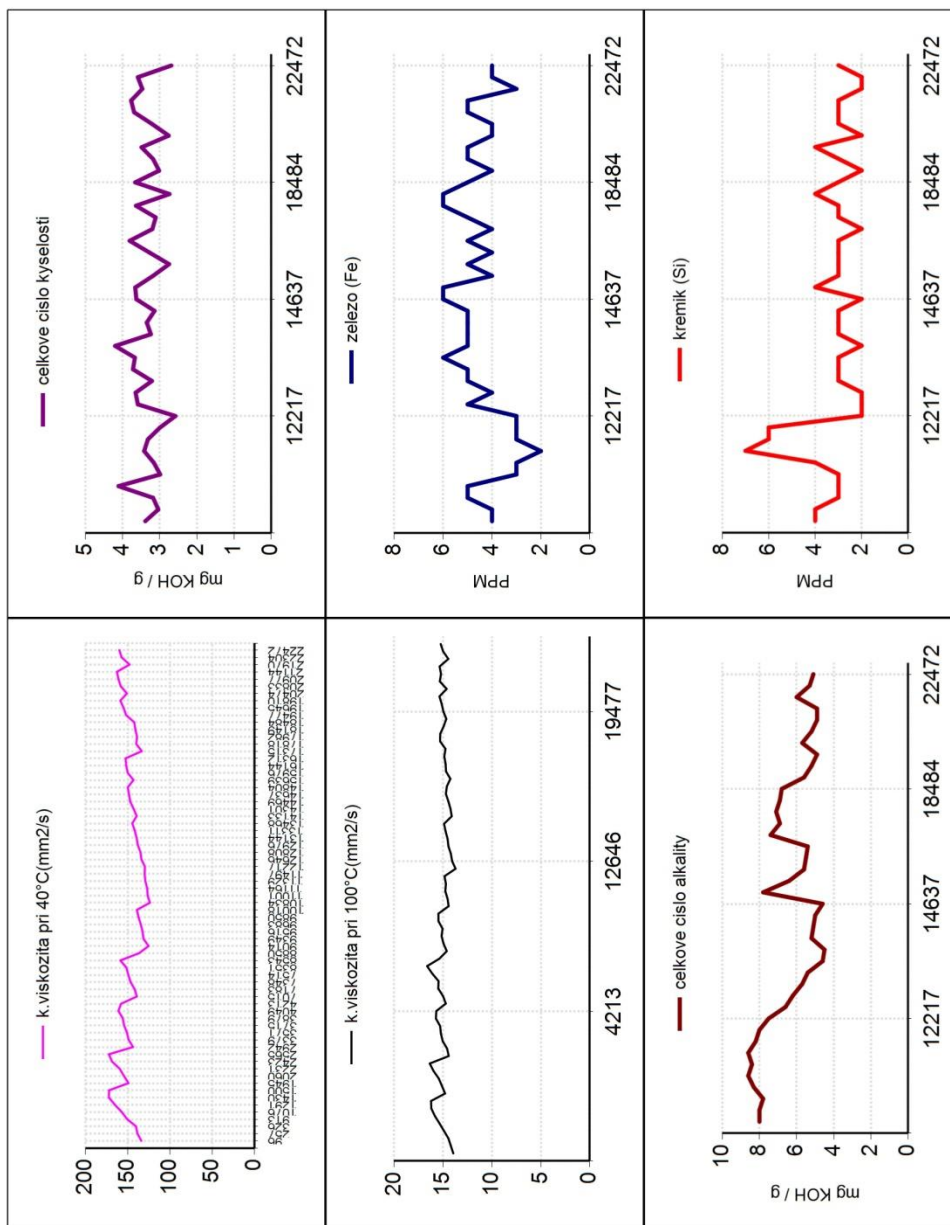
POZOR

LEGENDA

	ZÁVAŽNÝ
	ABNORMÁLNÍ
	POZOR
	NORMALNÍ

Obrázek 25 - Výsledek laboratorní zkoušky oleje

UIN 030357B



"Tato zpráva o analýze je závislá na přesném vyplnění formuláře s informacemi o vzorku a správné technice odběru vzorku podle návodu. Analýza je považována pouze za prostředek sledování mechanického opotřebení a neměla by být považována za náhradu servisních prohlídek. Společnost nepřijímá jakoukoliv zodpovědnost s ohledem na jakkoli způsobené ztráty či poruchy (včetně ztrát zisku, ekonomických nebo dalších následných ztrát či poruch), které mohou nastat jako přímý či nepřímý důsledek faktů uvedených v této zprávě o analýze."



