

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroenvironmentální chemie a výživy rostlin



**Využití skládkového plynu na malých skládkách pomocí
technologie GasBox**

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Neumann

Obor studia: Veřejná správa v zemědělství a krajině

Vedoucí práce: doc. Ing. Aleš Hanč, Ph.D.

Konzultant: Ing. Pavel Novák

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Využití skládkového plynu na malých skládkách pomocí technologie GasBox" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce, konzultanta a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 21. 4. 2017

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Pavlu Novákovi za odborný dohled a poskytnutí podkladů a materiálů k této bakalářské práci. Dále bych chtěl poděkovat doc. Ing. Aleši Hančovi, Ph.D. za odborný dohled a korekci této bakalářské práce.

Využití skládkového plynu na malých skládkách pomocí technologie GasBox

Souhrn

Náplní bakalářské práce je posouzení vhodnosti použití technologie GasBox na skládkách komunálního odpadu a literární rešerši stavu problematiky vzniku skládkových plynů. Úvodní část práce je zaměřena na definici skládkového plynu, na procesy vedoucí ke vzniku skládkových plynů, migraci skládkového plynu ze skládky, na možnosti využívání skládkového plynu ze skládek odpadů a obecné zhodnocení informací z dostupné rešerše předmětné literatury. Použití technologie GasBox na skládkách přináší mnohé výhody jako jsou například nižší nároky na údržbu (pouze jednou ročně) a s tím související vysoká spolehlivost. Nespornou výhodou GasBoxu je nenáročnost na kvalitu paliva. Stačí, aby skládkový plyn měl pouze 18 % obj. metanu. Tichý provoz umožňuje instalaci této technologie i v blízkosti budovy, aniž by tato technologie rušila její obyvatele. Tato technologie navíc umožňuje využívat vyrobenou elektrickou energii a zároveň teplo. Dlouhá životnost této technologie umožňuje dlouhodobé využívání ekonomických výhod z toho plynoucích. Úkolem této práce je za pomoci modelu v softwaru Microsoft Excel definování kritérií ke zjištění počtu vhodných skládek a ekonomické vyhodnocení použitelnosti technologie GasBox na skládkách odpadů v ČR. Navržené metody a postupy mohou být využity do budoucna jako metodika pro definování vhodnosti využití skládkového plynu použitím technologie GasBox na konkrétní skládce komunálních odpadů. Závěrem jsou shrnuty výsledky použitelnosti technologie GasBox na skládkách v ČR.

Klíčová slova: skládky, skládkový plyn, čerpání plynu, technologie, metan

Use of landfill gas at small landfills using GasBox technology

Summary

The content of the thesis is to evaluate the suitability of using technology GasBox at landfills and literature review status issues of landfill gas. The introductory part is focused on the definition of landfill gas to the processes leading to the formation of landfill gas migration of landfill gas from the landfill to the possibility of using landfill gas from landfills and general assessment of the information available research literature in question. Using a GasBox in landfills brings many advantages such as lower maintenance (once a year) and the related high reliability. The indisputable advantage of the GasBox is a low demand for fuel quality. Just to landfill gas had only 18 vol.% methane. Quiet operation allows the installation of this technology in the vicinity of the building without disturbing its inhabitants. This technology also allows use of the electricity produced, while heat. Long life to this technology enables the use of long-term economic benefits arising from it. The goal of this work is using the model in Microsoft Excel defining criteria to determine the appropriate number of landfills and economic evaluation of the application of technology GasBox to landfills in the Czech Republic. Proposed methods and procedures may be used in the future as the methodology for defining the suitability of using landfill gas technology GasBox on specific municipal waste landfill. Finally, we summarize the results of application of technology GasBox in landfills in the Czech Republic.

Keywords: landfill, landfill gas, pumping gas, technology, methane

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce	2
3	Literární přehled současného stavu problematiky	3
3.1	Skládkový plyn a jeho tvorba.....	3
3.1.1	Základní údaje o procesu	4
3.1.2	Specifické podmínky vzniku bioplynu ve skládkách	4
3.2	Migrace skládkových plynů	5
3.3	Experimentální metody pro sledování tvorby a migrace skládkových plynů	6
3.4	Možnosti využití skládkového plynu	9
3.5	Přehled technologií využití skládkového plynu	10
3.5.1	Odstraňování na biofiltrech	11
3.5.2	Přímé spalování.....	11
	SWOT analýza přímého spalování	11
3.5.3	Kogenerace	12
	Použití 13	
	Stirlingův motor.....	14
3.5.4	Technologie GasBox.....	16
	SWOT analýza technologie GasBox	19
3.5.5	Trigenerace	19
	SWOT analýza trigenerace	20
3.5.6	Využití jako palivo pro automobily	20
3.6	Čištění skládkového plynu.....	21
3.7	Legislativa odpadového hospodářství a obnovitelných zdrojů energie se zaměřením na skládkování a skládkový plyn.....	22
4	Zhodnocení podkladových údajů	24
5	Vlastní projekt.....	25
5.1	Skládky v ČR (geografický a statistický přehled).....	25
	Přehled současného stavu	26
5.2	Doplnění informací o skládkách – reálný stav	28
5.3	Vyhodnocení skládek vhodných z hlediska stávajícího využití plynu a velikosti	30
5.3.1	Zúžení databáze skládek podle aktuálního využití plynu	30
5.3.2	Zúžení databáze podle velikosti, respektive potenciálu produkce plynu..	30
5.3.3	Zúžení databáze podle množství produkce skládkového plynu < 8 m ³ /hod. v roce 2030	30

5.4	Doplnění údajů o využitelnosti tepla z kogenerace na prioritizovaných skládkách	31
5.5	Přehled skládek s možností využití tepla, shrnutí dat z průzkumu.....	32
5.6	Ekonomické vyhodnocení využití technologie GasBox.....	32
6	Diskuse	34
7	Závěr.....	36
8	Seznam literatury	37
9	Seznam použitých zkratk a symbolů	40
10	Samostatné přílohy	40

1 Úvod

Každá skládka odpadů má dle platné legislativy ČR povinnost se skládkovým nakládat. Na malých skládkách i na některých středních skládkách není skládkový plyn v ČR zpravidla využíván a musí se nákladně bez efektu spalovat ve flérách, nebo odstraňovat v biofiltrech. Fléry vyžadují průběžný dohled a servis, což je spojeno s přímými náklady. Odstraňování na biofiltrech spočívá ve filtrování skládkového plynu přes vrstvu bioaktivní výplně, ve které se za působení metanotrofů a methyloτροφů účinně odbourá metan. To je sice relativně bezobslužná činnost, avšak biofiltr se postupně vyčerpává a je třeba sledovat jeho účinnost a podle potřeby měnit jeho náplň, což je rovněž spojeno s náklady, stejně jako pravidelný monitoring biofiltru. Smysluplnější z hlediska rizik a nákladů tedy může být produkovaný skládkový plyn využít a také pro tento účel byla vyvinuta švédskou společností Cleanergy technologie GasBox. Tato technologie byla použita v řadě zemí Evropské unie (nejhojněji je tato technologie rozšířena v Německu, Švédsku a Norsku). Instalováno bylo po celém světě 20 zařízení GasBox.

Řada skládek, využívajících skládkový plyn, se také potýká s jeho zhoršující se kvalitou a snižující se produkcí, což snižuje či nakonec znemožňuje efektivní nasazení klasických spalovacích motorů pro využití skládkového plynu. Malé pístové motory jsou relativně drahé na údržbu a provozně nespolehlivé jako zdroj tepla. Technologie GasBox, přináší nový pohled na další využitelnost plynu také z těchto skládek. Tato technologie dokáže produkovat energii i při malém množství či nízké kvalitě plynu.

2 Cíl práce

Cílem bakalářské práce je shrnout základní údaje o tvorbě skládkového plynu a jeho energetickém využití, ověřit možnosti využití technologie GasBox v podmínkách skládek České republiky, stanovení kritérií a podmínek vedoucích k počtu potenciálních skládek, vhodných pro použití technologie GasBox. Cílem této práce je také výpočet ekonomické výhodnosti a návratnosti při pořízení této technologie a najít odpovědi na počátku definované hypotézy.

Hypotéza č. 1:

V ČR existují skládky, u nichž by bylo možno s využitím inovativní technologie GasBox využít energii skládkového plynu namísto jeho spalování, nebo biologického odbourávání bez využití.

Hypotéza č. 2:

Ekonomické využití technologie GasBox pro zpracování skládkového plynu je v podmínkách ČR možné.

3 Literární přehled současného stavu problematiky

3.1 Skládkový plyn a jeho tvorba

Skládkový plyn (angl. Landfill Gas – LFG) vzniká na skládkách ostatních odpadů. Skládkový plyn je většinou třísloužkovou směsí CH₄, CO₂, N₂ s možným nárůstem O₂ a výjimečně i H₂. Typické příklady složení plynů v různých vývojových stavech skládkového tělesa jsou uvedeny v tabulce 1. Tato tabulka ukazuje změny složení plynu, pokud je jímán s příliš velkou rychlostí a do systému odplynění je přísáván vzduch (Straka a kol., 2006).

	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 (skládká přetížena odsáváním)	47	33	0	20	0
Skládká dlouhodobě přetížena, systém odplynění aerobizován	40	27	3	30	0

Tab. 1: Složení plynů ve skládkách odpadů [% obj.] jako příklady různých stavů tělesa (Straka, 2006)

Metan (CH₄) je hlavní složkou skládkového plynu (LFG), produkovaný z anaerobního rozkladu tuhého komunálního odpadu (TKO) a představuje jeden z nejdůležitějších antropogenních zdrojů emisí skleníkových plynů (Fecil et al., 2003; Raco et al., 2006; Aronica et al., 2009). Díky heterogenitě složení odpadu i na povrchu skládky jsou emise skládkových plynů přes povrch skládky nepravidelně rozprostřeny po tělese skládky (Cossu and Muntoni, 1997; Mosher et al., 1996; Fecil et al., 2003). Kromě toho mohou mít další faktory vliv na nepravidelnost množství tvorby plynu, včetně meteorologických podmínek a sezónní změny teploty (Czepiel et al., 2003; Barbaro et al., 2009).

