

Výběr vhodných senzorů a akčních členů pro možné řízení čerpání skládkového plynu

Selection of Suitable Sensors and Actuators for the Possible
Control of Landfilled Gas Collection.

Tomáš Harik

Bakalářská práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta aplikované informatiky

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš HARIK**
Osobní číslo: **A10028**
Studijní program: **B3902 Inženýrská informatika**
Studijní obor: **Informační a řídicí technologie**
Forma studia: **prezenční**

Téma práce: **Výběr vhodných senzorů a akčních členů pro možné řízení čerpání skládkového plynu**

Zásady pro vypracování:

1. Seznamte se s problematikou využití skládkového plynu.
2. Prostudujte současné řešení dopravy tohoto plynu.
3. Seznamte se s fyzikálními principy měření průtoku a složení plynu.
4. Vyberte principy použitelné pro skládkový plyn.
5. Na základě zjištěných principů vyberte akční členy a senzory.
6. Na základě zjištěného navrhnete automatizaci této přepravy.

Rozsah bakalářské práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. Bioplyn v praxi. 2004. ISBN 9788086167213.
2. HRUŠKA, František. Senzory v systémech informatiky a automatizace. NK Praha: Knihkupci a nakladatelé, 2011. ISBN 9788073186302.
3. Měření průtoku a výšky hladiny -- 3. díl edice Senzory neelektrických veličin. Svaz českých nakladatelů a knihkupců, 2006. ISBN 9788073001568.
4. ÚŘEDNÍČEK, Zdeněk. Elektromechanické akční členy. 2009. ISBN 9788073188351.
5. Využití skládkového plynu. STRAKA, František. [online]. [cit. 2013-02-06]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-skladkoveho-plynu>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Lubomír Macků, Ph.D.

Ústav elektroniky a měření

Datum zadání bakalářské práce:

24. února 2013

Termín odevzdání bakalářské práce:

14. června 2013

Ve Zlíně dne 24. února 2013



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

děkan



prof. Ing. Vladimír Vašek, CSc.

ředitel ústavu

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá výběrem vhodných senzorů a akčních členů pro možné řízení čerpání skládkového plynu a jeho přepravou k dalšímu zpracování. Byly provedeny dva návrhy přepravy automatizace, kde každý návrh obsahuje slovní komentář, výhody a nevýhody návrhu, použitá zařízení, jejich parametry a ekonomickou rozvahu.

Klíčová slova: LFG, potrubí, HDPE, biologicky rozložitelný komunální odpad

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the selection of suitable sensors and actuators to possible control drawing of landfill gas and transporting it for further processing. Two projects of the transportation automation were made where each project contains a verbal comment, advantages and disadvantages of the project, used equipment, their characteristics and economic balance.

Keywords: LFG, pipeline, HDPE, biodegradable municipal waste

Poděkování, motto

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Lubomírovi Macků, Ph.D. za ochotu, cenné rady a připomínky, které vedli ke zdárnému konci vypracování této práce. Velké díky však patří i rodině, která mě podporovala při mém studiu a poskytla mi zázemí a možnost studovat.

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- Že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně

.....
podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 SKLÁDKOVÝ PLYN A JEHO VYUŽITÍ	11
1.1 OBECNÉ PRINCIPY VEDOUcí KE VZNIKU LFG	11
1.2 RYCHLOST TVORBY LFG	13
1.3 VYUŽITÍ LFG	15
2 DOPRAVA PLYNU DO MÍSTA ZPRACOVÁNÍ	17
2.1 ODPLYŇOVACÍ SYSTÉMY	17
2.1.1 Aktivní.....	17
2.1.2 Pasivní.....	18
2.1.3 Konstrukce odplyňovacích systémů.....	18
2.1.4 Součásti odplyňovacích systémů.....	20
3 AUTOMATIZACE SOUVISEJÍCÍ S ČERPÁNÍM PLYNU	27
3.1 MĚŘENÍ NEZBYTNĚ NUTNÁ PRO DOPRAVU PLYNU	27
3.1.1 Měření průtoku plynu.....	27
3.1.2 Měření emisí LFG	29
3.2 MĚŘENÍ SLOŽENÍ PLYNU	31
3.2.1 Složení LFG	31
3.2.2 Zařízení pro měření LFG	32
3.3 MĚŘENÍ TLAKU	35
4 NEZBYTNÉ VZTAHY SOUVISEJÍCÍ S PŘEPRAVOU PLYNU	37
4.1 BERNOULLIHO ROVNICE	37
4.2 LAMINÁRNÍ PROUDĚNÍ	37
4.3 TURBULENTNÍ PROUDĚNÍ	38
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
5 NÁVRH ČERPÁNÍ PLYNU	41
6 SITUAČNÍ PLÁN SKLÁDKY	42
6.1 STRUKTURA POTRUBÍ (ROZMĚRY) A POŽADAVKY	42
6.2 DĚLKA POTRUBÍ NA JEDNOTLIVÉ AKČNÍ ČLENY	44
6.3 TLAKOVÉ POMĚRY V POTRUBÍ.....	44
7 NÁVRH AUTOMATIZACE ČERPÁNÍ	45
7.1 NÁVRH AUTOMATIZACE č. 1	45
7.2 NÁVRH AUTOMATIZACE č. 2	49
ZÁVĚR	53
ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ	54
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	55
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	59
SEZNAM OBRÁZKŮ	61
SEZNAM TABULEK	62

SEZNAM PŘÍLOH.....63

ÚVOD

V dnešní době je potřeba si uvědomit, že neobnovitelné zdroje energie pomalu ale jistě dochází. Občas se doslechneme o objevení nového ložiska např. zemního plynu, ropy... jenže naše planeta svá skrytá tajemství nebude vydávat do nekonečna. Je pravda, že v nejbližší době naše primární zdroje nedojdou a proto nemusí vznikat žádná panika. Proč se ale nepřipravit na to, co nás čeká a v budoucnu nemine. Jednoho dne přijde den, kdy člověk bude muset naplno využít právě obnovitelné zdroje energie.

Jednou z mnoha variant těchto zdrojů může být právě bioplyn. Existuje více cest jak bioplynu docílit. V této bakalářské práci bude přiblížena jen jedna varianta.

Lidé od pradávna vždy produkovali odpad, ať už v počátcích naší historie vždy jej budou produkovat. Odpad je zbytek něčeho, co jen tak nevyužijeme a proto se toho zbavujeme. Dnes a denně vozíme odpad na skládky, kde se hromadí. Lidé však vymysleli způsoby jak i tento odpad využít – přeměnit jej na kýžený zdroj alternativní energie. Za určitých podmínek se na skládkách nějakým způsobem odpad zjednodušeně řečeno rozkládá, což přináší charakteristický zápach. Na tom by nebylo až tak nic zvláštního, kdybychom nevyužili toho, co známe a směs plynů, která tímto vzniká, nezpracovali. Kdo by si dřív pomyslel, že z odpadu může vzniknout plyn, kterým si zatopíme spalováním v plynovém kotli, nebo jej využijeme k vytvoření elektrické energie?

Bioplyn a vše kolem něj je poněkud komplexnější téma, a není možné se jím podrobně zabývat v rámci této práce, která se zabývá pouze přepravou plynu k dalšímu zpracování.

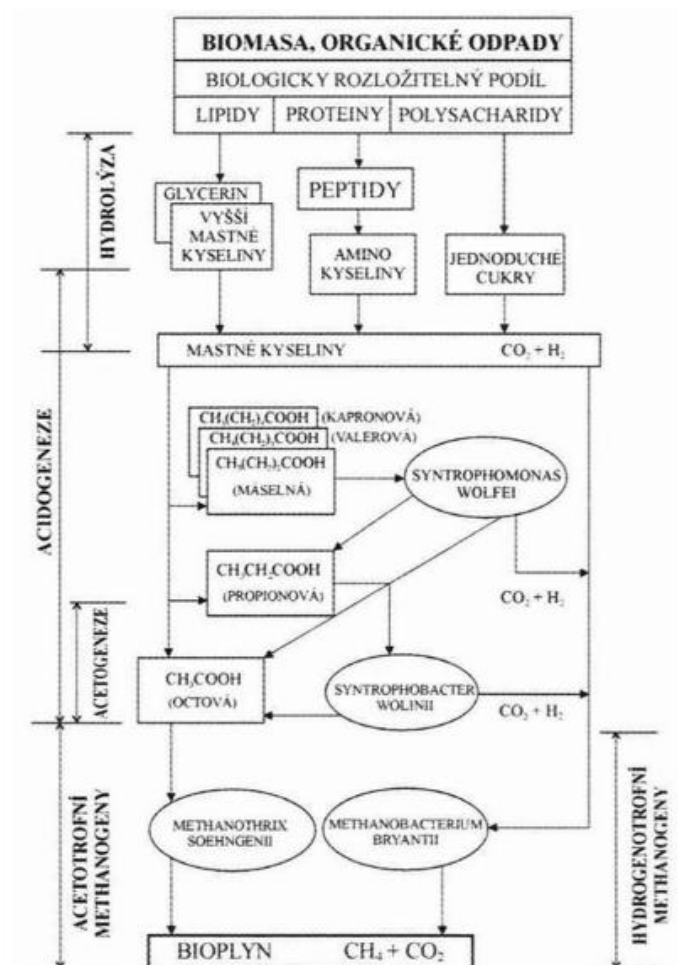
I. TEORETICKÁ ČÁST

1 SKLÁDKOVÝ PLYN A JEHO VYUŽITÍ

Skládkový bioplyn (LFG = Landfill Gas) je v současnosti již hojně využívaným energetickým zdrojem. V 90. letech minulého století existovaly u nás pouze tři postupy nakládání se skládkovým plynem, a to využití v plynových motorech, spalování na flérách a biooxidace na filtrech. Nelze samozřejmě opomenout ani využití LFG k topení, i když tato varianta není významně rozšířená. [3]

1.1 Obecné principy vedoucí ke vzniku LFG

Methanová fermentace musí být chápána vždy jako soubor na sebe navazujících procesů, v nichž vlastní methanogeny představují pouze poslední článek v řetězci biochemické konverze (viz obr. 1).



Obr. 1 – Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů. [1]

I. Fáze – HYDROLÝZA

Rozklady organické hmoty nejsou uskutečňovány vlastními methanogeny a začínají často ještě v přítomnosti kyslíku. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti nad 50% hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě striktně nevyžadují bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy atd.) na jednodušší organické látky (monomery).

II. Fáze – ACIDOGENEZE

Též zvaná „kyselá fáze“ zde ještě zpracováváný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů se aktivují v obou prostředích. Vznik CO_2 , H_2 a CH_3COOH umožňuje dále metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (jednoduché cukry, nižší alifatické kyseliny a alkoholy).

III. Fáze – ACETOGENEZE

Je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou (CH_3COOH), vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

IV. Fáze – METANOGENEZE

Metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou (CH_3COOH) na metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2), hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku (H_2) a oxidu uhličitého. Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné.

Proces anaerobní fermentace postupuje přes několik stadií, která ve většině technických zařízení probíhají simultánně. Při dosažení stadia tzv. stabilizované methanogeneze jde vlastně o dlouhodobě udržovanou rovnováhu mezi navazujícími procesy, hlavně pak mezi procesy acidogenními a methanogenními.

Charakteristickým rysem probíhající methanogeneze je přibližně neutrální pH. V kulturách, kde jsou aktivní pouze acidogeny, může být pH relativně velmi nízké, v

rozmezí 4-5,8, rozvoj methanogenů pak přináší vzestup pH do oblastí 6,0-7,0 i výše, přičemž některé druhy methanogenů mohou být aktivní i v biologicky silně alkalických prostředích s pH 8-9.

Naprostá většina reaktorových procesů se dnes uskutečňuje v pásmu středních teplot (s mesofilními kulturami) v rozmezí zhruba 25-39 °C. Co do produkce plynu jsou nejvýkonější organismy termofilní, běžně se množící za teplot 40-55 °C, avšak snášející i významně vyšší teploty.

Závěrem je nutno jen pro úplnost dodat že, pro stabilitu procesu anaerobní fermentace organických materiálů je velmi důležitá optimální rovnováha jednotlivých fází, probíhajících s odlišnou kinetickou rychlostí. Metanogenní fáze probíhá přibližně pětikrát pomaleji než zbylé tři fáze. Tomu je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, jinak hrozí přetížení fermentoru se všemi nepříznivými důsledky. Dále je potřeba říct, že zdaleka ne vždy musí celý rozkladný proces probíhat v řetězci tvořeném bakteriemi a jim podobnými organismy. Velmi často se hydrolytických rozkladných procesů zúčastňují vyšší a mnohem složitější organismy. [1][2]

1.2 Rychlost tvorby LFG

Využívání LFG je dnes aplikováno téměř na všech skládkách odpadů, jejichž kapacita poskytuje záruky elektrických výkonů nad 100 kW_{el}. Kapacitou je nutno rozumět hlavně měrnou rychlost tvorby methanu, resp. bioplynu. Tato hodnota se ale určuje velmi obtížně, zvláště u malých skládek. Prvotní odhady využitelnosti se samozřejmě dají provést z objemové kapacity skládky, je však třeba posuzovat i skladbu ukládaných odpadů.

Je zcela obecným trendem, že v ukládaných komunálních odpadech (KO) trvale klesá podíl biologicky rozložitelných odpadů (BRKO), a to hlavně na úkor rostoucích podílů biologicky nerozložitelných (plasty, syntetické textilie). Lokálně je též skladba odpadů ovlivněna podílem popelovin z oblastí bez centrálních či plynových otopů. Rovněž odpady ze služeb a malých výroben někde zvyšují podíl nerozložitelných odpadů.