LUBSTAR
Attn:
Areal Zlosyn u Prahy
Zlosyn 166
277 44

ALS Czech Republic, s.r.o.
Tribotechnika
Na Harfě 336/9
190 00 Praha 9
Tel.: +420-284081575
Fax: +420-284081771

vladimir.novacek@alglobal.com
www.alglobal.com

Zprávy o všech výsledcích naleznete na
<http://webcheck.als.com.au>

0071 v1.4

Obrázek 26 - výsledek laboratorní zkoušky oleje grafy opotřebení

Zákazník: **Farmtec a.s. Jistebnice**
 Tisová 326
 39133 Jistebnice

Zkušební laborato .1142, akreditovaná IA dle SN EN ISO/IEC 17025:2005

Protokol o zkoušce . 10962/2014

íslo vzorku: 14255
 Místo odb ru: Nechanice, BPS
 Up esn ní místa odb ru:
 Odb r provedl: zákazník, 16.09.2014,
 Zp sob odb ru:
 Doprava vzorku: Laborato
Klasifikace vzorku: digestát, KS

Datum p íjmu: 16.9.2014
 Datum dokon ení: 9.10.2014

pH		7,11		(SN 467012)	*
sušina (TS)	% ve vzorku	5,45		SOP 24 (SN EN 14346 , CEN/TS 14774-2,3)	
Draslík (K)	% ve vzorku	0,308		IM 30 AAS	*
Fosfor (P)	% ve vzorku	0,076	±19%	SOP 11 (Javorský, Kre mar: Chem. rozb. v zem.lab., 1987)	
spalitelné látky	% ve vzorku	4,22		IM 44 (SN 467092-9)	*
Arsen (As)	mg/kg suš.	<0,250		(polarograficky)	*
Chrom (Cr)	mg/kg suš.	2,110		(polarograficky)	*
Kadmium (Cd)	mg/kg suš.	<0,500		(polarograficky)	*
M (Cu)	mg/kg suš.	39,3		(polarograficky)	*
Níkl (Ni)	mg/kg suš.	9,5		(polarograficky)	*
Olovo (Pb)	mg/kg suš.	7,010		(polarograficky)	*
Rtu (Hg)	mg/kg suš.	<0,0400		SOP PZ 200.03 (TNV 757440)	+
Dusík celkový	% ve vzorku	0,36	±1,1%	SOP 6 (P.Javorský, F. Kre mar: Chemické rozbory v zem d lských	*
Molybden (Mo)	mg/kg suš.	1,69		(polarograficky) laborato ích, Praha 1987)	*
Zinek (Zn)	mg/kg suš.	317,5		(polarograficky)	*

* mimo rozsah akreditace dle SN EN ISO/IEC 17025:2005.

+ akreditovaná zkouška provedená v jiné akreditované laborato i.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkoušených p edm t . Bez písemného souhlasu laborato e m že být protokol reprodukován pouze celý. Uvedené nejistoty nezahrnují nejistotu vzorkování.

Výsledky zkoušek jsou uvád ny s nejistotou m ení vyjád enou jako rozší ená nejistota s koeficientem rozší ení k=2 (pro hladinu významnosti 95%). Uvád né nejistoty se netýkají hodnot menších než mez stanovitelnosti.