Tuhý komunálního odpadu obecně zahrnuje materiály odbouratelné (papír, textil, potravinářský odpad, sláma a zahradní odpad), částečně odbouratelné (dřevo, jednorázové ubrousky a kal) a nerozložitelné (kůže, plasty, pryže, kovy, sklo, popílek ze spalování paliv a elektronický odpad). Obecně TKO je sbírán z ulic a likvidován na skládkách (Jha et al., 2008).

3.1.1 Základní údaje o procesu

Proces, při kterém anaerobní mikroorganismy rozkládají organické látky za tvorby metanu, se někdy také označuje obecným pojmem „**metanizace**“.

Anaerobní rozklad organických látek vyžaduje koordinovanou metabolickou součinnost různých mikrobiálních skupin a podle nich je možno tento proces rozdělit na následující čtyři fáze:

- **Hydrolýza** je rozklad makromolekulárních rozpuštěných a nerozpuštěných organických látek (polysacharidů, lipidů, proteinů) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů (hydroláz).
- **Acidogeneze** je další rozklad produktů hydrolýzy na jednoduché organické látky, hlavně na nižší mastné kyseliny, alkoholy, CO_2 a H_2 pomocí acidogenních bakterií.
- **Acetogeneze** je tvorba kyseliny octové, vodíku a CO_2 z produktů předchozích fází acetogenními bakteriemi produkujícími vodík, dále tvorba kyseliny octové a CO_2 homoacetogenními bakteriemi.
- **Metanogeneze** je tvorba metanu acetotrofními metanogenními bakteriemi z kyseliny octové a z jednoduhlíkatých substrátů, taktéž tvorba metanu hydrogenotrofními metanogenními bakteriemi z CO_2 a H_2 .

Uvedené fáze procesu jsou následné, při kontinuálním provozu však probíhají současně (Straka a kol., 2006).

3.1.2 Specifické podmínky vzniku bioplynu ve skládkách

Produkce LFG je ovlivněna především morfologickým složením a množstvím uloženého odpadu (Boškovi et al., 2016).

Metanizační procesy vznikají zcela samovolně, avšak jejich vznik na skládkách není samozřejmým jevem. K tomu, aby se ve skládce započal vyvíjet bioplyn je nutno, aby byly splněny veškeré následující podmínky bez výjimek:

1. Do skládky nesmí mít přístup kyslík.

Skládka tedy musí být dostatečně hluboká, hutněná a vzduch do ní nesmí vnikat ani žádnými drenážemi.

2. Odpad musí být dostatečně vlhký.

Požadavek vlhkosti (tj. přítomnosti vody) je minimálně stejně důležitý jako nepřítomnost kyslíku. V prostředích s nedostatečnou vlhkostí nemohou anaerobní rozkladné procesy vůbec probíhat, a dokonce i započaté metanizační pochody se při ztrátě vlhkosti zastavují.

3. Odpad nesmí obsahovat pro bakterie toxické anebo inhibující látky.

Například dřevní odpad ošetřený proti plísním a hnilobě je jen velmi obtížně rozložitelný. (Straka a kol., 2006)

3.2 Migrace skládkových plynů

Podstatné množství metanu je produkováno odpadem rozpadajícím se na skládkách. Toto je pomalý proces, metan je emitován 25 i více let po navážce odpadu. Metan je druhý nejdůležitější antropogenní skleníkový plyn. Redukční emisní cíle jsou často formulovány ve vztahu k roku 1990. To znamená, že data o odpadech, sahající až do roku 1965, je potřeba odhadnout z emisí metanu ze skládky v roce 1990 (Lyons et al., 2010).

Pro posuzování pohybu plynu uvnitř tělesa i směrem ven jsou zásadními tyto skutečnosti:

1) Skládka je porézní prostředí

Porozita skládky je obecně velmi vysoká a rozhodně ji nelze dobře definovat ve smyslu fyzikálně chemického hodnocení difúzních procesů. Skládka obsahuje několik zásadních skupin „pórů“, pokud takto obecně označíme volné objemy uvnitř tuhé fáze odpadů jako celku:

I – mikro, mezo a makropóry uložených materiálů (vnitřní struktura dřeva, popela, vláken i kompaktních výrobků)

II – vnitřní volné prostory nepřístupné anebo omezeně přístupné volné výměně plynů či kapalin, hlavně volné vnitřní prostory uzavřených či dobře stlačených obalů (např. nepoškozené uzavřené plastové i skleněné nádoby, sprejové kontejnery atd.)

III – volné meziodpadové prostory přístupné k volné výměně plynů či kapalin

2) Plyn se stále vytváří v celém objemu tělesa skládky,

což je skutečnost podstatná, nezvratná, avšak diskutovatelná z hledisek interpretace. Odpady uložené dříve (spodní vrstvy) jsou ve svém rozkladu pokročilejší než vrstvy mladší a měly by tudíž produkovat plyn již s odlišnou intenzitou. Zde však hrají roli i další faktory:

- nedostatek vlhkosti může výrazně zpomalit rozběh rozkladu starších odpadů
- metanogenním procesům předchází fáze acidogenních pochodů, která rovněž může být výrazně ovlivněna vlhkostí odpadu
- po nárůstu biologické aktivity v tělese skládky, spojeném s rostoucí tvorbou plynů, začne docházet i k nerovnoměrné distribuci vody spojené s její retencí ve výše položených vrstvách, kde vznikají lepší podmínky pro průběh rozkladu
- nehomogenity tělesa mohou způsobit i značné lokální rozdíly v rozvoji biologických procesů (omezení transportu vody, lokální intoxikace tělesa, lokální zředění odpadů inertem apod.)

3) Pohyb plynů výrazně ovlivňován barometrickým tlakem

Skládka odpadů jako makrosystém je pochopitelně ovlivňována svými okolím. Srážková voda hraje klíčovou roli při rozvoji biologických procesů, ovšem sledujeme-li chování již vzniklých plynů, potom významnějšími vlivy musí být teplota a tlak. Teplota okolí však na procesy, uzavřené v anaerobních podmínkách v tělese skládky, má jen malý vliv (pochopitelně pokud jde od dostatečně hluboká tělesa). Rozkladné procesy probíhají v takových hloubkách, že sezónní změny teploty povrchu je významně neovlivňují. Na rozdíl od změn teploty je však po celý rok nutno počítat s vlivy měnícího se barometrického tlaku. Ten sice není u většiny těles schopen ovlivnit procesy již probíhající tvorby plynu (pokud nejde o skládky příliš mělké, porézní, popraskané, či volně ventilované drenážemi), avšak výrazně ovlivňuje okamžité migrační rychlosti. (Straka a kol., 2006)

3.3 Experimentální metody pro sledování tvorby a migrace skládkových plynů

Metody vhodné pro experimentální sledování migrací a emisí skládkových plynů lze rozdělit podle místa a způsobu odběru vzorků na měření (Straka a kol., 2006):

- nadpovrchová
- povrchová
- podpovrchová (do hloubek nepřesahujících cca 2 m)
- na vrtech a sondách (statická)
- na vrtech a sondách (výtoková)
- čerpací testy

Nejčastěji se povrchová migrace skládkových plynů provádí tzv. „flux-box“ metodou. Přenosným vzorkovacím zařízením se snímají vzorky plynů z povrchu skládky. Měření na zárazných sondách se provádí na trubkových zárazných sondách z hloubek cca 2 m. Zárazná sonda má otvory pro odběr plynu jen v dolní části za hrotem. Plyn je ze sondy nasáván membránovým čerpadlem. Čerpací testy se provádějí na minimálně 3 vrtech shodného typu jako jsou užívány pro běžné provozní čerpání plynu. (Straka, 1991)

Poháněn atmosférickým kolísání tlaku se směr proudění plynu obrátí v průměru více než jednou denně u zkoumaného pasivně odvětrávaného místa skládky. Reakce vývoje plynu na změny atmosférického tlaku i pod 1 hPa je okamžitá a vysoce citlivá, což má za následek velmi vysokou variabilitu úniků (v obou směrech) a koncentraci metanu ze skládkového plynu. Odpovídajícím způsobem je biofiltr napojen na odvětrávací systém skládky, který přijímá variabilní množství metanu. Gradienty atmosférického tlaku vyvolané autooscilací vzduchu jsou obvykle příliš malé na obrácení směru migrace plynu (Gebert and Groengroeft, 2006).

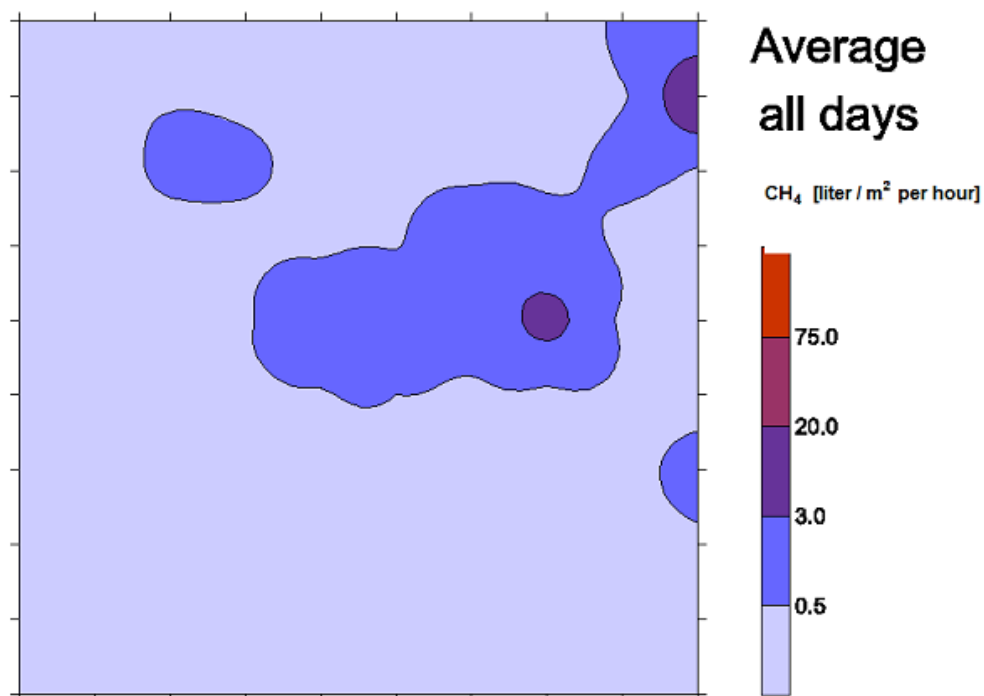
Model optimalizace účinnosti shromažďování skládkového plynu z čerpacích jímek byl vyvinut pro zvýšení opakovaného použití metanu. Dlouhodobý monitorovací test území skládky byl proveden pro posouzení čerpacích jímek v rámci konstrukčních metod, předpovídané samostatným modelem a optimalizačním modelem. Výsledky monitoringu ukazují, že účinnost jímání plynu používaným optimalizačním modelem byla mnohem vyšší než používáním samostatného modelu. Optimalizační metody by mohly být použity k vytvoření projektu získávání metanu čerpacími jímkami. Také by mělo být vytvořeno mnohem více monitorovacích údajů na základě dlouhodobého testování území. (Qiang and Lei, 2013)