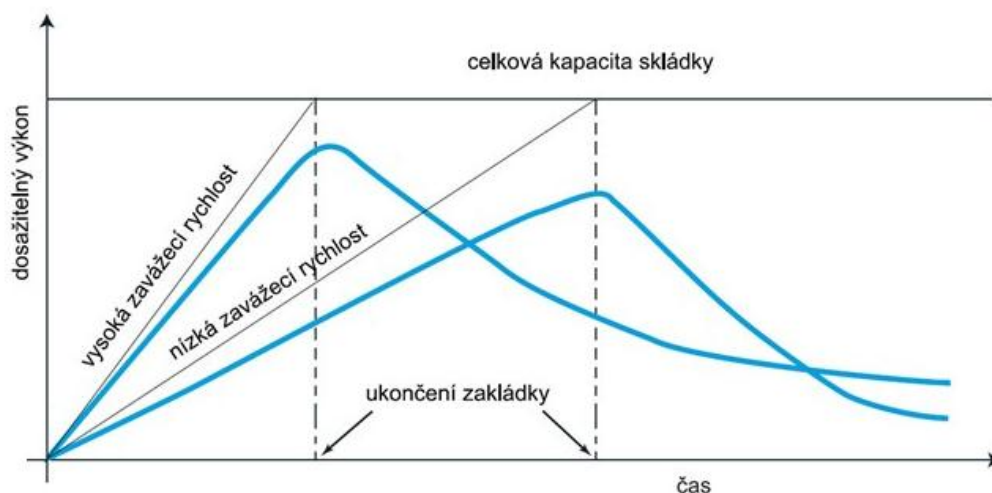
Měrná rychlost tvorby bioplynu klesla od 80. let minulého století někde až o celý řád (viz tab. 1). K tomu je nutno poznamenat, že uvedené dostupné elektrické

výkony se týkají špičkových výkonů vztahujících se k čerstvému úplnému zaplnění skládky, a to za předpokladu, že těleso nebylo zaplňováno příliš dlouho.

Tab. 1 – Měrná rychlost tvorby LFG a dostupný elektrický výkon odpadů. [3]

	Měrná rychlost tvorby bioplynu ($\text{m}^3/\text{m}^3\text{h}$)	Přibližný dostupný elektrický výkon z 1000 m^3 uložených odpadů ($\text{kW}_{\text{el}}/1000\text{m}^3$)
Starší skládky	0,00100	9
	0,00050	4,5
Současnost	0,00025	2,2
	0,00010	0,9

Nízké zavážeční rychlosti znamenají to, že značná část BRKO odpadů se stačí během doplňování skládky rozložit. Pokles reálné kapacity tělesa je prakticky všude dán exponenciální křivkou (obr. 2). [3]



Obr. 2 – Pokles reálné kapacity [3]

Pokles výkonu skládky je prakticky vždy dán vztahem pro reakční kinetiku 1. řádu, což znamená, že okamžitá rychlost tvorby plynu je přímo úměrná zbývajícimu podílu biologicky rozložitelných frakcí. Při výpočtu tvorby plynu je důležitý poločas rozkladu různých frakcí BRKO (čas, za nějž se rozloží 50 % organické hmoty), který je u snadno rozložitelného odpadu (např. kuchyňské odpady) asi jeden rok, u středně rozložitelného odpadu (např. papír, přírodní textilie) asi pět roků a u obtížně rozložitelného odpadu (např. dřevo, impregnované lepenky) asi 15 let.

Správné hodnocení okamžitého výkonu (modelování rychlosti vývoje plynu) musí zohledňovat ve výpočtu i rozklady probíhající již během ukládání.

Problém odhadu reálné kapacity tvorby plynu je však v praxi ještě složitější. Rozklad odpadů může probíhat pouze za přítomnosti dostatečné vlhkosti substrátu. U malých a středních skládek většinou srážkové úhrny postačují k úplné saturaci navážených odpadů, poměrně častým problémem se někdy stávají přebytky výluhových vod. Opačná situace může nastat u větších skládek s vysokými návozoými rychlostmi (přibližně jde o skládky nad 1 mil. m³), kde se tvorba plynů zpožďuje vlivem nedostatečného zvlhčení odpadů. Čerpací rychlosti LFG mohou rovněž ovlivnit dostupné energetické výtěžky. Zatímco u velkých a dobře hutněných skládek nemá nadlimitní čerpání plynu rychlé a fatální důsledky (nadlimitním čerpáním se rozumí odsávání většího množství plynu, než aktuálně vzniká), může u malých a málo hutněných skládek příliš intenzivní čerpání plynu velmi výrazně přibrzdit tvorbu plynu aerobizací vnitřních vrstev tělesa. Obvykle se to projeví výrazným poklesem obsahu methanu v LFG, často i pod 35 % objemovými.

Složení skládkového plynu se mění v závislosti na stáří skládky a rychlosti jeho čerpání. Optimální podmínky pro jeho tvorbu jsou: pH 6,5 – 8, vlhkost větší než 20 – 30 %, teplota 25 – 40 °C. Z energetického hlediska lze odpady produkující plyn využitelného složení považovat za netradiční obnovitelné zdroje energie. Celková možná produkce skládkového plynu se odhaduje na 100 – 300 m³ z 1 tuny tuhého komunálního odpadu. Z tohoto množství lze zachytit a využít 20 – 70%. Nejvyšší produkce je 5 až 13 let po uložení odpadu, ale plyn se vyvíjí 20 – 30 let. [3][8]

1.3 Využití LFG

Tradiční a základní způsoby využití bioplynu jsou: [4]

- spalování v plynových kotlích pro vytápění
- pohon plynového pístového motoru generátorů elektrického proudu včetně motorů kogeneračních zajišťujících i využití odpadního tepla

Další poměrně běžné způsoby využití bioplynu jsou:

- plynové turbíny a tzv. mikroturbíny
- plynové motory pohánějící kompresory chladicích systémů
- plynové kotle ohřívající médium absorpčních chladicích systémů
- imerzní plynové hořáky (pro odpařování, resp. zahušťování, například odpadních vod)
- čištění na kvalitu SNG (náhradního zemního plynu) a vtláčení do sítě
- komprese, případné další čištění a využití například pro pohon vozidel
- výroba elektřiny na palivových člancích

Z hlediska běžného provozu však existují i poměrně nové možnosti pro využití bioplynu:

- výroba biovodíku (a s tím související využití CO₂ pro výživu řas)
- termofotovoltaika (resp. magnetohydrodynamické generátory)
- Rankinovy cykly

2 DOPRAVA PLYNU DO MÍSTA ZPRACOVÁNÍ

Doprava LFG úzce souvisí s dopravou zemního plynu. Dálková doprava je díky vzdálenostem, na které se dnes zemní plyn přepravuje, nejnáročnějším článkem řetězce cesty zemního plynu od ložiska k zákazníkovi. Upravený zemní plyn je možné přepravovat potrubím nebo ve zkapalněném stavu tankery. [9]

Dopravu tankery můžeme v případě bioplynu vyloučit, neboť cílem je doprava na kratší vzdálenosti na skládkách k dalšímu zpracování. Nejlépe dopravu plynu vystihuje Straka ve své knize Bioplyn II. rozšířené a doplněné vydání [1], kde je o dopravě pojednáno v části knihy zabývající se odplyňováním.

2.1 Odplyňovací systémy

Pod pojmem „odplyňovací systém“ rozumíme hlavně stavebně-technická a technologická zařízení umístěná v i na tělese skládky. K těmto zařízením pak ještě přísluší čerpací systémy a zařízení pro využívání anebo zneškodňování bioplynu. Podle způsobu odvodu plynu z tělesa skládky dělíme odplyňovací systémy na aktivní a pasivní. [1]

2.1.1 Aktivní

Aktivní odplyňovací systémy odsávají plyn ze skládkových těles pomocí různých typů plynových dmychadel.

Aktivní čerpací systémy jsou řešeny buď se spodním anebo s horním odvodem plynů. Základem sběrné sítě plynů ve skládkách jsou vrty anebo průběžně budované věže. Tyto vertikální části systému jsou vytvářeny jako 0,8-1,0 m široké výplně z hrubého šterku s centrální perforovanou sběrnou pažnicí, která propojuje obyčejně celou hloubku vertikálního vrtu (věže). Sběrné věže jsou propojeny buď s individuálními uzávěry a odvody anebo jsou propojené do smyček či sítí. Používají se i horizontální anebo šikmé odplyňovací drenáže.

Plynové drenáže uvnitř tělesa skládky jsou vždy vybaveny propojovacími svody z perforovaných potrubí, anebo jsou zde instalovány odváděcí jímky na vyloučenou vodu, neboť je zde velké riziko zaplavení kondenzátem a ohrožení funkčnosti odplyňovacího systému. Aktivní systémy jsou vždy napojeny na čerpací stanici bioplynu, která zajišťuje nucený tok plynu ze skládky do uživatelského anebo zneškodňujícího zařízení. [1]

2.1.2 Pasivní

Pasivní odplyňovací systémy vypuzují plyn řízeným směrem ven ze skládky pouze jeho vlastním přetlakem. Původně byly tyto systémy navrhovány jen jako otevřené věže. Toto je však neshodná metoda, neboť nezneškodněný plyn odchází do atmosféry a skládka se při změnách barometrického tlaku aerobizuje. Částečným řešením jsou odplyňovací věže se zpětnými membránami či klapkami, které umožňují pouze tok plynu ven ze skládky a brání vnikání vzduchu. [1]

2.1.3 Konstrukce odplyňovacích systémů

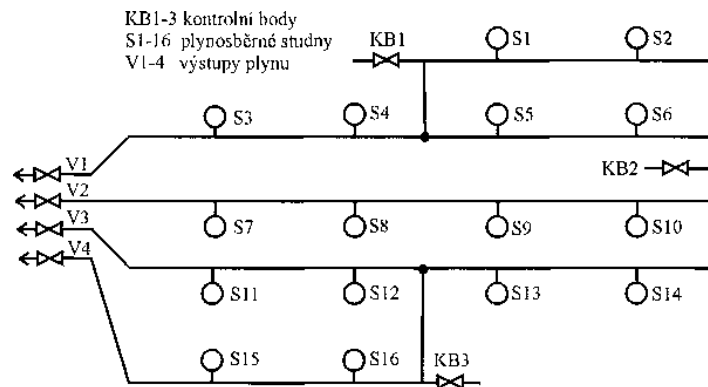
Odplyňovací systémy na tělesech skládek jsou vytvářeny v mnoha aplikačních variantách a většinou nemusí být vůbec rozhodující, zda půjde o systém aktivní či pasivní. U skládek starých z pochopitelných důvodů nelze nalézt spodní (bázové) odtahy plynu, jinak se však vyskytují všechny možné kombinace. Starší systémy byly vytvářeny hlavně podle vzorů a zkušeností ze skládek v USA jako soustavy vertikálních vrtů se skupinovým anebo individuálním horním propojením plynosběrnými potrubími. Individuální propojení plynosběrných vrtů je vhodné pro seřizování výkonů a kvality plynu, je však ekonomicky výhodné pouze u krátkých přívodů do sběrače plynu.

U nově budovaných skládek (i u nás) byl na mnoha místech aplikován individuální odvod plynu z plynosběrných věží z báze skládky. Tento systém však velmi často selhává, neboť úzká potrubí se zaplavují vodou a zanášejí kalem a stávají se pro plyn nepropustná.

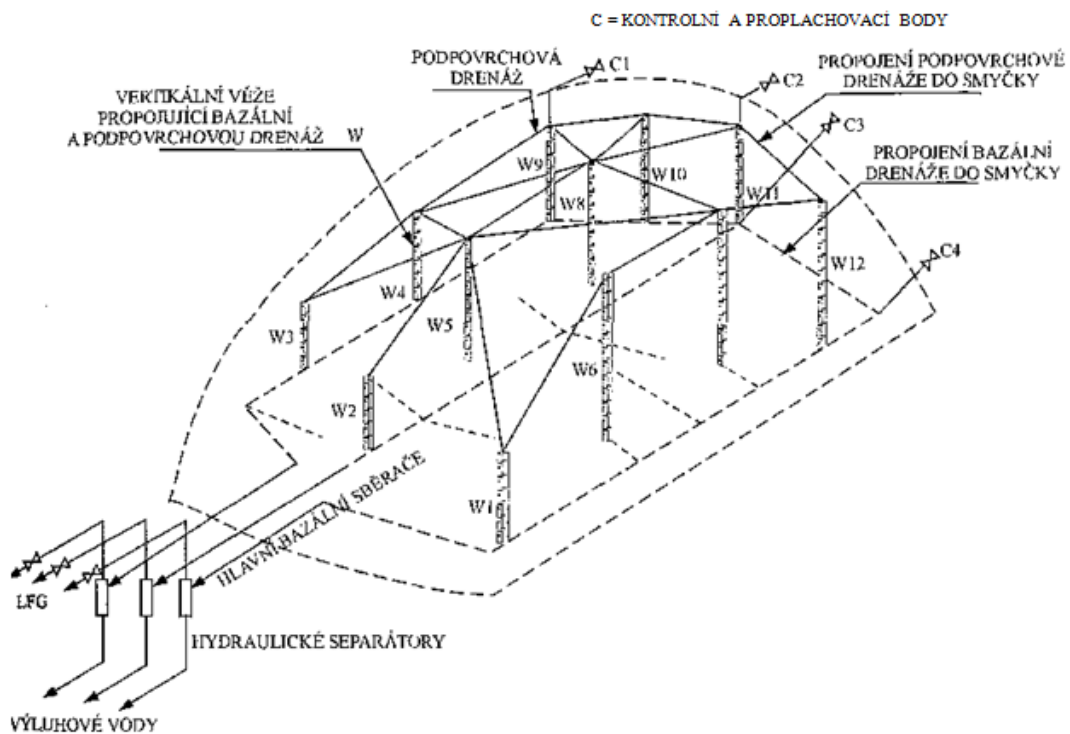
Mělce uložená a nadpovrchová potrubí jsou v zimě značně ohrožena zamrznáním kondenzátu. Povrchové zamrznání svodů se nemusí odehrávat jen jako přimrzání kondenzátu na dně potrubí. Potrubí je často vyplňováno po celém obvodu namrzající krustou z plynu vykondenzovaných par.