Obrázek 27 - Výsledek laboratorního měření digestátu

Zákazník: SCHAUHMANN R s.r.o.
Nám stí Svobody 35
387 01 Volyn , okres Strakonice

Analyzovaný materiál: bioplyn

Datum p íjmu: 27.5.2015

Datum analýz: 27.5.2015 - 3.6.2015

Datum odb ru: 27.5.2015

Odb r provedl: Labtech ing. Martin Žilka

Typ odb ru vzorku: Odb r plynu

íslo prot. o odb ru: B1277

SOP vzorkování: SAM 12: SN 015113, SN 385520

Seznam p íloh: protokol o odb ru . B1277

. vzorku **Ozna ení vzorku**
B4265 **BPS Nechanice**

Parametr	jednotka	.vzorku: B4265	NM	Identifikace zkušební metody	Akr
Metan	obj.%	48,9	10%	GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Kyslík	obj.%	1,33	10%	GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Vodík	obj.%	<0,155		GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Dusík	obj.%	5,55	5%	GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Oxid uhli itý	obj.%	42,4	5%	GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Oxid uhelnatý	obj.%	<0,002		GC 12: SN EN ISO 6976, SN EN 27941, SN EN ISO 6974-3,4 (2)	A
Spalné teplo (0°C)	MJ/m ³	19,617		SOP 75: SN EN ISO 6976 (2)	A
Spalné teplo (15°C)	MJ/m ³	18,552		SOP 75: SN EN ISO 6976 (2)	A
Výh evnost (0°C)	MJ/m ³	17,603	0,1%	SOP 75: SN EN ISO 6976 (2)	A
Výh evnost (15°C)	MJ/m ³	16,671		SOP 75: SN EN ISO 6976 (2)	A
Sulfan	mg/Nm ³	11,7	25%	SPE 37: SN 385574, SN 834712-4 (2)	A
Amoniak	mg/Nm ³	0,465		SPE 36: SN 834728-4, SN 385535 (2)	A
Obsah vody	g/m ³	15	10%	ECH 16: SN ISO 8573-3,návod firmy Greisinger (1)	A
Teplota	°C	22,3		ECH 16: SN ISO 8573-3,návod firmy Greisinger (1)	A
Relativní vlhkost	%	74,3		ECH 16: SN ISO 8573-3,návod firmy Greisinger (1)	A

Poznámka:

íslice u ozna ení zkušební metody ozna uje pracovišt , na kterém byl parametr stanoven: 1-Labtech Brno, Polní 23/340, 639 00 Brno;

2-Labtech Paskov, Rudé armády 637,739 21 Paskov; 4-Labtech Klatovy, Pod Nemocnicí 683,339 01 Klatovy

Nejistota m ení (NM) je definována jako rozší ená nejistota m ení na hladin významnosti 95% s koeficientem rozší ení k=2 a nezahrnuje nejistotu odb ru. Nejistota je vyjád ena v souladu s EA-4/16. K hodnotám výsledk pod spodní a nad horní mezí stanovitelnosti se nejistota nevztahuje.

Informace "Akr" rozlišuje akreditované (A) a neakreditované (N) standardní opera ní postupy (SOP). Zkoušky s uplatn ěným flexibilním rozsahem akreditace jsou ozna eny FRA. Akreditované zkoušky provedené v jiné laborato i jako subdodávky jsou ozna eny SA.

Výsledky zkoušek se týkají pouze zkušovaných p edm t uvedených výše.

Protokol nenahrazuje jiné dokumenty, nap . správního charakteru a státního odborného dozoru.

Tento protokol m že být reprodukován pouze celý, jinak jen s písemným souhlasem laborato e.

Obrázek 28 - Laboratorní zkouška Bioplynu



UNIVERZITA HRADEC KRÁLOVÉ

Fakulta informatiky a managementu

Rokitanského 62, 500 03 Hradec Králové, tel: 493 331 111, fax: 493 332 235

Zadání k závěrečné práci

Jméno a příjmení studenta:

Petr Flégl

Obor studia:

Aplikovaná informatika (2)

Jméno a příjmení vedoucího práce:

Jan Matyska

Název práce:

Monitoring fyzikálních veličin a predikce provozních stavů BPS

Název práce v AJ:

Monitoring of physical quantities and prediction of operational states in biogas plants

Podtitul práce:

Podtitul práce v AJ:

Cíl práce:

Osnova práce:

1. Úvod
2. Obecná problematika BPS
3. Rešerše dostupných řešení a přístupů
4. Možnosti využití fyzikálních veličin pro predikci
5. Představení aktuálního stavu monitoringu fyzikálních veličin
6. Návrh sledování fyzikálních veličin a jejich využití
7. Kritické zhodnocení případové studie
8. Závěr

Projednáno dne:

Podpis studenta

Podpis vedoucího práce

Obrázek 29 - Zadání k závěrečné práci