Flux box je účinná technika pro měření povrchových emisí prostřednictvím povrchu skládky. Bogner et al. (1997) nedoporučují jiné přímé metody pro měření emisí metanu na

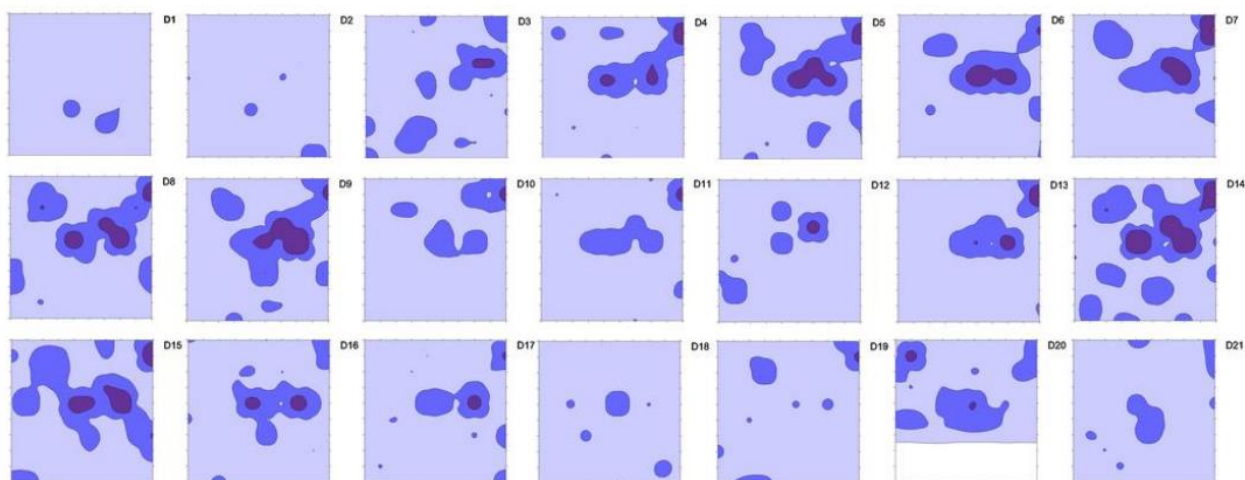
povrchu (jako hloubka / koncentrace profilování), protože zahrnují předpoklady a parametry, které lze jen zřídka změřit odpovídajícím způsobem na ploše. (Bogner et al., 1997)

Pro dobré pochopení nepravidelnosti migrace skládkových plynů jsou uvedeny závěry z měření skládkového plynu, prezentované Novákem a Kovářem (2011) na sympoziu v Itálii.

Novák s Kovářem ve svém článku uvádějí: „Výsledek experimentu je podrobný údaj o vývoji emisí metanu za dané období. Průměrné emise metanu (litr/ m² za hodinu), jsou zobrazeny na obrázku 1. Nicméně, denní situace emisí byla velmi rozmanitá. Na obrázku 2 jsou znázorněny emise z každého jednotlivého dne (měřítka emisí je stejné jako na obrázku 1). Korelace mezi denním barometrickým tlakovým gradientem (rozdíl mezi barometrickým tlakem ve 12 dopoledne v aktuální den a 12 dopoledne v předchozí den) a průměrnými denními emisemi metanu z plochy 10 x 10 m² byl 0,56 u 21denního měření pro prvních 70 emisních bodů a 0,54 pro měření 20-ti denní bez 20. dnu (v den 20 pouze prvních 70 emisních bodů bylo měřeno kvůli extrémně špatnému počasí). To ukazuje přímý vztah mezi emisemi a barometrickým tlakovým gradientem, ale ne funkční závislost. Jiným faktorem, ovlivňujícím okamžité emisní hodnoty, bylo kolísání emisí v důsledku diskontinuálního uvolňování metanu z povrchu skládky. Tento experiment prokázal, že na skládce není nepřetržitý emisní únik plynu v žádném ze vzorkovaných bodů. Výsledky tohoto experimentu ukázaly, že pokud vysoký počet vzorků emisí je převzat z povrchu skládky, měření emisí přímým vzorkování je zbytečné. Je také nutné opakovat měření emisí v různých barometrických tlakových situacích ke zprůměrování chyby, způsobené změnami barometrického gradientu.“ (Novák a Kovář, 2011)



Obr. 1: Průměrné emise metanu z plochy 10 x 10 m po dobu 21 dní (Novák a Kovář, 2011)



Obr. 2: Emise metanu z plochy 10 x 10 m každý den z 21 dní (Novák a Kovář, 2011)

3.4 Možnosti využití skládkového plynu

Skládkový plyn můžeme buď zneškodnit (např. zachycení a odstranění na biofiltru, spalovat bez využití energetického potenciálu) nebo využívat (např. spalovat v motorech či turbínách pro výrobu elektrické energie, tepla).

Využití nebo zneškodnění skládkového plynu závisí na obsahu CH_4 ve skládkovém plynu. Potřebný obsah metanu je:

- 1) pro energetické využití nebo spalování v hořácích musí být obsah metanu větší než 25 % obj.
- 2) pro spalování v hořácích spolu s jiným plynem musí být obsah metanu 15–25 % obj.
- 3) pro čištění plynu má být obsah metanu menší než 25 % obj.

Pokud je obsah metanu ještě nižší, je potřeba volit jiný způsob zneškodnění, např. proces oxidace metanu. (Stachowitz, 2004)

Proces obnovy LFG závisí na různých faktorech včetně místních provozních podmínek, zajišťujících anaerobní a aerobní zplyňování likvidovaného pevného odpadu. To znamená, že experimentálně naměřené a vypočtené výsledky, týkající se koncentrace CH_4 , míry pokrytí LFG a předpokládané elektrické energie, potvrzují potenciál bioplynu pro využití v zařízení na výrobu elektrické energie na skládce „Tsalapitsa“ v Bulharsku. Analýzou získaných dat bylo potvrzeno, že potenciální zdroj tvorby CH_4 v místě vpichu by zajistil využívání zařízení po dobu 25 let. (Ganev et al., 2014)

3.5 Přehled technologií využití skládkového plynu

Zvyšující se zájem o LFG ze skládky vyplývá z jeho potenciální ekonomické dostupnosti pro použití jako palivo. Pro výpočet podílu metanu ve skládkovém plynu musíme znát všechny parametry. Na základě toho lze zvolit správnou technologii. (Qiang and Lei, 2013)

Skládkový plyn můžeme zneškodnit či využít technologie, které jsou schopny energeticky využívat skládkový plyn. Jedná se především o tyto technologie:

- přímé spalování
- kogenerace
- trigenerace
- využití jako paliva pro automobily

Vzhledem k tématu této práce bude nejvíce prostoru věnováno systému kogenerace a technologii GasBox.

3.5.1 Odstraňování na biofiltrech

Zneškodnit skládkový plyn můžeme za pomoci biofiltrů. V případech, kdy je produkce tak nízká, nebo kvalita plynu tak špatná, že nelze stávající produkci smysluplně využít, je plyn, jakožto odpad, pouze zneškodňován. Jako nejefektivnější způsob se v současné době jeví využití biofiltrů (Muntoni, 1997). Bakterie oxidující metan jsou schopny s metanem zachytit např. i benzen, toluen a další uhlovodíky a jejich deriváty. Biofiltrace je nákladově nenáročný proces zneškodňování metanu. Horní část biofiltru je tvořena směsí dřevní štěpky a kompostu. Zajišťuje vlastní biologickou oxidaci metanu. Dolní část filtru, vyplněná nad perforovaným dnem koksem, plní biooxidační úkoly jen sekundárně. Hlavním účelem je zamezení průniku vzduchu do drenážního systému. Biooxidační filtry se zapouštějí do tělesa skládky s různými možnostmi uspořádání a jsou vybaveny i kontrolními body (Straka a kol., 2006).

3.5.2 Přímé spalování

Spalování ve flérách je jednoduchý způsob využití skládkového plynu. Pro toto spalování je zapotřebí minimálně 25 % obj. metanu. Plyn není potřeba upravovat. Spalování probíhá na hořácích. Produktem jsou tyto látky: vodní pára, CO₂ a další minoritní látky. Vzniká pouze teplo, která se dá využít na ohřev užitkové vody, vytápění. (Frost et al., 1997). Spalovací zařízení na skládkový plyn neboli fléry se dělí na fléry otevřené (volné) a fléry uzavřené. Na otevřených flérách hoří plyn volným plamenem nad ústím roury či dýzy. Tato spalovací zařízení obvykle nedosahují dobrých emisních parametrů. Většinou se používají jako nouzová, najížděcí či jinak krátkodobě provozovaná nutná zařízení. Otevřené fléry mohou mít i různé uzpůsobené ochrany proti odfukování plamene větrem. (Straka a kol., 2006)

SWOT analýza přímého spalování

Silné stránky – ekonomická návratnost a výhodnost, nepřetržitý provoz, zkušenosti s výrobou a provozem, rozsáhlá znalost provozu a údržby

Slabé stránky – pokud nevyužijeme vzniklé teplo, je tím pádem nevýhodou absence finančních zisků, jelikož se jedná pouze o zneškodňování skládkového plynu, metan je spalován bez ekonomického zhodnocení

Příležitosti – aplikace na malých skládkách s nepravidelným a malým množstvím plynu horší kvality

Hrozby – náhrada za zisk generující technologie (např. kogenerace), či použití technologie odstraňování na biofiltrech. Hrozbou může být také zpřísnění ekologických limitů pro spalování ve flérách.