Problémy vznikající u právě popsaných systémů byly úspěšně řešeny bázovými svody ve společných širokoprofilových potrubích. Tyto na bázi uložené drenáže slouží pro společný odvod výluhových vod i plynu. Ve sběrných potrubích se vodní výluhy sbírají pouze jako tenké praménky na dně potrubí a prakticky celý světlý průřez je použitelný pro odvod plynu. Do tohoto sběrného systému jsou svedeny jak vertikální plynosběrné věže, tak i pobočná pera bázových vodních drenáží.

Plynosběrné věže však mohou být propojeny z obou směrů, tedy jak na bázi skládky, tak i na povrchu. Schéma takto uspořádaného odplyňovacího systému můžeme vidět na obrázku 3 a 4. [1]



Obr. 3 – Schéma odplyňovacího systému se smyčkovým propojením. [1]



Obr. 4 – Schéma odplyňovacího systému. [1]

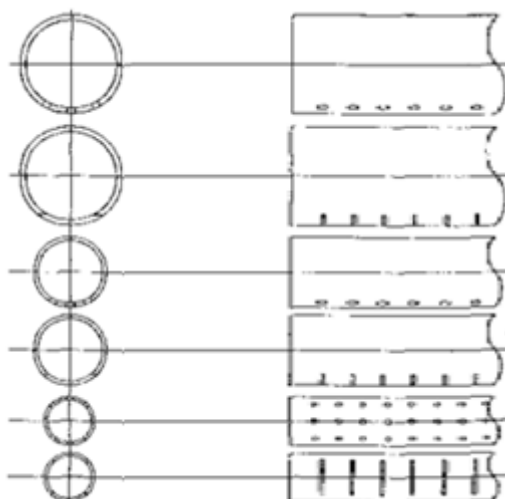
Pokud kombinujeme vertikální (např. vrtnou) plynovou drenáž a podpovrchovou horizontální sběrnou síť je výhodné propojovat horizontální drenáže přímo na hlavách vrtů, čímž vznikne možnost mnohosměrných odvodů plynu a takovýto systém je velmi odolný vůči lokálnímu narušení potrubí. Takovýto odplyňovací systém může být užit jak pro aktivní tak i pro pasivní systémy. Regulace odběrů se vytváří pouze na přípojných větvích, protože veškerá ostatní zařízení systému jsou uložena pod povrchem. Celý povrch skládky je tak vrácen rekultivaci. Nad povrch skládky jsou kromě výstupů plynu vyváděny pouze omezené počty tzv. kontrolních bodů, kde je možné změřit vnitřní tlak plynu a jeho složení. [1]

2.1.4 Součásti odplyňovacích systémů

Potrubí

Propojovací potrubí, drenážní potrubí i sběrné potrubní pažnice se dnes pro skládky zhotovují téměř výlučně z polyolefinů, v naprosté většině z tzv. vysokohustotního polyethylenu (HDPE). Plynosběrná potrubí se svařují anebo uvnitř drenáží se spojují převlečnými kusy. Většinou se potrubí dodávají jako plné trubky. V západoevropských zemích jsou celkem běžné i dodávky trubek perforovaných. U nás si dodavatelé staveb většinou plná potrubí sami perforují na požadovanou porozitu, neboť cena komerčních perforovaných trub je velmi vysoká.

Pro plynové drenáže se používají nejrůznější typy perforací, ale jsou orientovány jinak než u vodních drenáží. U plynosběrných potrubí totiž většinou požadujeme, aby potrubní trasa vodu nevedla, ale naopak aby z ní voda co nejrychleji odtékla. Proto jsou perforovány vždy spodní segmenty trubky. Takováto potrubí se ovšem musí ukládat do šterkové drenáže, která vyteklou vodu spolehlivě odvede od plynového potrubí pryč (obr. 5). [1]



Obr. 5 – Perforovaná plynosběrná potrubí. [1]

Parametry nejčastěji používaných plných trubek HDPE shrnuje Tab 2.

Tab. 2 – Parametry nejčastěji používaných HDPE potrubí. [1]

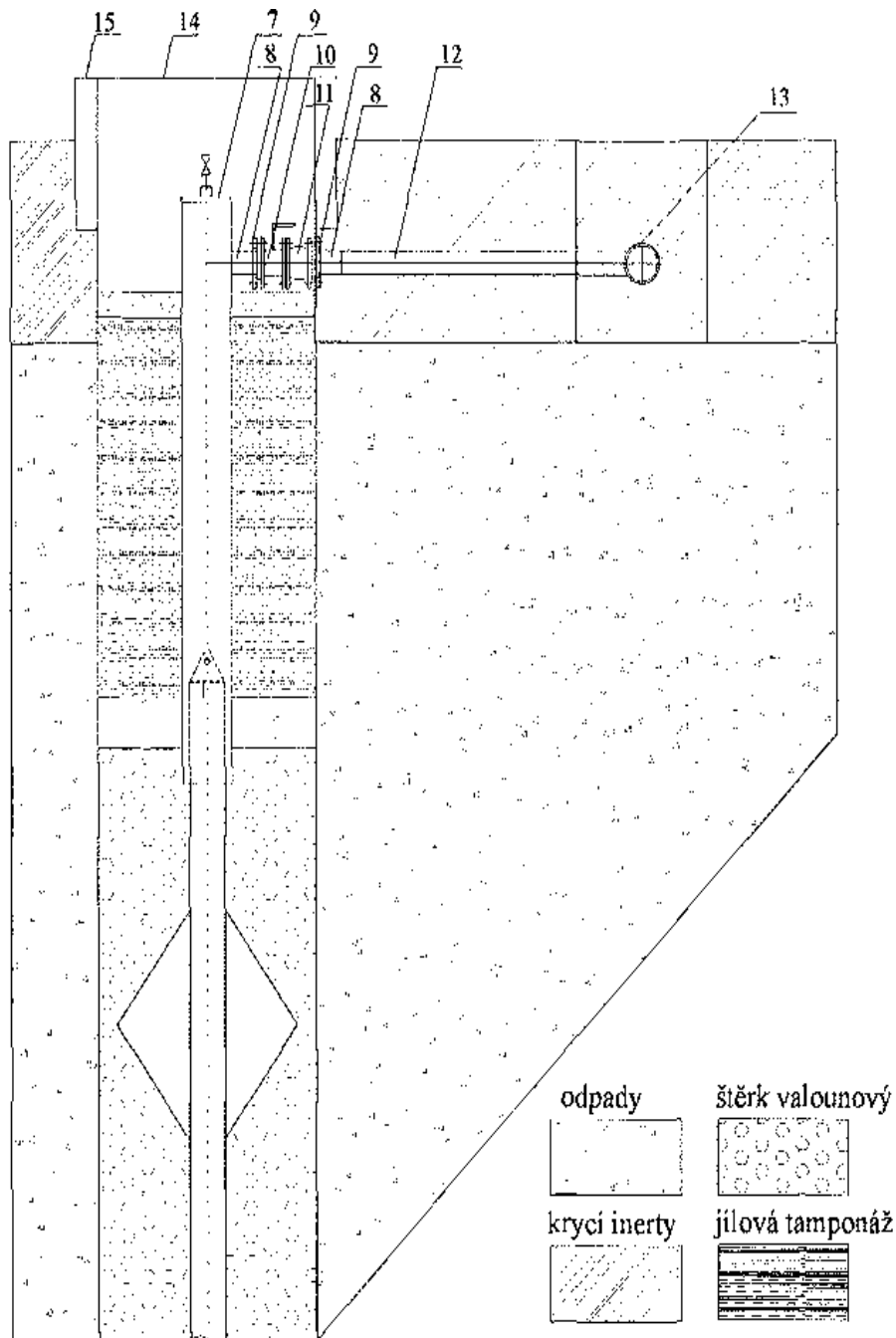
označení typu potrubí	vnější průměr [mm]	vnitřní průměr [mm]	Síla stěny [mm]	měrná hmotnost	dodávané délky
PE 80 SDR 17,6	110	97,4	16,3	2,07	tyče 12 m
	160	141,8	9,1	4,33	tyče 12 m
	225	199,4	12,8	8,51	tyče 12 m
	315	279,2	17,9	16,6	tyče 12 m
PE 80 SDR 11	110	90	10	3,13	tyče 12 m, návinu 100 m
	160	130,8	14,6	6,63	tyče 12 m
	225	184,0	20,5	13,1	tyče 12 m
	315	257,6	28,7	25,6	tyče 12 m
PE 100 SDR 17,6	110	97,4	6,3	2,1	tyče 12 m, návinu 100 m
	160	141,8	9,1	4,39	tyče 12 m
	225	199,4	12,8	8,63	tyče 12 m
	315	279,2	17,9	16,9	tyče 12 m

Plynosběrné vrty anebo věže

Základní struktura plynosběrného vertikálního prvku je již dlouho ustálená a je tvořena vrtanou anebo budovanou válcovou studnou (věží) v obvodově nepaženém provedení, vyplněnou hrubozrnným ostře tříděným štěrskem (optimálně 32/64 mm). Věž je v ose vybavena centrální sběrnou pažnicí pro odvod plynu. Tato

výstroj je většinou vyráběna z perforovaných trubek HDPE. Průměr vrtu (věže) se obvykle volí od 800 do 1000 mm, centrální perforované sběrné pažnice jsou z trub o průměrech 160-315 mm. Do vrtaných studní se spouští postupně montovaná sestava o celé hloubce vrtu.

Věže se zhotovují povytahováním vnějších (pracovních) pažnic a postupným nastavováním pažnic plynosběrných a postupným dosypáním štěrku. Nový design pažnicového systému doplňuje do vnitřní struktury teleskopické díly, které pomáhají udržet věž v „zasunuté“ poloze i poté, co skládka s roky stáří počíná sesedat. Schématické znázornění výstroje plynosběrného vrtu s teleskopickými díly na centrální pažnici ukazuje obr. 6. [1]

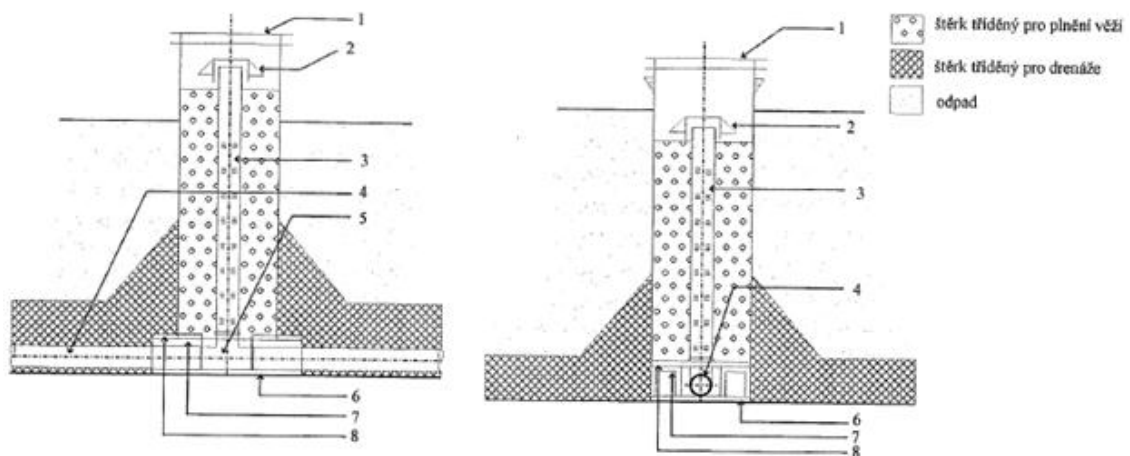


Obr. 6 – Plynosběrný vrt s horním napojením s teleskopickou hlavou. [1]

Legenda: 7 – víko kusu s nátrubkem a zálepkou, 8 – lemový nátrubek dlouhý PE, 9 – točivá příruba, 10 – uzavírací klapka, 11 – pryžový kompenzátor, 12 – připojovací roura, 13 – připojovací tvarovka plynovodu, 14 – kryt vrtu (plastový) odnímatelný, 15 – skruž.

Při průběžné výstavbě plynosběrných věží je nejdůležitějším principem udržovat systém maximálně a trvale plynotěsný. Plynosběrná věž je vytvořena jako válcová výplň štěrku okolo centrální sběrné pažnice z perforovaného HDPE potrubí pro odvod plynu. Konstrukce věže se vytváří povytahováním vnější ocelové pažnice o průměru 1000 mm s plynotěsným víkem. Toto víko však těsní pouze tlaky v řádu nejvýše stovek Pa a může být zhotoveno i jako lehké, např. plastové. Podmínkou je však dobrá těsnost po celé ploše. Toto je nutnou podmínkou proto, aby systémy s bázovým nebo mezilehlým svodem plynu mohly úspěšně fungovat i během zaplňování skládky.

Stavba věže v nové skládce se zakládá na bázovou izolaci nad sběrným potrubím s odbočkami T-kusy anebo kolenem. Ocelová pracovní pažnice je postavena na podložních prefabrikátech tak, aby nenamáhala svou hmotností drenážní potrubí. Prvá fixace se provede obsypem drenážním štěrkem a veškerou další fixaci pak zajistí zasypání pracovní pažnice odpadem (obr. 7). [1]



Obr. 7 – Založení plynosběrné věže. [1]

Legenda: 1 - ocelová pracovní pažnice s víkem a závěsnými oky, 2 - byt sběrné pažnice, 3 - HDPE 225 perforovaná - vnitřní sběrná pažnice věže, 4 - HDPE 225 perforovaná 2/3 ~ bazální sběrač pro vodu o plyn, 5 - HDPE 225 — T kus, 6 - betonové desky podkladové, 7 — U-prefabrikáty, 8 - betonové desky překladové

Dmyhadla plynu

Pro dopravu skládkových plynů byly zkoušeny snad všechny typy plynových čerpadel. Poměrně časté je užití středotlakých dmychadel Rootsova typu ve dvou i tříprstém provedení a dále dmychadel deskových anebo komůrkových.