3.5.3 Kogenerace

Každý kogenerační zdroj sestává z těchto čtyř základních částí (Krbek a Polesný, 2007):

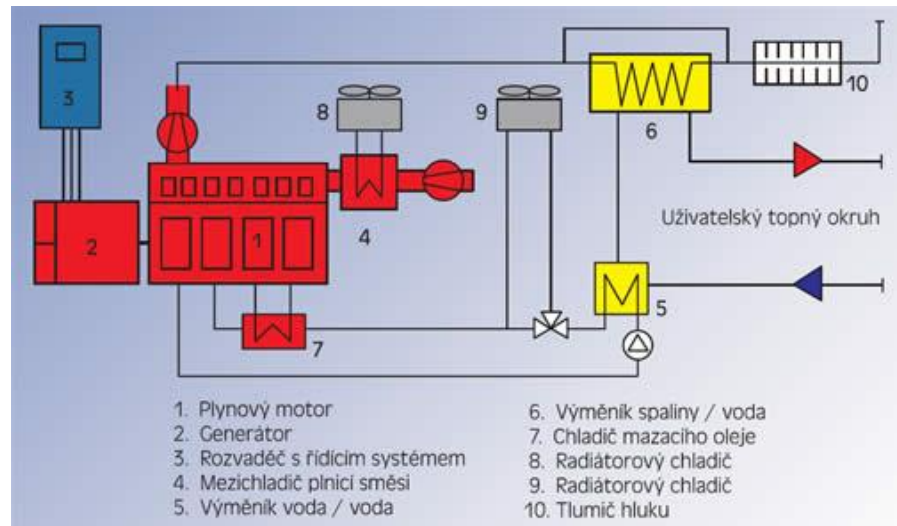
- motoru (pohonné jednotky – např. mikroturbína, spalovací pístový motor, Stirlingův motor)
- elektrického alternátoru vč. zařízení pro připojení na spotřebitelskou a veřejnou síť
- kotle nebo výměníků tepla vč. propojení na tepelné rozvodné sítě
- kontrolního a řídicího systému

Kogenerace je kombinovaná výroba elektrické energie a tepla. Základem je pístový spalovací motor, ve kterém se přeměňuje energie chemická na mechanickou a tepelnou. Z mechanické energie se díky generátoru vyrobí elektrický proud. Odpadní teplo, odváděné ze spalovacího motoru (chladič, výfuk), pak slouží pro vytápění nebo ohřev teplé vody. Účinnost výroby elektrické energie v kogenerační jednotce je 40-50 %. A díky využití tepla, které se při spalování v motoru uvolňuje, a které je prostřednictvím chlazení motoru, oleje a spalin efektivně využíváno, se účinnost kogeneračních jednotek pohybuje v rozmezí 80-90 %. (Walker, 1980)

Běžné kogenerační jednotky mají obvykle relativně malý výkon, desítky až stovky kW elektrického výkonu. Jejich základní částí je obvykle pístový spalovací motor, který pohání generátor proudu. Palivem je nejčastěji zemní plyn, někdy bioplyn nebo skládkový plyn. Palivem může být i dřevoplyn, získávaný v generátoru dřevoplynu.

Kogenerační jednotka se spalovacím motorem se skládá ze zážehového spalovacího motoru, pohánějícího přímo alternátor, vyrábějící elektřinu a výměníků pro využití odpadního tepla z motoru. Odpadní teplo z motoru je odváděno pomocí dvou výměníků na dvou teplotních úrovních. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a z oleje na úrovni 80-90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z odcházejících výfukových spalin o teplotě cca 400-500 °C. Výměníky jsou z hlediska průtoku teplotního média zapojeny do série. Obvykle jsou kogenerační jednotky koncipovány pro dodávku tepla do teplovodního systému 90/70 °C, méně

již do systému 110/85 °C resp. 130/90 °C. Kogenerační jednotky se zážehovými spalovacími motory se dodávají o el. výkonech v rozsahu od cca 20 kW do 5000 kW. Na trhu bohužel chybí nejmenší zařízení pro rodinné domky s tepelným výkonem 5-10 kW. (Walker, 1980)



Obr. 3: Blokové schéma kogenerační jednotky (Walker, 1980)

Malé kogenerační jednotky na bázi plynových motorů patří mezi decentrální zdroje energie. To znamená, že výroba elektřiny a tepla probíhá v blízkosti jejich spotřeby. Tím odpadají ztráty, způsobené přenosem a distribucí elektřiny. Elektřina z kogenerační jednotky se používá pro vlastní spotřebu objektu, v němž je jednotka umístěna, nebo je možno ji dodávat do sítě. Teplo z kogenerační jednotky se využívá k vytápění budov, přípravě teplé užitkové vody nebo technologického tepla. Kogenerační jednotky slouží také jako nouzové zdroje elektrické energie v místech její nepřetržité potřeby (Ekowatt, 2008).

Použití

Z technického hlediska lze kogenerační jednotkou nahradit jakýkoli zdroj tepla (kotel) srovnatelného výkonu. Aby však byla instalace kogenerační jednotky ekonomicky výhodná je potřeba, aby během roku co nejvíce byla v provozu. Tudíž bude pracovat nejefektivněji tam, kde je celoročně stálý odběr tepla. Takovým místem mohou být ubytovací zařízení (hotely, penziony, internáty), bazény, nemocnice a různé průmyslové podniky. Ve větších zařízeních může být kogenerační jednotka pouze částečným zdrojem tepla, který bude během zimních špiček doplněn běžným kotlem.

Vyrobenou elektřinu je možno spotřebovat přímo v objektu (čili na místě), nebo ji prodat do sítě. První způsob je většinou výhodnější, vzhledem k prodejním a výkupním cenám elektřiny garantovaných na dané období. Je ovšem taktéž možné, aby kogenerační jednotka byla jediným zdrojem elektřiny v objektu. Tomuto provozu se říká tzv. ostrovní, bez připojení na síť, ovšem vzrůstají náklady na regulaci. (Ekowatt, 2008)

- Pro návrh kogenerační jednotky je důležité znát (Ekowatt, 2008):
- denní a roční harmonogram spotřeby tepla a elektřiny
- druh požadovaného teplotního média
- dostupnost jednotlivých paliv
- stávající instalovaný výkon kotlů a jejich teplotní a tlakové parametry

Přechod na skládkový plyn může pomoci firmám a obcím snížit svou uhlíkovou stopu a poskytnout ochranu proti kolísání cen na trzích se zemním plynem. Od roku 1999 do roku 2009, se cena zemního plynu pohybovala od méně než 2 \$ za tisíc kubických stop až k 18 \$ za tisíc kubických stop. Nyní se pohybuje průmyslová cena zemního plynu na trzích se zemním plynem okolo 4 \$ za tisíc kubických stop. Přes ekologické a ekonomické přínosy může současná ekonomika ztížit přístup ke kapitálu, potřebného k rozvoji těchto projektů. (Godlove and Singleton, 2010)

Stirlingův motor

Stirlingův motor je tepelný stroj, pracující s cyklickým stlačováním a expanzí vzduchu nebo jiného pracovního plynu. Stlačováním při nízké teplotě pracovního plynu a expanzí při vysoké teplotě pracovního plynu probíhá transformace tepelné energie na mechanickou práci (Walker, 1980; Martini, 1983) Jde o motor s uzavřeným oběhem, s regenerativním ohřevem a se stálou náplní pracovního plynu. Uzavřený pracovní cyklus je definován jako termodynamický systém, ve kterém se s okolím nevyměňuje pracovní plyn, ale jen tepelná energie. Výměna tepla s okolím probíhá přes tepelné výměníky ohříváče a chladiče. Regenerátor je tepelný výměník, který uschovává tepelnou energii v době mezi expanzí a kompresí pracovního plynu. Regenerátor odlišuje Stirlingův motor od ostatních horkovzdušných motorů. Tento motor byl vynalezen v roce 1816 jako konkurence parního stroje. Jeho praktické použití bylo omezeno na nízkovýkonné domácí nasazení. (Finkelstein and Organ, 2001)

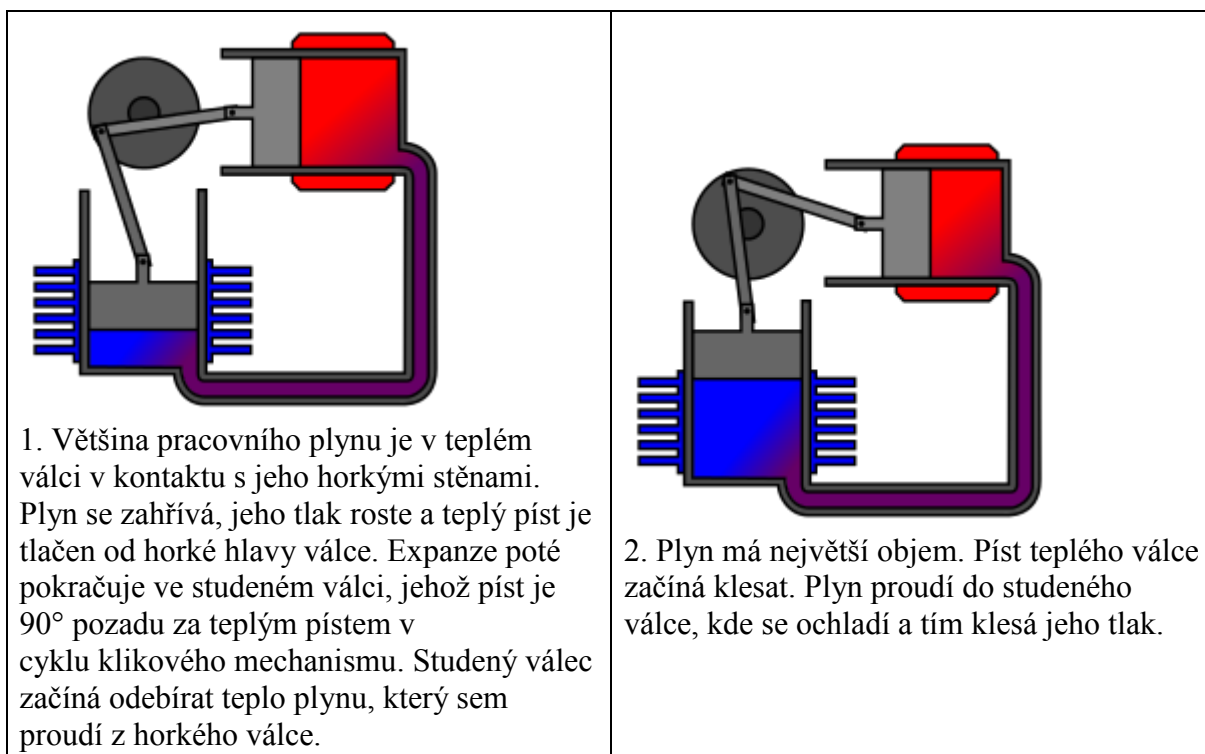
Existují dva hlavní typy Stirlingových strojů. Jsou rozlišeny způsobem, kterým přesunují pracovní plyn mezi teplou a studenou stranou stroje.