Přestože pro dopravu skládkových plynů byla již ověřena celá řada typů dmychadel či kompresorů jeví se ze všech možností jako bezpečně nejvýhodnější odstředivá, vícestupňová dmyhadla, která slouží téměř bez údržby i více než 8 000 provozních hodin.

Výrobní požadavek na čtyřstupňové odstředivé dmyhadlo, který se nám zatím nepodařilo u nás výrobně zajistit, vývojově prosadily firmy v Americe k maximální spokojenosti uživatelů. Mezi hlavní přednosti těchto typů dmychadel patří především bezproblémová regulace tlaku a schopnost i neomezeně dlouhého chodu do plně uzavřeného výtlačku. Ostatní přednosti odstředivých dmychadel však rovněž nejsou zanedbatelné a někdy jsou zcela prioritní při rozhodování o způsobu čerpání LFG:

- nízká spotřeba elektřiny
- nízká hlučnost
- vysoká spolehlivost a nízké náklady údržby
- nižší až velmi nízká cena ve srovnání s ostatními typy dmychadel

Oproti těmto výhodám figuruje snad jen dvojice obecných nevýhod odstředivých dmychadel:

- 1) Nemožnost použití pro vyšší dodávací tlaky.
- 2) Problémy při paralelním řazení dvou a více simultánně čerpajících strojů. [1]

Kogenerační jednotka

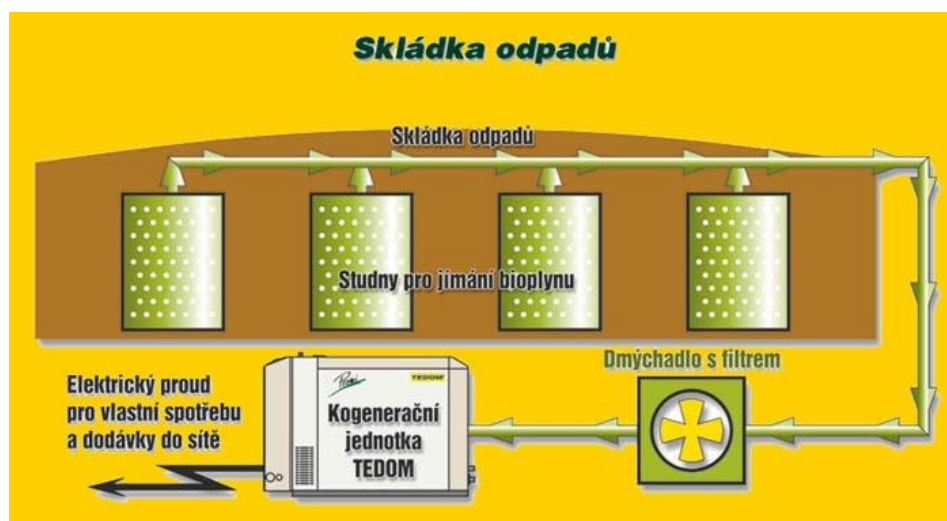
Kogenerační jednotky jsou zařízení pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie. Malé jednotky využívají především pístové spalovací motory, upravené pro pohon plynými palivy.

Oproti pouhé výrobě tepla při spalování bioplynu v kotlích nabízí kogenerace možnost výroby elektrické energie, která může být využívána pro vlastní spotřebu

objektu nebo může být prodávána do sítě rozvodných závodů. V případě výroby pro vlastní spotřebu tak lze získat mnohem levnější elektřinu než jejím nákupem ze sítě, v případě jejího prodeje je možné využít výhodné výkupní sazby elektřiny vyrobené z obnovitelných zdrojů energie. Jelikož bioplyn vzniká zpravidla jako vedlejší produkt při zpracování organických odpadů, jsou náklady na provoz kogenerační jednotky tvořeny především odpisy zařízení a servisními náklady. Výnosy tvoří pak ušetřené náklady za teplo a elektřinu, případně zisk z prodeje elektřiny do sítě. [5]



Obr. 8 – Kogenerační jednotka.



Obr. 9 – Schématické znázornění odplyňování skládky odpadů. [5]

3 AUTOMATIZACE SOUVISEJÍCÍ S ČERPÁNÍM PLYNU

3.1 Měření nezbytně nutná pro dopravu plynu

Měření průtoku, protékaného množství a složení plynu patří do oblasti velmi důležitých (především bilančních) měření. [6]

3.1.1 Měření průtoku plynu

Prostředky používané k měření průtoku a proteklého množství plynu lze třídit podle různých hledisek. Základní je členění podle použité metody měření. Třídit lze také jinak: podle použitého fyzikálního principu a konstrukce měřidla, druhu měřené tekutiny atd. Třídění podle měřicí metody je však možné z hlediska pochopení funkce a správného výběru měřidla měření pokládat za základní.

Měřicí metody průtoku a proteklého množství tekutin jsou v principu dvě – objemová a rychlostní.

Objemová metoda měření průtoku je založena na definici průtoku Q_V , tedy

$$Q_V = V/t [m^3/s] \quad (1)$$

nebo Q_m jako hmotnostního množství m tekutiny proteklého za jednotku času, tedy

$$Q_m = m/t [kg/s] \quad (2)$$

popř.

$$Q_m = Q_V \cdot \rho [kg/s] \quad (3)$$

kde ρ je hustota měřené tekutiny.

Průtokoměry pracující objemovou metodou se nazývají objemové průtokoměry. Používají se především při přesných měřeních (při kalibraci apod.) a v provozech při bilančních měřeních kapalin i plynů.

Rychlostní metoda měření průtoku vychází z definice průtoku jako součinu střední rychlosti w proudění a průtočného průřezu S , tedy

$$Q_v = w \cdot S [m^3 / s] \quad (4)$$

popř.

$$Q_m = w \cdot S \cdot \rho [kg / s] \quad (5)$$

Průtokoměry měřící rychlostní metodou se stručně nazývají rychlostní průtokoměry a používají se převážně pro provozní měření. [6]

Typy průtokoměrů vhodné pro měření LFG

Ultrazvukové

Dotykové a bezdotykové, hlavně pro kapaliny ve velkých potrubích: využívá se unášení ultrazvukového signálu proudící tekutinou, změny rychlosti šíření tohoto signálu tekutinou (pro relativně čisté tekutiny), popř. odrazu signálu od překážky v proudu tekutiny (např. vzduchových bublin nebo nečistot – Dopplerův jev); měřené rychlosti proudění do $13m \cdot s^{-1}$ při teplotě do 260 °C; světlosti potrubí od 0,006 do 3 m; nutné přímé úseky potrubí před snímači;

Turbínové

Přesnost $\pm 0,5$ % v rozsahu od 10 do 100 % jmenovitého průtoku, tlak až 250 MPa, snímání otáček lopatkového rotoru bezdotykově; délka přímého potrubí před snímačem 15D a za snímačem 5D;

Vířivé, vírové a fluidikové (oscilační)

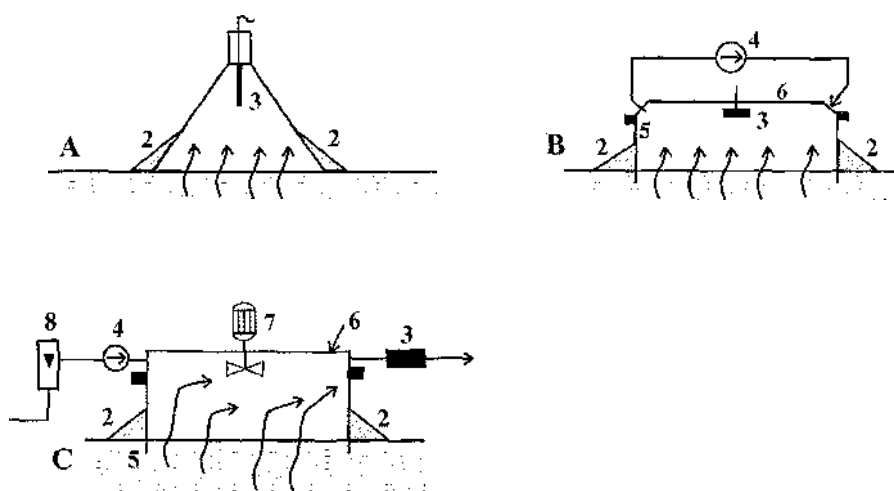
Vírové průtokoměry jsou jednoduché, s velkou přesností, velkým měřicím rozpětím, velmi malou trvalou tlakovou ztrátou, dlouhodobou stabilitou a dlouhou dobou života a výstupem frekvenčním nebo proudovým; vířivé průtokoměry mají, až

na velkou trvalou tlakovou ztrátu, stejné vlastnosti jako vírové, výstupem je signál ze snímače tlaku nebo z termistoru; [6]

3.1.2 Měření emisí LFG

Nadpovrchová metoda

S přímým měřením koncentrace methanu na povrchu skládky je nejvíce spojováno měření rychlosti úniku tzv. flux-box metodou. Flux-box metoda spočívá v měření migračních rychlostí methanu do uzavřeného prostoru na povrchu skládky a principiálně byly vyvinuty postupy statické i dynamické. Statické postupy analyzují změnu koncentrace methanu v měřeném prostoru v závislosti na čase, dynamické postupy sledují koncentraci methanu v průtočném systému při známých objemech vzduchu prosávaného skrze měřicí box (obr. 10).



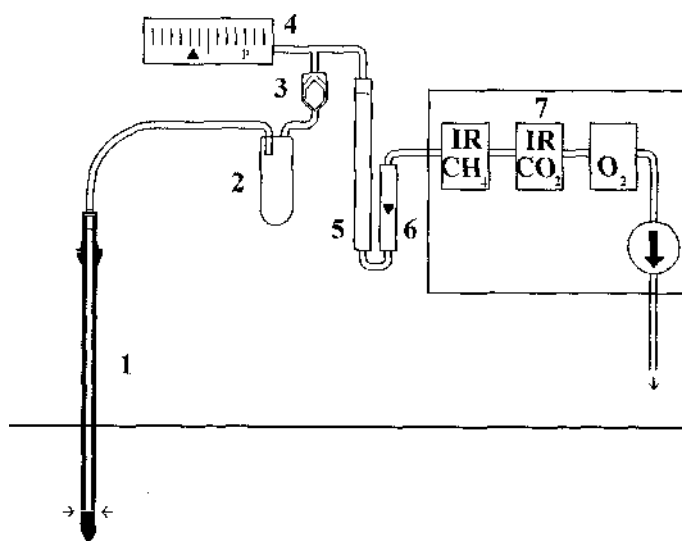
Obr. 10 – Měření flux-box technikou. [1]

Legenda:

A) 1 - povrch odpadu (skládky), 2 - přídavné těsnění boxu, 3 - čidlo anebo analyzátor methanu, 4 - čerpadlo plynu, 5 - rám boxu, 6 - víko boxu, 7 - míchadlo (ventilátor), 8 – průtokoměr, A) „přiložné“ statické měření (přenosné), B) „zabudované“ statické měření, C) dynamické měření

Podpovrchová metoda

Základem této metody jsou odběry vzorků plynu z různých hloubek překryvu skládky a jejich následné analýzy, při kterých se sleduje obsah majoritních složek plynu: methanu, oxidu uhličitého, kyslíku a dusíku. Vzorek půdních plynů je odebírán ze zárazné sondy postupně z různých hloubek v rozmezí 0,2-0,6 m. Do tělesa skládky je provedena zárazná sonda, která svými nasávacími otvory ze sledované hloubky odsává plyn k analýze. Plyn ze sondy je analyzován kontinuálně přenosným analyzátozem, přičemž hodnoty koncentrací methanu a oxidu uhličitého jsou stanovovány přístroji pracujícími na principu IR-absorpce (obr. 11). [1]



Obr. 11 – Aparatura pro podpovrchovou sondáž. [1]

Legenda: 1 - zárazná sonda, 2 - pojistná nádobka, 3 - zpětný ventil plovákový, 4 – mano-vakuometr, 5 - sušicí věž, 6 - rotametr, 7 - sdružený analyzátor plynu

Hloubkové profily (gradienty) koncentrací plynu vypovídají o rozvoji procesů produkujících plyn tak, že s dostatečnou přesností je možno vyloučit vlivy barometrického tlaku, neboť cílové hloubky přes 0,3 m již nejsou tímto výrazně ovlivňovány (pokud povrch skládky není nadměrně propustný či nedostatečně hutněný).

Plošná hustota sondáže postačující k vyhodnocení se pohybuje v rozmezí i 4-5 sond/ha, často se však provádí i 8-10 sond/ha. Hustota sondáže se řídí charakterem skládky, tvarem tělesa a vlastnostmi překryvové vrstvy. [1]

3.2 Měření složení plynu

Plyny a jejich nejrůznější směsi se nacházejí všude kolem nás. Protože plyny jsou od přírody obvykle málo viditelné, existují způsoby jak je elektronicky zjišťovat - detekovat, měřit jejich koncentraci a zjišťovat jejich složení. K tomu slouží analyzátory plynů.

K měření je zapotřebí použít nějaký princip převodu hledaných vlastností a parametrů na elektrický signál. [7]

3.2.1 Složení LFG

Skládkový plyn je v majoritním složení většinou třísloužkovou směsí CH_4 , CO_2 , N_2 s možnými nárůsty i obsahů O_2 a výjimečně i H_2 . Typické příklady složení plynů v různých vývojových stavech skládkového tělesa jsou uvedeny v tabulce 3. Tato tabulka též ukazuje, jakým směrem se mění složení plynu, pokud je odsáván s příliš velkou rychlostí a do systému odplynění je přisáván vzduch.