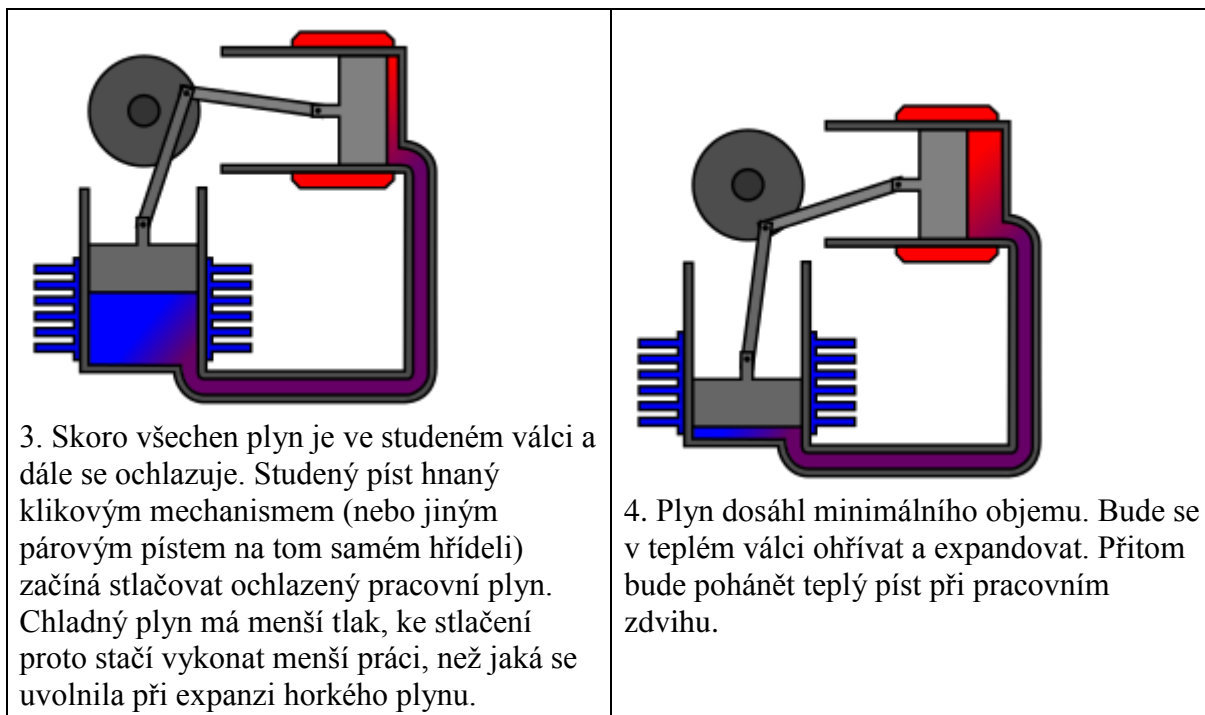
Stroj s dvěma pracovními písty se nazývá alfa konfigurace. Má teplý a studený válec, každý se svým pístem. Pracovní plyn je přesunován z teplého válce do studeného a naopak.

Stroj s přehaněčem se nazývá beta nebo gama konfigurace. Používá oddělený mechanický přehaněč pro přesunování pracovního plynu z teplého prostoru do studeného a naopak. Přehaněč musí být dostatečně velký, aby zajistil účinnou izolaci teplého a studeného prostoru a přesunul dostatek pracovního plynu. (Finkelstein and Organ, 2001)

Stirlingův motor typu Alfa

Alfa Stirling má dva pracovní písty v oddělených válcích. Jeden je teplý a druhý studený. V teplém válci plyn expanduje při vysoké teplotě ohřivače. Ve studeném válci se plyn stlačuje při nízké teplotě chladiče. Tento typ má vysoký poměr výkonu k objemu, ale je zde technický problém s těsněním a mazáním teplého pístu při vysoké teplotě. (Keveney, 2000)





Obr. 4: Schéma Stirlingova motoru typu Alfa

(dostupný z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Stirling%C5%AFv_motor>)

3.5.4 Technologie GasBox

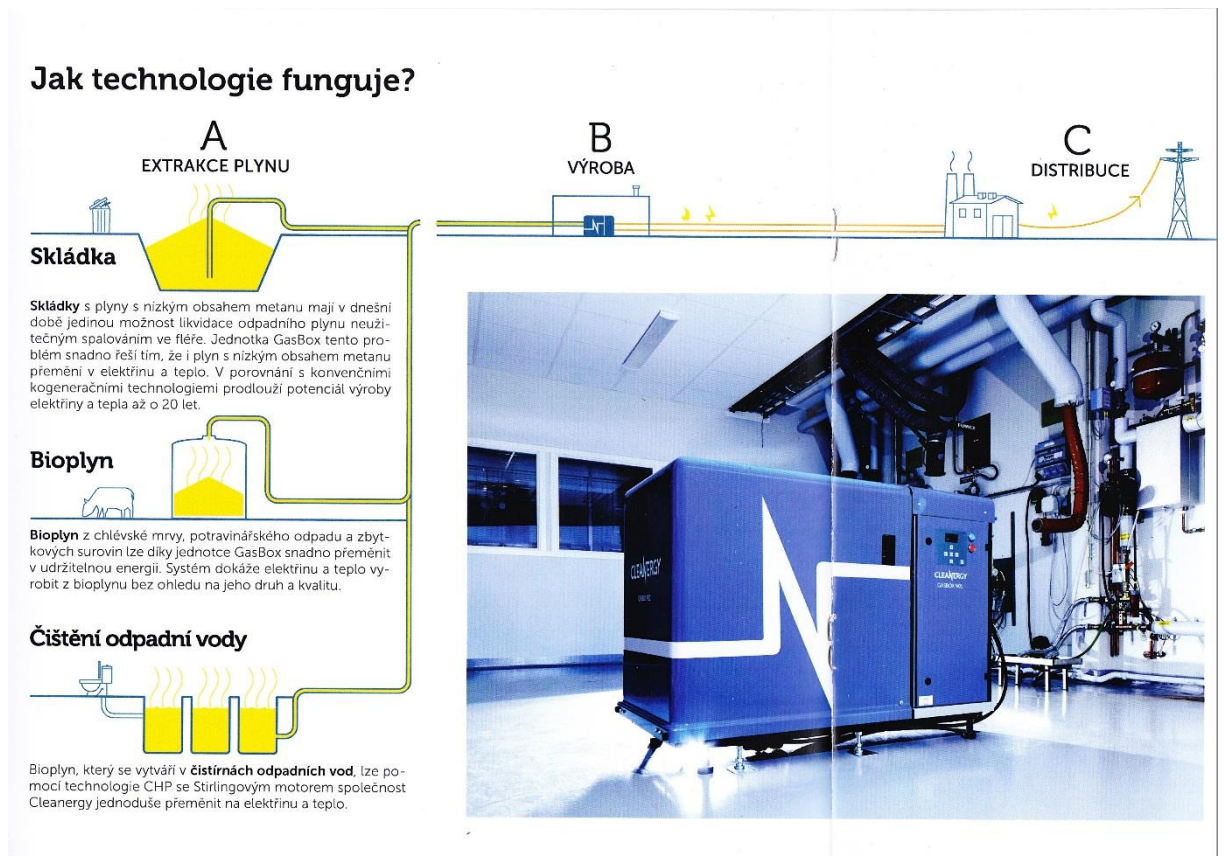
Technologie GasBox pracuje na principu inovovaného Stirlingova motoru. Technologii GasBox vyvinula švédská společnost Cleanergy. GasBox je tepelný stroj, pracující s cyklickým stlačováním a expanzí vzduchu nebo jiného pracovního plynu. Stlačováním při nízké teplotě pracovního plynu a expanzí při vysoké teplotě pracovního plynu probíhá transformace tepelné energie na mechanickou práci. Jde o motor s uzavřeným oběhem, s regenerativním ohřevem a se stálou náplní pracovního plynu. Uzavřený pracovní cyklus je definován jako termodynamický systém, ve kterém není s okolím vyměňován pracovní plyn, ale jen tepelná energie. Výměna tepla s okolím probíhá přes tepelné výměníky ohříváče a chladiče. Spalovací proces a škodliviny, které při tom mohou vzniknout, jsou izolovány od pracovních částí stroje. Bioplyn je tedy v GasBoxu využíván bez dalšího čištění a úpravy. To je podstatný rozdíl oproti spalovacímu motoru, kde teplo vzniká spalováním paliva v pracovním plynu uvnitř stroje. (informační leták společnosti Cleanergy, 2015)

Na těchto vlastnostech je založen výhodný nízkoúdržbový provozní režim zařízení GasBox, které posouvá zdokonalením provedení Stirlingova motoru využití této technologie k novým možnostem. V současnosti zvyšuje jejich význam možnost použití alternativních a obnovitelných zdrojů energie, zvláště v případě použití motoru pro mikrokogeneraci. Ve

srovnání se spalovacím motorem toho samého výkonu mají Stirlingovy motory vyšší pořizovací náklady, jsou obvykle větší a těžší. Nicméně díky jejich nižším nárokům na údržbu jsou celkové náklady na jednotku energie srovnatelné a jejich spolehlivost a vysoké provozní využití přináší u malých výkonů (v řádu desítek kW) výhodu nad použitím spalovacích motorů. Velkou výhodou je dále nenáročnost na kvalitu paliva (od 18 % metanu v bioplynu) a tichý provoz, umožňující umístění v blízkosti nebo dokonce uvnitř budov. To otevírá nové možnosti nad rámec tradičních systémů kombinované výroby tepla a elektřiny. Využití této technologie prodlužuje životnost skládky jako zdroje energie na dobu 20 let a někdy i déle, přitom surový bioplyn je možné použít přímo u zdroje nebo naopak v místě využití energie a tepla. (informační leták společnosti Cleanergy, 2015)

Při navrhování Stirlingova kogeneračního systému bylo myšleno na venkovní a vnitřní umístění boxu. GasBox je autonomní a flexibilní jednotka Stirlingova motoru (alfa typ Stirlingova motoru). Kompaktní provedení stroje je formou opláštěného boxu, který obsahuje motor, generátor, výměník tepla i řídicí jednotku. Řídicí systém umožňuje správu napájení v reálném čase se vzdáleným přístupem. Celý stroj je ve venkovním prostředí vhodné umístit do kontejneru, kde může pracovat jedna nebo současně více zapojených jednotek. Tepelné a elektrické připojení k domu/závodu/skladu je s volitelnou možností zapojení do elektrické sítě nebo provozem v ostrovním režimu. Výkon je omezen na 9 kW na jednotku zařízení GasBox. Tepelná energie na výstupu je 8–26 kW. Například je-li na vstupu bioplyn s obsahem metanu 30 %, dosahuje při průtoku vody 1,5 m³/h teplota vody na výstupu 50 °C a výroba 7 kW elektrické energie. (informační leták společnosti Cleanergy, 2015)

Technologii GasBox lze využít i mimo aplikace pro odpadové hospodářství. Například pro zpracování bioplynu z ČOV nebo pro kogeneraci elektřiny a tepla ze zemního plynu pro ostrovní provoz důležitých zařízení. U 20 % všech světových skládek je plyn spalován ve flérách a dochází tak ke zvyšování rizika možných sankcí za nesprávné nakládání s plynem. Technologie GasBox využije veškerý potenciál, který se v bioplynu skrývá, místo spálení plynu dojde k výrobě tepla či elektřiny, ze které pak mohou být například napájeny budovy na skládce. Tato technologie se po rozsáhlém vývoji a ověřování v současnosti nově zavádí a má globálně teprve první desítky aplikací. Lze tedy očekávat, že v blízké budoucnosti o ní uslyšíme více. V České republice by mohla být řešením pro využití plynu na několika desítkách skládek. (informační leták společnosti Cleanergy, 2015)



Obr. 5: Schéma fungování technologie v praxi (informační leták společnosti Cleanergy, 2015)

Specifikace technologie GasBox pro bioplyn:

Typ Stirlingova motoru: Stirlingův motor typu Alfa

Pracovní plyn: Helium

Elektrický výkon: 2-9 kW

Tepelný výkon: 8-26 kW

Elektrická účinnost: 25 %

Celková účinnost: 95 %

Předpokládaná životnost: 25 let

Rozpětí obsahu metanu: 40-100 %

Spalovací systém: Bezplamenné spalování

Regulace spalování: Lambda sonda

Požadavek na tlak plynného paliva: 50-300 mBar

Dálkové ovládání a monitorování: Možné přes sběrnici Modbus a internet

Vývod výkonu: Připojení k přenosové soustavě nebo ostrovní provoz

Verze softwaru: C100

Zapalování pomocí propanu: Ne

SWOT analýza technologie GasBox

Silné stránky – lze využít skládkový plyn v jakémkoliv množství i horší kvality, vyšší vnitřní tepelná účinnost, dlouhá životnost daná především skutečností, že olej není v přímém kontaktu se spaliny ani horkými díly motoru. Velmi nízká hlučnost díky pozvolné změně tlaku během cyklu a absence cyklických zážehů či vznícení. Nižší emise škodlivin.

Slabé stránky – vysoké pořizovací náklady díky malé sériovosti, náročné montáže vysoce kvalifikovanými pracovníky. Pomalejší regulace výkonu, ta ale nepředstavuje problém pro výrobu elektřiny a tepla. Menší návratnost investice na menších skládkách s malým množstvím skládkového plynu.

Příležitosti – využití na menších skládkách s méně kvalitním plynem s nestálým množstvím, ekonomické přínosy.

Hrozby – odstraňování skládkového plynu levnější formou spalování ve flérách, odstraněním na biofiltrech. Díky podobnosti s GasBoxem lze trigeneraci považovat za přímou konkurenční technologii, která může být využita místo GasBoxu.

3.5.5 Trigenerace

Pomocí absorpčního chladiče je teplo vzniklé v procesu kogenerace možno využít i k výrobě chladu pro technologické účely nebo klimatizaci. V takovém případě hovoříme o trigeneraci, společné výrobě elektřiny, tepla a chladu. Častým případem využití trigenerace je výroba tepla v zimních měsících a výroba chladu v létě. Vedle toho je však možná i současná výroba všech tří forem energie najednou. (Tedom s.r.o., 2017)

Výhody trigenerace:

- efektivně se využije teplo z kogenerační jednotky i v letních měsících
- sníží se provozní náklady oproti konvenčnímu kompresorovému chlazení (výrazně se sníží spotřeba elektrické energie)
- neelektrický zdroj chladu nezatěžuje elektrickou distribuční síť, a to především v době vysokého tarifu
- absorpční chlazení se vyznačuje velmi nízkou hlučností, malými nároky na servis a dlouhou životnost (Tedom s.r.o., 2017)

Možnosti využití

Trigenerační jednotky je možné provozovat všude tam, kde existují přebytky tepla a kde je možné vyrobený chlad využít např. ke klimatizaci výrobních, kancelářských či obytných prostor. Může jít i o výrobu technologického chladu. (Tedom s.r.o., 2017). Avšak na skládkách odpadů v podmínkách České republiky nenalezneme velké uplatnění pro využití chladu.

SWOT analýza trigenerace

Silné stránky – stejně jako u kogenerace lze využít skládkový plyn v jakémkoliv množství i horší kvality

Slabé stránky – vysoké pořizovací náklady, menší návratnost investice na menších skládkách s malým množstvím skládkového plynu. Velmi malé uplatnění pro využití chladu z technologie

Příležitosti – využití na menších skládkách s méně kvalitním plynem s nestálým množstvím, ekonomické přínosy

Hrozby – odstraňování skládkového plynu levnější formou spalování ve flérách či odstraňováním na biofiltrech. Kogeneraci lze považovat za přímou konkurenční technologii, která může být využita místo trigenerace.

3.5.6 Využití jako palivo pro automobily

Po předchozím vyčištění skládkového plynu, kompresi a uložení do zásobníku či předání do rozvodné sítě.

Nejvíce zkušeností s využíváním LFG (metanu) v dopravních prostředcích mají ve Švédsku. V západní části Švédska jsou plnicí stanice napojeny na plynovody zemního plynu. Ve zbytku Švédska je plyn dodáván z řady lokální výroben pro 130 metanových stanic a 23 tisíc vozidel, využívajících metan. Bioplyn je ve Švédsku osvobozen od daně. Metan lze využívat jak stlačený plyn (CNG) nebo zkapalněný plyn – LNG (při teplotě 162 °C). Oktanové číslo metanu 130. V ČR je 44 CNG stanic (30 veřejných) a 2,5 tisíce vozidel, roční spotřeba 8 mil. m³. Plynové technologie jsou ve vozidlech technicky vyřešené, bezpečné, v mnohaleté praxi ověřené. Biometan se používá zejména ve Švédsku, Španělsku, Švýcarsku, Německu a Rakousku. Výhody CNG jsou: snížené emise CO₂ až o 30 %, výrazně nižší emise hluku, bezpečný ventil nádrže, vždy levnější než ostatní pohonné hmoty, nulová spotřební daň, nulová silniční daň, oktanové číslo 130 – vysoký výkon motoru, zaručená stálá kvalita plynu.

V českých podmínkách je nákladová výrobní cena pohybuje v rozmezí 1,5 - 2 Kč/kWh = 3krát více než je cena zemního plynu jako komodity. (Žákovec, 2011)

3.6 Čištění skládkového plynu

Aby se skládkový plyn mohl využívat v turbínách, motorech automobilů a předešlo se škodám, musí být skládkový plyn vyčištěn. Po vyčištění skládkového plynu na vysoký podíl metanu lze dodávat plyn do plynárenské sítě.

Sírovodík (H_2S), což je jedovatý, korozivní, hořlavý a výbušný plyn, vzniká především z bakteriálního rozkladu organické hmoty. Neodstranění H_2S z plynu může vést ke korozi kovových částí ve spalovacím motoru nebo kotli. Vedle toho H_2S vytváří dráždivý a nepříjemný zápach a přeměňuje se na sloučeniny SO_2 a H_2SO_4 , které jsou vysoce korozivní, nezdravé a ohrožující životní prostředí. Z tohoto důvodu, je odstranění H_2S nezbytným krokem před využitím plynu jako obnovitelného zdroje energie, jako komunální odpad, bioodpad, kompost a LFG.

Tyto nečistoty LFG uvedené v tabulce 2, musí být odstraněny specifickými metodami, které jsou hospodárné. Autoři tohoto článku Mahajan et al. (2015) upřednostňují odstranění síry, jakmile je to jed pro katalyzátory, které se obvykle používají pro přeměnu plynu na kapalná paliva. Po vyčištění LFG se plyn může použít jako palivo pro vytápění, dopravu, nebo výrobu elektřiny.