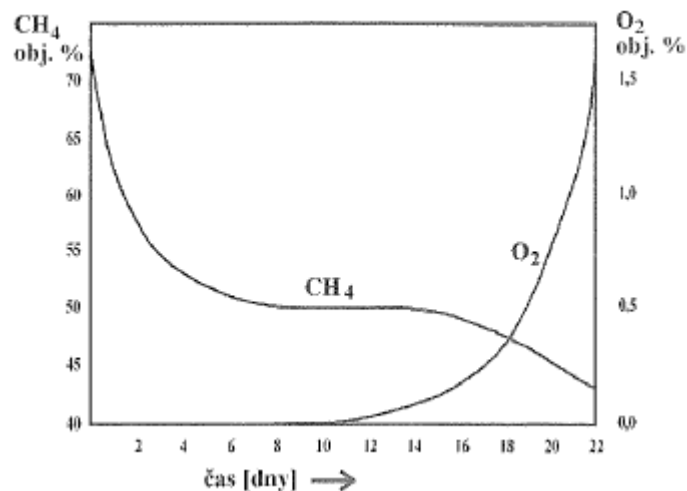
Prvé změny ve skládce postižené aerobizací vedou vždy k poklesu methanu a nárůstu obsahů dusíku, aniž by se však objevil volný kyslík. Teprve déleodobé přetěžování tělesa vede k nárůstu obsahu kyslíku v plynu a spolu s tím pak velmi rychle klesá obsah methanu a souběžně stále roste i obsah dusíku. Za stavů, kdy obsah kyslíku v plynu překročí 3 % obj. sice ještě nehrozí akutní nebezpečí exploze, avšak je to signál, že obsah methanu bude velmi rychle klesat, pokud přisávání vzduchu do tělesa nebude omezeno.

Tab. 3 – Složení plynů ve skládkách odpadů [% obj.]. [1]

	CH_4	CO_2	O_2	N_2	H_2
acidogenní fáze („mladý“ odpad)	0	80	0	18	2
methanogenní fáze nestabilizovaná	20	64	0	16	0
methanogenní fáze nestabilizovaná	40	55	0	5	0
methanogenní fáze stabilizovaná	62	37	0	1	0
methanogenní fáze stabilizovaná (skládky přetížena)	47	33	0	20	0
skládky dlouhodobě přetížena, systém odplynění	40	27	3	30	0

Prakticky zjištěné průběhy koncentrací jednotlivých složek skládkového bioplynu při intenzivním odčerpávání demonstruje obr. 12. Počáteční rychlý pokles

koncentrace methanu ze stacionárního stavu vede po čase ke zdánlivé stabilizaci složení. Pečlivé sledování změn obsahu dusíku a kyslíku však signalizuje další budoucí rychlý pokles, k němuž dojde po aerobizaci oblasti v okolí vrtu, která je odsáváním postižena. Návrat skládky do acidogenní fáze neovlivňuje jen složení plynu. Výluhové vody se počínají okyselovat až na $\text{pH} \cong 4$ a díky vyšší aciditě jsou mobilizovány do roztoku ionty četných těžkých kovů. [1]



Obr. 12 – Změny ve složení LFG při dlouhodobém čerpání. [1]

3.2.2 Zařízení pro měření LFG

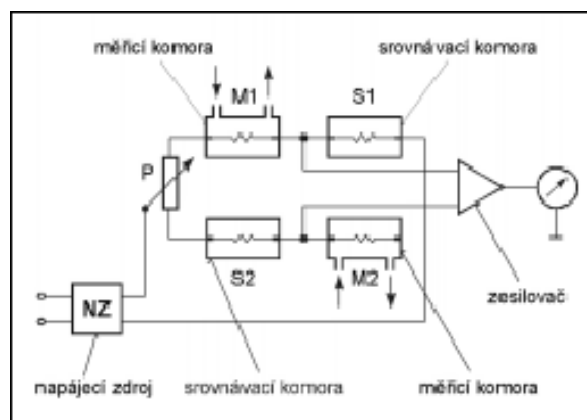
Pod obecným pojmem analyzátor rozumíme automaticky nebo poloautomaticky pracující měřicí soustavu, která udává kvalitativní a kvantitativní složení analyzované látky na základě její fyzikální, fyzikálně chemické nebo chemické vlastnosti.

Tepelně vodivostní analyzátor

Základem měřicího zařízení je komora válcového tvaru, v jejíž ose je umístěno kovové vlákno (nejčastěji z platiny), vyhříváné elektrickým proudem na teplotu 100 až 150 °C. Ustálený stav teploty vlákna je definován rovnováhou mezi elektrickým výkonem a tepelným tokem přecházejícím na stěny komory. Z toho důvodu je požadována pokud možno konstantní teplota stěny komory. Měřicí komory jsou konstruovány tak, aby teplo bylo přenášeno především tepelnou vodivostí plynu a ostatní způsoby přenosu, jako je záření a přímý styk vlákna s blokem, byly zanedbatelné. V důsledku změny tepelné vodivosti plyné směsi se mění odvod tepla

z vyhřívajícího vlákna, mění se jeho teplota i jeho elektrický odpor, který se vyhodnocuje. Kromě kovových vláken z platiny nebo wolframu se jako měřicí prvky používají také vyhřívající termistory.

U provozních analyzátorů se neměří absolutní hodnota měrné tepelné vodivosti. Měření se provádí diferenčně ve dvou komorách, z nichž jedna obsahuje analyzovaný, druhá referenční plyn. Vláknová dvojice měřicí a srovnávací komory se zapojují do Wheatstoneova můstku. Pro zvýšení citlivosti se používají dva páry komor (obr. 13).



Obr. 13 – Měřicí můstek tepelně vodivostního senzoru.[10]

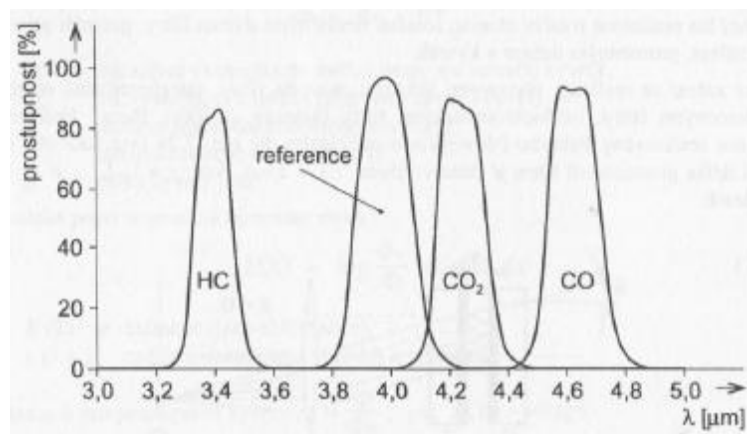
Měřicími komorami M1 a M2 prochází analyzovaný plyn, srovnávací komory S1 a S2 jsou obvykle uzavřeny a naplněny srovnávacím plynem, např. vzduchem. Měřicí můstek je napájen ze stejnosměrného stabilizovaného zdroje. Rovnováha můstku se seřizuje potenciometrem P při nulové koncentraci měřeného plynu. Při změně složení plynné směsi se v důsledku změny tepelné vodivosti změní odpor měřicích vláken v komorách M1 a M2 a dojde k porušení rovnováhy můstku. Signál v diagonále je úměrný koncentraci měřené látky.

Tepelně vodivostní analyzátoři jsou vhodné pro binární směsi nebo jejich ekvivalenty, tvořené plyny o dostatečném rozdílu měrných tepelných vodivostí. Lze je s výhodou použít pro analýzu plynných směsí, jako např. H_2 a N_2 , H_2 a O_2 , CH_4 a vzduch. Minimální měřicí rozsahy vyjádřené v objemových koncentracích bývají 0,5 % u H_2 a 3 % u ostatních plynů ve směsi. Značnou předností tepelně vodivostních analyzátorů je, že tyto přístroje pracují po dlouhou dobu téměř bez obsluhy, a to i v nejtěžších provozních podmínkách.[10]

Analyzátory založené na absorpci infračerveného záření

Jsou založeny na odlišné selektivní absorpci elektromagnetického záření různými plyny. Zde se budeme věnovat infračerveným analyzátorům, protože jsou nejrozšířenější v provozní praxi

V infračervené oblasti vlnových délek absorbují záření různých vlnových délek prakticky všechny látky, které mají v molekule alespoň dva různé druhy atomů, jako je např. CO₂ (obr. 14). Analyzovanou látkou mohou být plyny, kapaliny i roztoky tuhých látek.



Obr. 14 – IR analýza plynů – charakteristiky interferenčních filtrů. [11]

Infračervené analyzátory, podobně jako všechny předcházející, měří koncentraci určované složky v analyzovaném plynu srovnávací metodou. Jejich základní součásti jsou zdroje infračerveného záření, měrné a srovnávací kyvety a detektor záření po absorpci. [11]

Podle zdroje záření je dělíme: [11]

- bezdisperzní

Pracují bez rozkladu infračerveného záření a využívají širokého spektra vlnových délek, Zdrojem záření se spojitým infračerveným spektrem je např. niklbromidové vlákno žhavené stabilizovaným napětím na teplotu 700 °C, které je umístěno v ohnisku parabolického zrcadla. Selektivitu se dosahuje u těchto analyzátorů selektivními detektory.

- Disperzní

Jsou založeny na monochromatickém infračerveném záření.

Magnetické analyzátory

Podle chování plynů v magnetickém poli se rozlišují plyny paramagnetické a diamagnetické. Charakteristickou konstantou paramagnetických a diamagnetických látek je magnetická susceptibilita. Magnetická susceptibilita paramagnetických látek je větší než nula, látek diamagnetických menší než nula. Paramagnetické látky jsou vtahovány do nehomogenního magnetického pole, diamagnetické látky jsou z magnetického pole naopak vypuzovány.

Většina technicky důležitých plynů jsou látky diamagnetické; výrazné paramagnetické vlastnosti vykazuje kyslík. Paramagnetismus plynů se vysvětluje přítomností nepárového elektronu v molekule, u kyslíku nespřaženým párem elektronů o paralelním spinu.

Analyzátory založené na měření magnetických vlastností využívají výjimečné postavení kyslíku k jeho selektivnímu stanovení v plynných směsích.

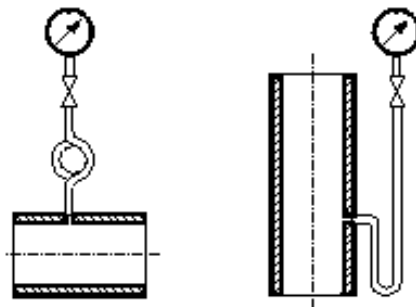
Těleso s menší susceptibilitou je představováno malou skleněnou baňkou kulového nebo válcového tvaru, která je naplněna dusíkem. Takováto dvě tělíska jsou zavěšena na torzním vlákně a jsou umístěna ve vhodně orientovaném nehomogenním magnetickém poli. Nachází-li se kolem tělísek paramagnetický kyslík, jsou tělíska vytlačována z magnetického pole. Při malých rozměrech měřicího systému je i otáčivý moment velmi malý, a proto se pro sledování výchylky otáčivého systému využívají optické prostředky (zrcátko na křemenném závěsu, zdroj světla a fotoelektrická detekce rozvážení systému). Vzniklý krouticí moment je kompenzován momentem vytvářeným elektromagneticky pomocí proudové smyčky. [30]

3.3 Měření tlaku

Při měření tlaku, podtlaku nebo tlakového rozdílu je nutno volit vhodné místo odběru a správně volit provedení tlakoměru, aby měřený tlak nebyl zkreslen okrajovými vlivy. Měřicí místo na potrubí musí být dostatečně vzdáleno od rušivého vlivu armatur (ventily, kolena apod.) a ovládacích prvků (ventily, šoupátka). Obvykle postačí vzdálenost rovnající se desetinásobku průměru potrubí. Stěna potrubí v místě odběru musí být hladká, odběrová trubka nesmí zasahovat dovnitř potrubí (Obr. 15).

Při dálkovém měření se propojuje tlakoměr s místem odběru signálním potrubím o světlosti 6 až 10 mm. Potrubí nemá mít ostré ohyby a má být položeno tak, aby se zabránilo vytváření parních či plynových bublin v kapalinách nebo usazování kondenzátu při měření tlaku plynů a par. Proto musí mít signální potrubí vždy určitý spád, minimálně 1:20. V nejnižším místě musí být odkalovací, v nejvyšším místě odvzdušňovací ventily. Délka signálního potrubí by neměla přesáhnout 50 m.

Při měření tlaku agresivního prostředí je nutno měřicí systém tlakoměru chránit proti korozi. [15]



Obr. 15 – Kondenzační smyčky pro vodorovné a svislé potrubí. [15]

4 NEZBYTNÉ VZTAHY SOUVISEJÍCÍ S PŘEPRAVOU PLYNU

4.1 Bernoulliho rovnice

Bernoulliho rovnice pro $\rho \approx \text{konst.}$

U řady úloh a řešení technických problémů (např. obtékání křídla letadla nebo lopatky turbíny, pohyb vzduchu vyvolaný rotující vrtuli letadla nebo rotorem dmychadla) lze považovat jeho hustotu za velmi malo proměnnou. Jde o situace, kdy v plynu nedochází k velkým tlakovým a teplotním změnám. Při řešení lze pak přijmout zjednodušený model plynu jako nestlačitelné tekutiny, u níž změna hustoty je zanedbatelná. Výsledná Bernoulliho rovnice má obecný tvar:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + \rho gh + p = \text{konst.} \quad (6)$$

Zde první člen představuje kinetickou energii plynu o jednotkovém objemu, neboli aerodynamický tlak, druhý člen potenciální energii tíhovou, neboli tlak plynu popsany výškou h od zvolené nulové hladiny. Třetí člen je potenciální energie tlaková, která má současně význam tlaku v proudícím plynu. Pokud je proudová trubice vodorovná, tj. $h = \text{konst.}$, lze rovnici (6) použít ve zjednodušeném tvaru:

$$\frac{1}{2}\rho v^2 + p = \text{konst.} \quad (7)$$

Bernoulliho rovnice pro $\rho \neq \text{konst.}$

Budeme-li uvažovat, že se při ustáleném proudění plynu mění jeho hustota, tedy bude-li se plyn při průtoku proudovou trubicí ještě stlačovat nebo rozpínat, bude řešení problému poněkud složitější. Výsledná Bernoulliho rovnice má obecný tvar:

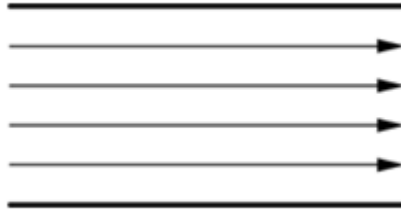
$$\frac{v^2}{2} + \rho h + \frac{\kappa}{\kappa-1} \frac{p}{\rho} = \text{konst.} \quad (8)$$

κ - Poissonova konstanta (pro jednoatomové plyny se klade $\kappa = 1,67$, pro dvouatomové plyny $\kappa = 1,4$ a pro víceatomové plyny se klade obvykle $\kappa = 1,33$). [13]

4.2 Laminární proudění

Převažuje-li pohyb tekutiny v jednom směru, pak hovoříme o proudění. Trajektorie jednotlivých částic proudící tekutiny znázorňujeme proudnicemi. Tečna

sestrojená v určitém bodě k proudnici určuje směr rychlosti pohybující se částice tekutiny v tomto bodě. Při laminárním proudění se netvoří víry.



Obr. 16 – laminární proudění. [12]

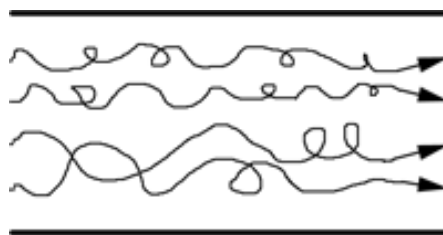
Potřebný vztah pro laminární oblast:

$$Q_L - Q_0 = \frac{\pi \sigma K_M \sqrt{D^5}}{L \sqrt{128 \cdot 10^{-6} \sigma K_M}} (P_L - P_S) \left(e^{-L \sqrt{\frac{a}{D^3}}} - 1 \right) \quad (9)$$

Z rovnice (9) musíme zjistit konstanty, přičemž i hodnotu středního přetlaku P_S rovněž nemůžeme dobře změřit s potřebnou přesností a tak je lépe ji považovat za neznámou. Technicky proveditelná je však aplikace celé sady různých sacích podtlaků P_L k nimž vždy budou příslušet změřené hodnoty Q_L resp. $Q_L - Q_0$. Veškerá data pro funkční praktickou závislost průtoků plynu a sacího podtlaku lze pro perforované drenáže zjistit řešením soustavy tří i více rovnic pro tři neznámé veličiny. [1][12]

4.3 Turbulentní proudění

Při turbulentním proudění se na rozdíl od laminárního proudění tvoří víry.



Obr. 17 – Turbulentní proudění.[12]

Vztah pro tlakovou diferenci v oblasti turbulentních toků:

$$P_l = P_s - \frac{\frac{48 D^3}{(2\pi K_M \sigma)^2} K_T}{\left(l + \sqrt[3]{\frac{\frac{48 D^3}{(2\pi K_M \sigma)^2} K_T}{P_s - P_l}} \right)^3} \quad (5)$$

Podobně jako u laminárních stavů můžeme i zde odvodit rovnice pro získání neznámých konstant s pomocí měřitelných průtoků a příslušných sacích tlaků.

[1][12]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 NÁVRH ČERPÁNÍ PLYNU

Úkolem této práce je vybrat vhodné akční členy a senzory pro možnou automatizaci přepravy skládkového plynu. Výběr těchto komponent je důležitý pro správnou funkci systému.

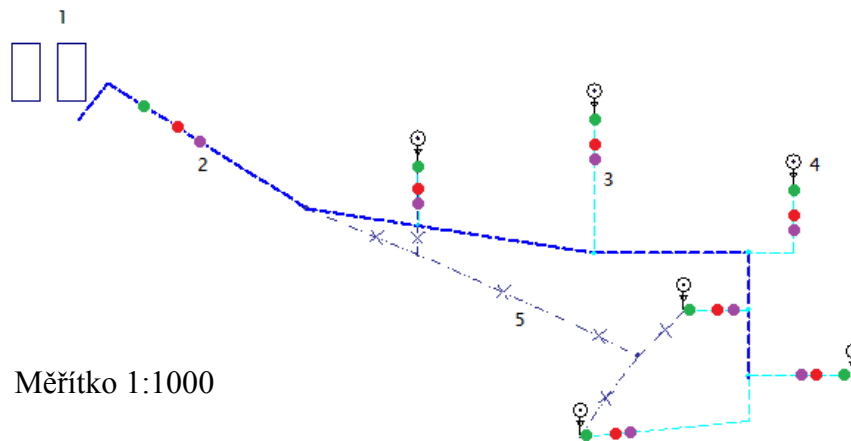
Při návrhu je dobré vědět, kde jednotlivé komponenty umístit. V případě špatného umístění můžou vznikat chyby měření nebo špatná funkce systému, což je nežádoucí.

V této práci budou provedeny dva návrhy, ve kterých budou kombinovány jednotlivé akční členy a senzory. Ke každému návrhu bude proveden stručný komentář, výhody a nevýhody návrhu a ekonomická rozvaha.

Tento návrh bude možné využít jako základ pro případné rozšíření na kompletní návrh přepravy skládkového plynu a jeho další zpracování.

6 SITUAČNÍ PLÁN SKLÁDKY

Na obrázku 18 je znázorněn situační plán skládky. Tento situační plán vychází z obdobných reálných plánů skládek.



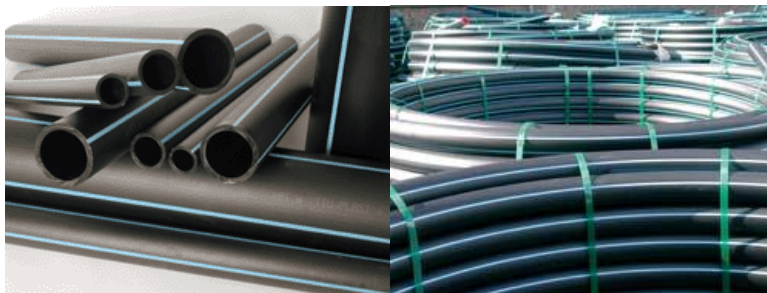
Obr. 18 – Situační plán skládky

Legenda: 1 – kogenerační jednotka, 2 – páteřní potrubí, 3 – svodové potrubí, 4 – studna, 5 – zrušené potrubí, ● – akční člen, ● – analyzátor, ● – tlakoměr

Pozn. Akční členy a senzory jsou pouze znázorněny, kde se přibližně budou v obvodu vyskytovat.

6.1 Struktura potrubí (rozměry) a požadavky

Tlakové potrubí je vyrobeno z polyetylénu (PE). Dodáváno je v černé barvě s modrými nebo hnědými pruhy. Běžné balení: tyče délky 6 m, náviny 100 m. [14]



Obr. 19 – Tlakové potrubí (PE). [14]

Potrubí pro dopravu plynu je zvoleno v závislosti na počtu aktivních studní, z kterých bude čerpán LFG. Typ potrubí PE 80 (SDR 11) viz tab. 4. Svodné potrubí od studní má vnější průměr 90 mm. Páteřní potrubí bude mít vnější průměr 160 mm.

Tab. 4 – Průměry potrubí. [14]

Tlaková řada PN 10					
Vnější průměr (mm)	Sortiment v PE 80 (SDR 11)			Sortiment v PE 100 (SDR 17)	
	Vnitřní průměr max. (mm)	Síla stěny min. (mm)		Vnitřní průměr max. (mm)	Síla stěny min. (mm)
25	20,4	2,3		21,4	1,8
32	26,2	2,9		28,2	1,9
40	32,6	3,7		35,2	2,4
50	40,8	4,6		44	3,0
63	51,4	5,8		55,4	3,8
75	61,4	6,8		66,0	4,5
90	73,6	8,2		79,2	5,4
110	90,0	10,0		96,8	6,6
160	130,8	14,6		141,0	9,5

Doprava, skladování a manipulace:

Trubky musejí ležet na podkladu celou svojí délkou, aby nedocházelo k průhybům. Je nutné je zajistit i proti poškozením ostrými předměty apod. Při uskladnění je nutno chránit trubky před znečištěním. Musejí být chráněny před UV zářením a doba uskladnění nesmí přesáhnout 2 roky. [14]

Spojování:

Potrubí je možno spojovat několika způsoby. Svařování na tupo, polyfúzně, svěrnými spojkami nebo pomocí elektrotvarovek. Zde je nutno postupovat dle doporučení jednotlivých výrobců tvarovek a dodavatelů svařecích agregátů. Vzájemné svařování potrubí a tvarovek z PE 80 a PE 100 není nijak omezeno. Potrubí je možno spojovat pomocí mechanických tvarovek, jak rozebíratelných, tak nerozebíratelných. I zde je nutno dodržovat postupy jednotlivých výrobců tvarovek. [14]

Technické parametry:

V tabulce 4 uváděná hodnota SDR jednoznačněji charakterizuje rozměrové parametry potrubí, a tím zpřehledňuje popis tlakových tříd. Popisuje vztah mezi vnějším průměrem potrubí a tloušťkou stěny. [14]

6.2 Délka potrubí na jednotlivé akční členy

Měřicí místo na potrubí musí být dostatečně vzdáleno od rušivého vlivu armatur (ventily, kolena apod.) a ovládacích prvků (ventily, šoupátka). Obvykle postačí vzdálenost rovnající se desetinásobku průměru potrubí. [15]

6.3 Tlakové poměry v potrubí

Plyn ze skládky bude odčerpáván pomocí dmýchadla, protože na skládce nevzniká dostatečný přetlak. Dmýchadlo pracuje s podtlakem -3kPa, často však s nižším, max. -10kPa. Tlaková diference může dosáhnout přibližně v rozmezí 10-20 kPa.

7 NÁVRH AUTOMATIZACE ČERPÁNÍ

Jak už je uvedeno v bodě 6.3, k čerpání musí být využito vhodné zařízení, protože na skládce nevzniká dostatečný přetlak. Automatizace bude využívat regulaci tlaku LFG a obsahu kyslíku v LFG. K analýze složení LFG budou využity analyzátory snímající pouze obsah kyslíku. Jelikož LFG patří mezi výbušné plyny, musí se volit všechny akční členy a senzory vhodné do výbušného prostředí.

Přibližné umístění jednotlivých zařízení na skládce je možné vidět na situačním plánu skládky (viz bod 6), který je společný pro obě navržené automatizace, kde v 1. návrhu jsou využita zařízení s analogovým výstupem, která využívají proudový signál 4 – 20 mA pro přenos naměřených veličin. Ve 2. návrhu jsou využita zařízení, která pro přenos naměřených veličin využívají bezdrátový přenos.

Veškeré uvedené ceny budou uvedeny bez DPH.

7.1 Návrh automatizace č. 1

V návrhu č. 1 jsou využity zařízení s analogovým výstupem, které využívají proudový signál 4 – 20 mA pro přenos naměřených veličin. Pro proudový přenos se autor práce rozhodl, protože bývá odolnější proti elektromagnetickému rušení. [31]

Výhodou této automatizace je výsledná cena, která je jasně ekonomičtější než v případě 2. návrhu. Nevýhodou je jistě nutnost použít pro přenos dat a signálů vodiče. Pro regulaci LFG v potrubí je použito regulačního ventilu s pneumatickým pohonem.

Jednotlivá zařízení a jejich parametry jsou uvedené níže.

Dmychadlo

K čerpání plynu je využito dmychadlo RT-4026 (obr. 20). Tento model má příkon 2.2 kW, max. přetlak 27 kPa, podtlak -22 kPa a průtok až 216 m³/hod.

U tohoto dmychadla je potřeba vyřešit regulaci čerpaného množství plynu. Dodavatel v tomto případě doporučuje využít pojistného ventilu, který je možné vidět na obr. 21 (viz příloha P III). Hlučnost dmychadla se pohybuje okolo 70 dB. Váha dmychadla je 26 kg. Cena dmychadla je 21 420 Kč. [16]

Pojistný ventil vyjde na 31 €. Dodavatel dále doporučil použít před dmychadlo filtr, jehož cena je 80 € (viz příloha P III).

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 15. 5. 2013: 80 € = 2 079 Kč, 31 € = 805 Kč.



Obr. 20 – dmychadlo RT 2005L-1
jednofázové. [16]



Obr. 21 – pojistný ventil. [25]

Analyzátor plynu

Pro analýzu plynu je využit analyzátor TRANSIC100LP. Jedná se o přístroj pro měření O_2 s přesností $\pm 0,2$ %, jenž je založený na výkonné laserové spektroskopii. Je odolný vůči agresivním chemikáliím a je optimalizován pro průmyslové použití do explozivního prostředí, což je nezbytně nutné pro naši aplikaci. Analyzátor je vybrán v provedení s přírubou ve vedlejším proudu plynu prostřednictvím sondy, která je součástí balení. Je schopen pracovat při rozsahu teplot od -20 do $+80$ °C. Výhodou analyzátoru je nenáročnost na údržbu po celou dobu životnosti. Zařízení je napájeno stejnosměrným napětím 24 V. Pro přenos výstupní informace slouží dvou vodič se signálem 4 až 20 mA. Analyzátor pracuje na principu absorpce infračerveného záření (viz teorie bod 3.2.2). [20][21]

Při dotazu na cenu dodavatel nesdělil přesnou cenu, ale pouze orientační ve výši 5 000 € (viz příloha P I).