Je řada technik, které byly vyvinuty v laboratorním měřítku za účelem odstranění H_2S . Z nich jsou komerčními postupy založeny buď na adsorpci H_2S na materiálu nebo stechiometrickou chemickou reakcí H_2S s kovem. Aktivní uhlí se široce používá pro odstranění H_2S ze zemního plynu, geotermálních vrtů, vyhnívacích plynů a čištění komunálních odpadních vod, ale to nese určitý stupeň rizika. V důsledku exotermické reakce během procesu adsorpce je zápalná teplota snížena, což může vést k nebezpečnému samovznícení na bázi lůžka aktivního uhlí, které má H_2S . Výsledkem chemické reakce mezi kovem a H_2S je sulfid kovu, který musí také být buď regenerován nákladnou a složitou cestou nebo odeslán na skládku, jako méně žádoucí možnost (Mahajan et al. 2015).

chemická sloučenina	chemická značka	LFG nebo bioplyn (%)	zemní plyn (%)
metan	CH ₄	50–75	70–90
oxid uhličitý	CO ₂	25-50	0–8
dusík	N ₂	0–10	0–5
vodík	H ₂	0–1	stopově
sirovodík	H ₂ S	0–3	0–5
kyslík	O ₂	0–2	0 - 0,2
ethan	C ₂ H ₆	stopově	0–20
propan	C ₃ H ₈	-	-
butan	C ₄ H ₁₀	-	-

Tab 2.: Rozsah složek v LFG (Mahajan et al., 2015)

3.7 Legislativa odpadového hospodářství a obnovitelných zdrojů energie se zaměřením na skládkování a skládkový plyn

Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb.

Skládka odpadů je podle tohoto zákona označena jako technické zařízení, určené k odstraňování odpadů jejich trvalým a řízeným uložením na zemi nebo do země. Původci odpadu jsou dle zákona povinni platit poplatky za uložení odpadu na skládky v rozsahu stanoveném tímto zákonem.

Zákon o ochraně ovzduší č. 86/2002 Sb.

V tomto zákoně je skládka považována jako stacionární zdroj znečištění ovzduší. Při technologickém procesu může dojít k znečištění ovzduší při hoření nebo úletu znečišťujících látek ze skládky. Dále se dělí dle míry vlivu na kvalitu ovzduší na zvláště velký, velký nebo střední zdroj znečištění ovzduší.

Zákon o vodách č. 254/2001 Sb.

Při provozování skládky může dojít ke kontaminaci nebo ohrožení jakosti povrchových či podzemních vody. Je nutné tedy mít souhlas od vodoprávního úřadu se zřizováním skládky odpadů. Z toho plyne povinnost kontrolovat a zkoušet těsnosti potrubí umístěného na skládce.

Zákon o podpoře využívání obnovitelných zdrojů č. 180/2005 Sb.

Vyhláška MŽP o podrobnostech nakládání s odpady č. 383/2001 Sb.

Vyhláška MŽP č. 381/2001 Sb., kterou se stanoví Katalog odpadů, Seznam nebezpečných odpadů a seznamy odpadů a států pro účely vývozu, dovozu a tranzitu odpadů a postup při udělování souhlasu k vývozu, dovozu a tranzitu odpadů

Zde je uveden Katalog odpadů a postup pro zařazování odpadů dle kategorií. Na skládku se smí ukládat odpady, které jsou uvedeny v provozním řádu a jsou zařazeny dle Katalogu odpadů. Dále je stanoven Seznam nebezpečných odpadů. Nebezpečný odpad se ukládá na skládky, které jsou k tomuto účelu určeny.

Vyhláška ERÚ č. 454/2008 Sb. o pravidlech trhu s elektřinou, zásadách tvorby cen za činnosti operátora trhu s elektřinou a provedení některých dalších ustanovení energetického zákona

4 Zhodnocení podkladových údajů

Prvotním impulsem realizace tohoto projektu byl pokus švédské společnosti Cleanergy o rozšíření a expanzi na český trh. Technologie GasBox byla instalována v několika několika evropských zemích. Nejvíce rozšířená je technologie v Německu, Švédsku a Norsku. Společnost Cleanergy nemá na svých stránkách uvedené reference, tudíž je velmi obtížné zjistit praktické zkušenosti s touto technologií. V České republice dosud technologie instalována nebyla. V minulosti již bylo vypracováno několik studií na využití Stirlingova motoru na skládkách. Využití skládkového plynu formou kogenerace nyní v České republice není ničím exotickým. Existuje několik skládek odpadů, které takto využívají skládkový plyn řadu let. Souhrnný přehled skládek, které dosud nemají využití skládkového plynu není v odborné literatuře k dohledání. Za pomoci a spolupráce se společností Ing. Pavel Novák s.r.o. se podařilo dát dohromady spolehlivý a ucelený přehled skládek s velmi cennými údaji o skládkách odpadů, ze které lze dále vycházet. Také velmi cenným zdrojem informací o potenciálních skládkách odpadů je Atlas skládek z roku 2010. Na základě vstupních informací z těchto zdrojů lze provádět výpočty tvorby skládkového plynu v následujících letech a odhadnout tak schopnost skládky produkovat určité množství plynu v dalších letech. V odborné literatuře jsou velmi dobře popsána experimentální měření skládkových plynů na konkrétních skládkách. Velmi dobrým a uceleným zdrojem o skládkovém plynu je kniha Bioplyn (2006) F. Straky. Tento zdroj velmi dobře popisuje jednotlivé fáze vzniku skládkového plynu, podmínky vzniku, migraci skládkového plynu a jeho zneškodňování. Tento zdroj lze považovat za páteří zdroj pro zpracování rešerše a zorientování se v problematice skládkových plynů v ČR. Odborné zahraniční články se věnují, jak již bylo zmíněno, především měření a experimentálním metodám měření migrace skládkových plynů včetně jejich ekonomickému zhodnocení.

5 Vlastní projekt

Pro stanovení potenciálně vhodných skládek pro využití technologie GasBox musely být stanoveny parametry, které postupně zúží seznam vhodných skládek pro použití technologie GasBox na konkrétní skládce.

Byly zvoleny tyto parametry:

- Skládka musí být dle technického zabezpečení zařazena do kategorie – skládka ostatního odpadu (S-OO)
- Výtěžnost skládkového plynu minimálně 50%
- Výtěžnost skládkového plynu musí být v roce 2030 nad 8 m³/hod
- Skládka dosud nemá energetické využití skládkového plynu
- Skládka musí mít možnost využití získané elektrické energie či tepla

5.1 Skládky v ČR (geografický a statistický přehled)

Skládka je technické zařízení určené k ukládání předepsaných druhů odpadů. Dle vyhlášky 294/2005 Sb. – o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu se skládky dělí podle technického zabezpečení na:

- a) Skládky inertního odpadu – S-IO
- b) Skládky ostatního odpadu – S-OO
- c) Skládky nebezpečného odpadu – S-NO

Odpady jednotlivých skupin mohou být přijímány pouze dle druhu a kategorie odpadu, dle jejich skutečných vlastností, podle obsahu škodlivin v sušině, dle vzájemné mísitelnost atd.

Skládky lze dělit ve vztahu k terénu na:

- podúrovňové
- nadúrovňové
- podzemní
- svahové
- násypové
- kombinované

Podle způsobu zajištění těsnění dělíme skládky na:

- netěsné
- těsněné přírodním materiálem
- těsněné syntetickým materiálem
- smíšené (kombinace výše uvedených způsobů)

z hlediska ochrany před srážkami:

- zastřešené
- otevřené

Podle způsobu uložení odpadu skládky dělíme na:

- jednodruhová
- vícedruhová
- sdružená (uložen KO a průmyslový odpad)

Podle doby uložení odpadu dělíme skládky na:

- trvalé (po zaplnění objemu následuje jejich uzavření, rekultivace)
- časově omezené (plní funkci meziskladu a odpad z nich bude dále upraven)

Přehled současného stavu

Vstupní parametrem tohoto šetření je soupis 265 skládek komunálních odpadů po celé České republice. Nejvíce skládek se nachází ve Středočeském kraji v počtu 38. Dále s vyšším počtem skládek je kraj Vysočina s 27 skládkami a kraj Moravskoslezský s počtem 24 skládek komunálního odpadu. Naopak nejméně skládek je v hlavním městě Praha, kde se nachází pouze jedna skládka komunálního odpadu. V Karlovarském a Libereckém kraji je taktéž méně skládek komunálních odpadů, a to pro oba kraje shodně v počtu osmi skládek.

Kraj / Zdroj	Databáze skládek
Praha	1
Středočeský	38
Pardubický	22
Královéhradecký	14
Liberecký	8

Ústecký	21
Karlovarský	8
Plzeňský	22
Jihočeský	30
Vysočina	27
Olomoucký	18
Moravskoslezský	24
Zlínský	12
Jihomoravský	20
Celkem	265

Tab 3.: Přehled počtu skládek komunálních odpadů v ČR (interní databáze skládek, 2015)

Rozmístění skládek ostatních odpadů (S-00) na mapě krajů ČR



Obr 6.: Rozmístění skládek ostatních odpadů v ČR (nejaktuálnější přehledně zpracovaná mapa (Bartáčková, 2010)

5.2 Doplnění informací o skládkách – reálný stav

V interní databázi skládek společnosti Ing. Pavel Novák s.r.o. bylo na počátku 265 skládek. Jednalo se o skládky na ostatní odpad, nebezpečný odpad či kombinace těchto odpadů. Do interní databáze skládek byl doplněn z Katalogu skládek 1997 (Morch a kol, 1997) rok zahájení provozu a rok ukončení provozu skládky – pokud byl znám. Je-li skládka v provozu, byl uveden rok ukončení rok 2015. Následně bylo vypočteno průměrné zaplnění skládek. U skládek, u kterých nebyl znám údaj o stavu zaplnění, byl údaj doplněn pomocí průměru skládek, kde údaj o průměrném zaplnění v databázi byl uveden. U všech skládek byl také doplněn průměrný roční návoz výpočtem, aritmetickým průměrem. Aritmetický průměr byl vypočten z údaje zaplnění skládky a počtu provozovaných let. U skládek, u kterých nebyl znám termín zahájení provozu, byl uveden rok 1998. Tento rok byl zvolen, jelikož se jedná o první rok, ve kterém musely skládky na základě tehdejšího zákona o odpadech 138/1991 Sb. splňovat po celý rok podmínky řízené skládky včetně těsnění a nakládání s průsakovými vodami. Téměř všechny moderní skládky v ČR vznikly v období 1992–1997 a tedy musely být prvně celoročně v provozu nejméně po celý rok 1998. Je to tedy nejlepší možný odhad neznámého parametru zahájení provozu, který je významný pro výpočtový model produkce plynu. U vybraných skládek byly údaje také doplněny či ověřeny telefonickým hovorem. Příklad části vygenerované tabulky po doplnění výše zmíněných údajů o skládkách viz Tab. 4: Reálný stav skládek v ČR.