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 15. 5. 2013: 5 000 € = 130 025 Kč.



Obr. 22 – TRANSIC100LP s přírubou. [21]

Senzor tlaku

Pro měření tlaku byl zvolen snímač tlaku XMP i (obr. 23) je navržen speciálně pro průmyslové procesy a měření podtlaku, relativního a absolutního tlaku, tlakových rozsahů plynů až 60 MPa s přesností 0,1 %. Připojení k procesu se provádí pomocí příruby, která je součástí balení. Jako materiál snímače je kvůli odolnosti snímače zvolena nerezová ocel, protože se jedná o měření výbušného plynu. Pro přenos naměřených veličin je využit proudový signál 4 – 20.

Cena samostatného snímače je stanovena na 12 750 Kč. Jelikož měřený rozsah v základním provedení nevyhovuje (rozsah až 60 MPa), neboť tlaková diference v potrubí je nižší (10 až 20 kPa) je nezbytné za příplatek 1 050 Kč vybavit snímač tlaku rozsahem 0 až 40 kPa. Celkové náklady na snímač jsou 13 800 Kč. [17][18][19]



Obr. 23 – Snímač tlaku XMP i. [18]

Akční členy

Pro regulaci plynu je vhodné použít regulační členy s pneumatickým pohonem Model BR 55.440 Premio. Tento model je vhodný pro průmyslové použití. Jako materiál odlitku je zvolena nerezová ocel. Regulační člen je schopen při teplotě od -10 do +220°C, což je pro naši aplikaci dostatečné. Jako těsnění je zvolen standardní pružinový PTFE V-kroužek. Ventil v tomto návrhu pracuje s pneumatickým pohonem DP 32-33, který využívá jednočinnou pružinu. Pro připojení k potrubí je využito přírubové připojení. Stupeň ochrany IP 65 taktéž postačí pro naši aplikaci. Pohon je napájen střídavým napětím 230 V při frekvenci 50 Hz. Cenu ventilu s pneumatickým pohonem dodavatel stanovuje na 7 565 € za možný průtok až 160 m³/h (umístění na páteřní potrubí) a 2 727 € za průtok 25 m³/h (umístění na svodná potrubí). [22][23]

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 17. 5. 2013: 7 565 € = 196 614 Kč, 2 727 € = 70 874 Kč.



Obr. 24 – regulační člen Model BR 55.440 Premio.[23]

Ekonomická rozvaha

Jak je možné vidět v tab. 5, nejdražší položkou tvořící více než polovinu celkové ceny jsou analyzátoři. Regulační členy jsou druhá nejdražší položka, kde cenu nejvíce ovlivňoval materiál odlitku regulačního ventilu. Cena za materiál u regulačního členu se liší řádově až desítky tisíc Kč.

Tab. 5 – Náklady na návrh automatizace č. 1

<i>Zařízení</i>	<i>Počet</i>	<i>Cena za kus [Kč]</i>	<i>Cena za zařízení [Kč]</i>	<i>Poznámka (umístění)</i>
dmychadlo RT-4026	1	21 420	21 420	-
Snímač tlaku XMP i	7	13 800	96 600	-
Analyzátor TRANSIC100LP	7	130 025	910 175	-
Reg. člen Model BR 55.440	6	70 874	425 244	Svodové potrubí
Reg. člen Model BR 55.440	1	196 614	196 614	Páteční potrubí
Pojistný ventil + filtr	1	2 884	2 884	-
<i>Celková cena automatizace</i>	<i>1 652 937 Kč</i>			

7.2 Návrh automatizace č. 2

Ve 2. návrhu jsou využita zařízení, která používají pro přenos naměřených veličin bezdrátový přenos. Nevýhodou u těchto zařízení je, že může docházet k rušivým vlivům na přenos signálu. Další nevýhodou tohoto návrhu je určitě cena použitého analyzátoru (viz ekonomická rozvaha návrhu). Výhodou však je, že není nutná datová kabeláž. Oproti předcházejícímu návrhu automatizace je použité dmychadlo, které spíše vyhovuje, protože pracuje s menší tlakovou diferencí a navíc je levnější. Pro regulaci LFG v potrubí je v tomto návrhu použito regulačního ventilu s elektrickým pohonem, protože elektropohon je přizpůsobitelný různým vnějším podmínkám (prostředí s nebezpečím výbuchu, radioaktivní prostředí). [32]

Jednotlivá zařízení a jejich parametry jsou uvedené níže.

Dmychadlo

Ve druhé variantě je pro čerpání využito třífázové dmychadlo typ INW 51 H06 (obr. 25). Dmychadlo pracuje s příkonem 0.85 kW, max. přetlak 11kPa, podtlak - 10kPa a průtok až 210 m³/hod. Váha dmychadla je přibližně 22 kg. Hlučnost 66 dB. Cena dmychadla je 591 €. [24]

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 24. 5. 2013: 591 € = 15 363 Kč.

I v této variantě je nutno regulovat čerpané množství. Podle předchozí varianty je využito pojistného ventilu (obr. 21) doporučeného dodavatelem. Cena pojistného

ventilu je totožná s prvním návrhem. I v tomto návrhu je před dmychadlem filtr, jehož cena je opět stejná s předchozím návrhem.



Obr. 25 – třífázové dmychadlo INW 51 H06.[24]

Analyzátor plynu

Pro měření obsahu kyslíku v LFG je využito analyzátoru OXYMAT 6 (obr. 26). Bylo vybráno provedení do provozu. Je možné jej využít v náročných aplikacích, ve kterých splňuje vysoké požadavky na správnost měření. Toho je dosaženo použitím moderní elektronické části a jednoduchým ovládáním.

Analyzátor OXYMAT 6 využívá k měření koncentrace kyslíku paramagnetické metody (viz teorie bod 3.2.2) s využitím senzoru, který nepřichází do styku s analyzovaným plynem, což umožňuje jeho nasazení i pro analýzu plynů, jako je v našem případě LFG. Přístroj se vyznačuje výbornou linearitou měření a dovoluje nastavení měřících rozsahů od 0 – 0,5 % až 0 - 100 %, dokonce i 99,5 - 100 %. Měřicí sonda je součástí balení. Pro komunikaci je využit RS 485/Ethernet konvertor. Analyzátor je napájen střídavým napětím 100 až 120 V 48 až 63 Hz. Dodavatel uvádí, že při použití aplikace (Siprom GA) pro správu analyzátorů řady 6 s počítačem s operačním systémem Windows může být připojeno současně až 12 analyzátorů pomocí Ethernetu. Cena analyzátoru je 15 255 \$. [27][28][29]

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 24. 5. 2013: 14 956 \$ = 300 525 Kč.



Obr. 26 – Analyzátor OXYMAT 6. [27]

Senzor tlaku

Pro snímání tlaku je použito snímače Rosemount typ 3051ST (obr. 27). Rozsah snímání je 0 až 27 kPa. Provedení snímače je zvoleno v nerezové oceli. Výstupní signál je bezdrátový na frekvenci 2,4 GHz, a proto snímač obsahuje integrovanou anténu. Přesnost přístroje je 0,025 %. Montáž snímače je zvolena pomocí příruby na potrubí. Pro napájení je požadován externí zdroj stejnosměrného napájecího napětí 12 až 42 V. [26]

Celkovou cenu snímače dodavatel na zadané požadavky autora vypočítal na 103 498 Kč (viz příloha P II).



Obr. 27 – Snímač tlaku Rosemount typ 3051ST.[26]

Akční členy

Pro regulaci plynu jsou využity regulační členy s elektrickým pohonem Model BR 55.440 Premio. Tento typ pohonu je možno použít i do výbušného prostředí. Jako materiál odlitku byla zvolena nerezová ocel. Regulační člen pracuje při teplotě od -10 do +220°C. Jako těsnění se používá jako v předchozím návrhu standardní pružinový PTFE V-kroužek. Regulační ventil pracuje s elektrickým pohonem ARI

Premio. Pohon je napájen střídavým napětím 230 V při frekvenci 50 Hz. Stupeň ochrany IP 65 taktéž postačí pro naši aplikaci. Cena 8 485 € za možný průtok až 160 m³/h (umístění na páteřní potrubí) a 3 098 € za průtok 25 m³/h (umístění na svodná potrubí). [22][23]

Podle kurzovního lístku ČNB platného pro den 20. 5. 2013: 8 485 € = 221 628 Kč, 2 592 € = 67 703 Kč.



Obr. 28 – regulační člen Model BR 55.440 Premio.[23]

Ekonomická rozvaha

Jak je možné vidět v tabulce 6, nejdražší položkou, která tvoří většinu celkové ceny, jsou analyzátory. Ceny za materiál u regulačního členu se liší řádově až desítky tisíc Kč.

Tab. 6 – Náklady na návrh automatizace č. 2

<i>Zařízení</i>	<i>Počet</i>	<i>Cena za kus [Kč]</i>	<i>Cena za zařízení [Kč]</i>	<i>Poznámka (umístění)</i>
<i>Dmychadlo INW 51 H06</i>	1	15 363	15 363	-
<i>Snímač Rosemount 3051ST</i>	7	103 498	724 486	-
<i>Analyzátor OXYMAT 6</i>	7	300 525	1 803 150	-
<i>Reg. člen Model BR 55.440 Premio</i>	6	67 703	406 218	Svodové potrubí
<i>Reg. člen Model BR 55.440</i>	1	221 628	221 628	Páteřní potrubí
<i>Pojistný ventil + filtr</i>	1	2 884	2 884	-
<i>Celková cena automatizace</i>	3 173 729 Kč			

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce bylo vybrat vhodné senzory a akční členy pro možné řízení přepravy skládkového plynu. V teoretické části jsem se snažil co nejvíce přiblížit přepravu plynu ze skládky k dalšímu zpracování a také prostředky pro automatizaci související s přepravou. V praktické části byly podle požadavků (tlakových poměrů a rozměrů v potrubí) a situačního plánu vypracovány dva návrhy automatizace. Ke každému návrhu byl vypracovaný slovní komentář, výhody a nevýhody návrhu a ekonomická rozvaha. Všechny ceny jednotlivých zařízení se nakonec podařilo zjistit i díky ochotě zaměstnanců dotazovaných firem.

Původní záměr práce byl navštívit vybranou skládku, naměřit reálné hodnoty tlakových poměrů v potrubí případně složení LFG a následně podle plánu skládky navrhnout automatizaci přepravy LFG. Bohužel se na dané skládce vyskytl problém, a tak se z blíže nespecifikovaných důvodů nemohl tento plán uskutečnit. Tato zkušenost by jistě výrazně obohatila mé získané teoretické znalosti v oblasti měřicí techniky. Navzdory tomuto nezdaru se práci podařilo vypracovat podle reálné skutečnosti na běžné skládce.

Vylepšení návrhů by bylo možné dle mého názoru použitím dalších snímačů např. průtokoměrů – možnosti automatizace by se rozšířily o velikost průtoku, což by vedlo k větším regulačním možnostem. Případně pro lepší analýzu by bylo možné použít analyzátory s možností analýzy dalších složek LFG, ne jen kyslíku (např. methanu a oxidu uhličitého).

Při vypracování práce jsem získal cenné zkušenosti v širokém rozhledu problematiky. Naučil jsem se pochopit procesy, které vedou ke vzniku skládkového plynu, popřípadě jak eliminovat děje, které vedou ke znehodnocení LFG a také jak využít tento obnovitelný zdroj energie. Dále jsem si přiblížil projektování automatizace přepravy plynu a s tím také souvisejí principy a parametry jednotlivých měřících nebo regulačních zařízení figurujících v dané automatizaci.

ZÁVĚR V ANGLIČTINĚ

The aim of this bachelor thesis was to select suitable sensors and actuators for possible control of landfill gas. In the theoretical part I tried to get closer control of gas from the landfill for processing and automation equipment related to transmission. In the practical part according to requirements (pressure ratios and proportions of the pipeline) and a site plan were prepared two projects for automation. For each project was developed verbal comment, advantages and disadvantages of the project and the economic balance. All prices of the several devices managed to find thanks to the willingness of employees surveyed companies.

The original aim of the study was to see the selected landfill, measured the fair value of the pressure conditions in the pipeline or gas composition and after that according to site plane of landfill design automation transport landfill gas. Unfortunately on the landfill was created a problem, and so on unspecified more closely reasons could not implement the plan. This experience would be certainly greatly enriched my theoretical knowledge in the field of measuring technology. Despite this failure, the thesis was drawn up according to the real processes real facts on the current landfill.

In my opinion enhancement proposals would be the use of additional sensors such as flowmeters - automation options would expand the size of the flow, which would lead to greater regulatory options. Alternatively for a better analysis could be used analyzers that could be able analyze other components of LFG than oxygen (eg. methane and carbon dioxide).

During the developing of this thesis I have gained valuable experience in a wide vision of problems. I have learned to understand the processes that lead to the formation of landfill gas, or how to eliminate it which leads to degradation of the LFG. I have learned how to use this renewable energy source. I approached the design automation of gas transmission as well as the related principles and parameters of measurement and control equipment featured in the automation.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] STRAKA, F. a kol.: *Bioplyn – příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů*. Praha: GAS s.r.o., 2006, 706 s, ISBN 80-7328-090-6
- [2] PASTOREK, Zdeněk. Bioplyn – užitečný zdroj energie nebo riskantní způsob podnikání. *Biom* [online]. [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-uzitecny-zdroj-energie-nebo-riskantni-zpusob-podnikani>
- [3] STRAKA, František. Využívání skládkového plynu. *Biom* [online]. 2010 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyuzivani-skladkoveho-plynu>
- [4] STRAKA, František a Jiří DOUCHA. Nové možnosti energetického využití bioplynu. *Biom* [online]. 2011 [cit. 2013-05-26]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-moznosti-energetickeho-vyuziti-bioplynu>
- [5] *Bioplyn jako palivo kogeneračních jednotek* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://kogenerace.tedom.com/bioplyn.html>
- [6] Doc. Ing. JOSEF, Jenčík, CSc. Principy měření průtoku a množství tekutin. *Automa* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=28336
- [7] VOJÁČEK, Antonín. Principy analyzátorů plynů. [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://jonatan.spse.pilsedu.cz/~mazanec/principy_analyzatoru_plynu.htm
- [8] Skládkový plyn: VYUŽITÍ SKLÁDKOVÉHO PLYNU PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE. *Biomass Technology* [online]. 2009. vyd. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://biomasstechnology.cz/wp/?page_id=239
- [9] Zemní plyn: Převaha a uskladnění. *Zemní plyn* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.zemniplyn.cz/doprava/>

- [10] Provozní analyzátory plynů. *Automa* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33683
- [11] Analyzátory plynů a kapalin. *Kvetakov* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.kvetakov.net/down.php?file=./UEIKMT/2/Is/ISAME/MTVKap9.pdf>
- [12] Proudění tekutin. *Tehmania Edutorium* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?xkat=fyzika&xser=4d656368616e696b61h&key=281
- [13] VYBÍRAL, Bohumil. Mechanika ideálních plynů. [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://fyzikalniolympiada.cz/texty/plyny.pdf>
- [14] PE tlakové vodovodní a kanalizační potrubí. *Tiu.cz* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.tiu.cz/clanky/2345799102/pe-tlakove-vodovodni-a-kanalizacni-potrubni.html>
- [15] Zabudování a ověřování tlakoměrů. *E-automatizace.cz* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.e-automatizace.cz/ebooks/mmv/tlak/talk_zabudovani_tlakomeru.htm
- [16] Dmyhadla/vývěvy. *Bazenshop.cz* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.bazenshop.cz/detail.php?znacka=&kategorie=&skupina=&typ_hledani=&from_site=vyhledej-ft&kod_produkту=RT%204026&kod_skupiny=0380810200&query=Dmyhadlo%2Fv%FDv%ECva&PHPSESSID=bazenshop518831cdc2b1c&strana=1
- [17] BD Sensors Ceník 2012. *BD Sensors: Tlakoměrná technika* [online]. 2012 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://marcomplet.cz/docs/bd/BD_cenik_2012.pdf
- [18] Technické parametry - XMP i. *BD Sensors Tlakoměrná technika* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z:

- http://www.bdsensors.cz/fileadmin/user_upload/Download/Datenblaetter_datasheets/XMP_i_CS.pdf
- [19] Technické parametry - XMP i: detail produktu. *BD Sensors Tlakoměrná technika* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.bdsensors.cz/tlak/snimace-tlaku/detail/produkt/xmp-i/>
- [20] Analyzátoři plynů: Oxygen transmitter. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <https://www.mysick.com/eCat.aspx?go=DataSheet&Cat=Row&At=Fa&Cult=Czech&ProductID=50632&Category=Produktfinder>
- [21] TRANSIC100LP. *SICK: Sensor Intelligence* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.sick.com/us1/en-us/home/products/product_portfolio/Documents/SICK_TRANSIC100LP_Product%20Information.pdf
- [22] Straightway Control Valves Model BR 55.440 Premio. *Alfredmeyer* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.alfredmeyer.com/pdf/Stellventil55440.pdf>
- [23] Ceník Alfredmeyer. *Alfredmeyer* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.alfredmeyer.com/pdf/Meyer_Preisliste16.pdf
- [24] Jednostupňová dmychadla / vývěvy. *In-eco.cz* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.in-eco.cz/dmychadla/s-postrannim-kanalem-inw/inw_jednostupnova/
- [25] Tlakoměry (manometry), pojistné ventily, zpětné klapky Pro dmychadla. *In-eco.cz* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.in-eco.cz/prislusenstvi/tlakomery-pojistne-ventily-zpetne-klapky/>
- [26] Rosemount 3051ST: Snímače relativního a absolutního tlaku. *Jsp.cz* [online]. 2013 [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.jsp.cz/files/d0667cpcz.pdf>
- [27] Extraktivní analyzátor plynů OXYMAT 6: Analýza: Kyslík. *Siemens* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z:

<http://stest1.etnetera.cz/ad/current/index.php?vw=0&ctxnh=16d135754f&ctxp=home>

- [28] PLC Hardware - Siemens: OXYMAT 6. *PLC Hardware* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: <http://www.plchardware.com/Products.aspx?Catalog=Catalog&ProductID=SM-7MB2021-%2e%2e%2e%2e%2e-%2e%2e%2e%2e&cat=93/5407610/5407614>
- [29] PLUHAŘ a HAVLÍK. Analyzátoři plynů. *Siemens* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: [https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/industry/IADT/tia_na_dosah/Documents/01-TIA-2012-PA-04-2%20\[Compatibility%20Mode\].pdf](https://www.cee.siemens.com/web/cz/cz/corporate/portal/home/industry/IADT/tia_na_dosah/Documents/01-TIA-2012-PA-04-2%20[Compatibility%20Mode].pdf)
- [30] Provozní analyzátoři plynů. *Automa* [online]. [cit. 2013-05-27]. Dostupné z: http://www.odbornecasopisy.cz/index.php?id_document=33683
- [31] VOJÁČEK, Antonín. Proudová smyčka 4-20mA. *Automatizace.hw.cz: rady a poslední novinky z oboru* [online]. [cit. 2013-06-05]. Dostupné z: <http://automatizace.hw.cz/clanek/2005112901>
- [32] NEBORÁK, Ivo a Václav SLÁDEČEK. ELEKTRICKÉ POHONY pro kombinované a distanční studium. [online]. Ostrava, 2004 [cit. 2013-06-08]. Dostupné z: http://homen.vsb.cz/~vac174/vyuka/EP%20PEZ+USP/Studijni_opory/Elektricke_pohony.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LFG	Landfill Gas (skládkový plyn).	
KO	Komunální odpady.	
BRKO	Biologicky rozložitelné odpady.	
SNG	Synthetic Natural Gas (úmělý (náhradní) zemní plyn)	
HDPE	High Density Polyethylene (vysokohustotní polyethylen)	
SDR	Standard Dimension Ratio (standardní rozměrový poměr)	
PE	Polyethylen	
IR	Infrared	
ČNB	Česká národní banka	
Q_v	Objemový průtok	[m ³ /s]
Q_m	Hmotnostní průtok	[kg/s]
V	Objem	[m ³]
t	Čas	[s]
m	Hmotnost	[kg]
ρ	Hustota	[kg/m ³]
w	Střední rychlost proudění	[m/s]
S	Průtočný průřez	[m ²]
P_L	Podtlak na výstupu	[Pa]
P_S	Střední přetlak plynu ve skládce	[Pa]
L	Délka úseku perforovaného potrubí	[m]
D	Průměr potrubí (vnitřní)	[m]
O_0	Vstupní průtok plynu	[m ³ /h]
Q_L	Výstupní průtok plynu	[m ³ /h]
σ	Porozita trubky	[m]

K_M	Koeficient propustnosti	[m ²]
P_l	Tlak podél perforovaného potrubí	[Pa]
λ	Vlnová délka	[m]
π	Ludolfovo číslo	[-]
a	Konstanta	[-]
e	Eulerovo číslo	[-]
κ	Poissonova konstanta	[-]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Schéma vzniku bioplynu z biologicky rozložitelných odpadů. [1]	11
Obr. 2 – Pokles reálné kapacity [3].....	14
Obr. 3 – Schéma odplyňovacího systému se smyčkovým propojením. [1].....	19
Obr. 4 – Schéma odplyňovacího systému. [1]	19
Obr. 5 – Perforovaná plynosběrná potrubí. [1].....	21
Obr. 6 – Plynosběrný vrt s horním napojením s teleskopickou hlavou. [1]	23
Obr. 7 – Založení plynosběrné věže. [1].....	24
Obr. 8 – Kogenerační jednotka.	26
Obr. 9 – Schématické znázornění odplyňování skládky odpadů. [5].....	26
Obr. 10 – Měření flux-box technikou. [1]	29
Obr. 11 – Aparatura pro podpovrchovou sondáž. [1]	30
Obr. 12 – Změny ve složení LFG při dlouhodobém čerpání. [1]	32
Obr. 13 – Měřicí můstek tepelně vodivostního senzoru.[10]	33
Obr. 14 – IR analýza plynů – charakteristiky interferenčních filtrů. [11]	34
Obr. 15 – Kondenzační smyčky pro vodorovné a svislé potrubí. [15]	36
Obr. 16 – laminární proudění. [12]	38
Obr. 17 – Turbulentní proudění.[12]	38
Obr. 18 – Situační plán skládky	42
Obr. 19 – Tlakové potrubí (PE). [14].....	42
Obr. 20 – dmychadlo RT 2005L-1 jednofázové. [16]	46
Obr. 21 – pojistný ventil. [25].....	46
Obr. 22 – TRANSIC100LP s přírubou. [21]	47
Obr. 23 – Snímač tlaku XMP i. [18].....	47
Obr. 24 – regulační člen Model BR 55.440 Premio.[23].....	48
Obr. 25 – třífázové dmychadlo INW 51 H06.[24].....	50
Obr. 26 – Analyzátor OXYMAT 6. [27]	51
Obr. 27 – Snímač tlaku Rosemount typ 3051ST.[26].....	51
Obr. 28 – regulační člen Model BR 55.440 Premio.[23].....	52

SEZNAM TABULEK

Tab. 1 – Měrná rychlost tvorby LFG a dostupný elektrický výkon odpadů. [3]	14
Tab. 2 – Parametry nejčastěji používaných HDPE potrubí. [1].....	21
Tab. 3 – Složení plynů ve skládkách odpadů [% obj.]. [1].....	31
Tab. 4 – Průměry potrubí. [14]	43
Tab. 5 – Náklady na návrh automatizace č. 1	49
Tab. 6 – Náklady na návrh automatizace č. 2	52

SEZNAM PŘÍLOH

- P I Komunikace s dodavatelem I
- P II Komunikace s dodavatelem II
- P III Komunikace s dodavatelem III
- P IV CD s Bakalářskou prací ve formátu pdf

PŘÍLOHA P I: KOMUNIKACE S DODAVATELEM I

From: Rainor@seznam.cz

To: sick@sick.cz

Date: 16.05.2013 20:42

Subject: dotaz na cenu

Dobrý den,

chtěl bych se Vás zeptat na cenu analyzátoru TRANSIC100LP a také, jestli je součástí balení sonda pro měření, nebo jestli je nutné ji dokoupit.

Děkuji.

Michal Rejzek (Michal.Rejzek@sick.cz)

Fw: dotaz na cenu

17. 5. 2013, 9:03:05

Komu: Rainor@seznam.cz

Dobry den,

sonda je soucasti baleni.

Cena se pohybyje kolem 5tis EUR.

Pro presne naceneni mam samozrejme malo informaci o aplikaci.

V pripade potreby o dalsi informace se na me nevahejte obratit.

S pozdravem

Michal Rejzek

Sales Engineer - Process Automation

PŘÍLOHA P II: KOMUNIKACE S DODAVATELEM II

From: Rainor@seznam.cz

Sent: Saturday, May 18, 2013 8:32 PM

To: jsp@jsp.cz

Subject: dotaz na cenu

Dobry den,

chtěl bych se zeptat na odhadovanou cenu snímač tlaku typu 3051S s parametry:

- snímání relativního tlaků (kód TG)
- v rozsahu 27,58 kPa (kód 3A)
- materiálové provedení: nerezová ocel (kód 2)
- výstupní signál: Wireless (kód X)

Děkuji. Přeji příjemný den.

Antonín Vitvar (antonin.vitvar@jsp.cz)

RE: dotaz na cenu

20. 5. 2013, 10:42:23

Komu: Rainor@seznam.cz

Dobrý den,

děkujeme Vám za zájem o spolupráci s naší firmou.

Informativní nabídka JSP Z734019:

Cena 103.498,- Kč/ks bez DPH

PŘÍLOHA P III: KOMUNIKACE S DODAVATELEM III

From: Rainor@seznam.cz

Sent: Saturday, May 18, 2013 5:21 PM

To: info@in-eco.sk

Subject: dotaz na cenu

Dobrý den,

chtěl bych se zeptat na cenu dmychadla typ INW 51 H06 a zda je zde možná regulace nasávaného množství plynu.

Děkuji.

Petra Mihoková - IN-ECO spol. s r.o. (mihokova@in-eco.sk)

Cenová ponuka

21. 5. 2013, 11:14:06

Komu: Rainor@seznam.cz

Dobrý deň p. Rainor,

V prílohe Vám posielam našu cenovú ponuku na model INW 51 H06 a voliteľné príslušenstvo. V prípade otázok nás, prosím, kontaktujte.

Čo sa týka regulácie, dá sa to riešiť pomocou poistného ventilu.

S pozdravom

Ing. Petra Mihoková_back office manager

Názov tovaru	Cena za jednotku	Zľava [%]	Cena celkom po zľave	Dostupnosť
INW dúchadlo				
INW 51 H06; 1,1 kW	622,50	-5	591,38	Skladom
Voliteľné príslušenstvo				
Filter FA.4060; 2"	84,71	-5	80,47	Skladom
Poistný ventil PVD	33,00	-5	31,35	Skladom