Provozovatel	Název zařízení	Obec (zařízení)	Kraj (zařízení)	rok zahájení provozu	průměrná roční navážka t/rok (výpočet)	rok ukončení provozu	rok ukončení provozu nejdéle 2013)
EKOLTES Hranice, a.s.	Řízená skládka TKO Hranice (1. etapa) a skládka odpadů S-OO3 Běloutín - Jelení kopec (2. etapa)	Běloutín	Olomoucký kraj	1 994	6 000	2 036	2023
AVE CZ odpadové hospodářství s.r.o.	Řízená skládka Benátky nad Jizerou	Benátky nad Jizerou	Středočeský kraj	1 994	100 000	2 056	2023
KD WASTE, s.r.o.	Skládka odpadů Hakda - Jarov	Beroun	Středočeský kraj	1 998	6 750	2 019	2019
Stavební firma Balcar s.r.o.	Skládka odpadů a recyklační středisko	Běstovice	Pardubický kraj	1 998	7 781	2 019	2019
Technické služby města Blatné s.r.o.	Řízená skládka odpadů Blatná - Hněvkov	Blatná	Jihočeský kraj	1 991	3 043	2 056	2023
Obec Blatnička	Blatnička	Blatnička	Jihomoravský kraj	1 998	1 667	2 007	2007
BM servis a.s.	Řízená skládka odpadů S-IO a S-OO Nový stav	Bohumín	Moravskoslezský kraj	1 996	15 083	2 020	2020
BYTTEK BOHUMÍN a.s.	Skládka průmyslových odpadů	Bohumín	Moravskoslezský kraj	1 994	2 000	2 081	2023
Obec Bohuňovice	Skládka ostatního odpadu S-OO3 Bohuňovice	Bohuňovice	Olomoucký kraj	1 992	2 955	2 017	2017
Česká republika - Ministerstvo obrany	Hořičky II - VVP Boletice	Boletice	Jihočeský kraj	1 998	1 725	2 008	2008
SITA CZ a.s.	Skládka inertního odpadu S-IO Boskovice-Doubřavy	Boskovice	Jihomoravský kraj	1 995	16 198	2 010	2 010
Městys Božejov	Pod hrází Ratejského rybníka	Božejov	Vysočina	1 998	271	2 006	2006
Technická služba Nová Role, s.r.o.	Nová Role – skládka odpadů	Božičany	Karlovarský kraj	1 996	13 250	2 020	2020
STAVOS Brno, a.s.	Skládka S-OO3 v kamenolomu Bratčice	Bratčice	Jihomoravský kraj	1 998	12 500	2 042	2023
Obec Brázdím	Obec Brázdím	Brázdím, Veleň	Středočeský kraj	1 998	12 775	2 010	2010
Statutární město Brno	Černovická skládka	Brno	Jihomoravský kraj	1 998	0	2 002	2002

Tab. 4: Reálný stav skládek v ČR – pouze část databáze (interní databáze skládek, 2015)

5.3 Vyhodnocení skládek vhodných z hlediska stávajícího využití plynu a velikosti

5.3.1 Zúžení databáze skládek podle aktuálního využití plynu

Z dostupných informací o skládkách byly vhodné skládky z hlediska stávajícího využití plynu vyhodnoceny. Byly vyřazeny z pracovní databáze skládky, kde již mají využití skládkového plynu kogenerací. Po vyfiltrování skládek, které již mají využití skládkového plynu kogenerací, zbylo v tabulce 201 skládek, které jsou potenciálně vhodné pro technologii GasBox.

5.3.2 Zúžení databáze podle velikosti, respektive potenciálu produkce plynu

Dále byly vyhodnoceny skládky podle potenciálu produkce plynu. To znamená, že skládky, které nejsou schopné produkovat plyn, byly vyřazeny z databáze vhodných skládek. Vyřazeny byly tedy skládky, které jsou jen na nebezpečný odpad nebo jen na inertní odpad. Kombinace skládky ostatního odpadu s inertním odpadem byly v databázi ponechány. Po vyfiltrování skládek, které jsou pouze na nebezpečný, nebo jen na inertní odpad, zbylo v databázi 124 potenciálně vhodných skládek, o kterých lze dále uvažovat.

5.3.3 Zúžení databáze podle množství produkce skládkového plynu < 8 m³/hod. v roce 2030

V poskytnutém modelu produkce metanu (excelový software společnosti Ing. Pavel Novák s.r.o.) byla spočítána produkce skládkového plynu v roce 2015 a v roce 2030. Ukázka výpočtu v modelu produkce metanu viz příloha č. 1 Výsledky byly doplněny jako dva nové sloupce do tabulky databáze skládek. Poté byl za pomoci filtru zúžen výběr skládek vhodných pro technologii GasBox. Byly vyřazeny skládky, které mají produkci skládkového plynu menší než 8 m³/hod. v roce 2030. Pro ekonomické vyhodnocení bylo zvoleno 15-ti leté období do roku 2030. 15 let je totiž doba, po kterou jsou garantovány výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů. Po vyfiltrování těchto skládek zbylo v databázi 84 potenciálně vhodných skládek. Potenciálně vhodné skládky pro využití technologie GasBox tvoří přílohu č. 2 této bakalářské práce.

5.4 Doplnění údajů o využitelnosti tepla z kogenerace na prioritizovaných skládkách

Telefonickým a e-mailovým průzkumem bylo u vybraných 84 skládek ze zúženého seznamu databáze zjišťováno, zda mají na skládce či ve velmi blízkém okolí vytápěné a technologické objekty využívající teplo. Zároveň byla ověřena aktuálnost některých údajů uvedených v databázi skládek.

Zodpovědní zaměstnanci skládek či společností, které skládku vlastní, byly telefonicky či emailem osloveni, aby zodpověděli tyto otázky uvedené níže. Otázky byly doplněny jako další sloupce v databázi skládek.

Otázky pro průzkum a doplnění dat:

- 1) Je skládka (částečně) rekultivovaná?
- 2) Je na skládce systém jímání plynu?
- 3) Co děláte se skládkovým plynem (způsob nakládání – biofiltr, fléra, kogenerační jednotka, bez využití)?
- 4) Pokud se skládkový plyn využívá, kdo to zajišťuje? (skládkář nebo externí firma – která?)
- 5) Jak konkrétní způsob využívání plynu funguje, jsou nějaké problémy, související s využitím plynu, monitoringem, emisemi?
- 6) Jaká energie se používá pro vytápění, jaká je roční spotřeba energie pro vytápění, jaké je přibližné sezónní rozložení této spotřeby (kWh)?
- 7) Je ještě nějaké jiné využití tepla v areálu skládky, jaké?
- 8) Je nějaké využití pro elektrickou energii v areálu skládky nad rámec běžného svícení apod. kromě vytápění? Jaké, v jakém rozsahu? Přibližné denní a sezónní rozložení této spotřeby (kWh).
- 9) Recirkulují se průsakové vody zpět do skládky?
- 10) Je na skládce připojení k elektrické sítí?
- 11) Jaký je podíl komunálních odpadů ve skládkovaných odpadech (přibližně %)?

Na základě odpovědí na tyto otázky bylo provedeno vyhodnocení a další zúžení databáze skládek podle potenciálu pro využití tepla z kogenerace.

5.5 Přehled skládek s možností využití tepla, shrnutí dat z průzkumu

Na základě postupného zužování databáze skládek a telefonickému či emailovému dotazováním o skládkách zbylo 18 vhodných skládek. Telefonických či emailových odpovědi se nepodařilo shromáždit u všech potenciálně vhodných skládek.

Provozovatel	Název zařízení	Provozovatel	Název zařízení
.A.S.A. skládka Bystřice, s.r.o.	SKLÁDKA TKO CIHELNA III, skládka skupiny S-OO	Technické služby Velká Bíteš spol. s r.o.	Skládka SKO Osová Bítýška, lokalita Vlkovská
Služby města Český Krumlov s.r.o.	Řízená skládka TKO Český Krumlov	Biocel Paskov a.s.	Skládka pevných odpadů skupiny S-OO1, S-IO
Technické služby Choceň	Skládka odpadu (Choceň – Dvořiško)	Technické služby města Přerova	Řízená skládka odpadů S-OO3 Žeravice II
TECHNICKÁ A LESNÍ SPRÁVA CHOTĚBOŘ s.r.o.	Skládka TKO Chotěboř- Lapíkov	Skládka odpadů Slavičín s.r.o.	Skládka komunálních odpadů Slavičín - Radašovy
Technické služby Hlinsko, s.r.o.	Řízená skládka tuhého komunálního odpadu skupiny S-OO Hlinsko - Srní	Město Strážnice	Skládka odpadu skupiny S-OO3 Strážnice - Cihelna
LAZCE-GIS spol. s r.o.	Skládka Lazce	Eko Bi s.r.o.	Skládka TKO Třebovice
Technické služby města Jičína	Skládka odpadů Popovice Libec	Služby města Vejprty	Skládka TKO České Hamry
Technické služby Tábor s.r.o.	Skládka odpadů Klenovice II	COMPAG VOTICE s.r.o.	Skládka TKO Votice
Technické služby města Mostu a.s.	Skládka Střimice	Technické služby Zlín, s.r.o.	Skládka odpadů Suchý důl, III.etapa

Tab. č. 5: přehled skládek vhodných pro technologii GasBox po ověření a doplnění údajů (interní databáze skládek, 2015)

5.6 Ekonomické vyhodnocení využití technologie GasBox

Pro posouzení efektivity investice do instalace kogenerační jednotky na skládce jako podklad o životaschopnosti projektu se může použít celá řada ekonomických ukazatelů (Sieber, 2004). Za pomoci softwaru Microsoft Excel byl vytvořen model pro výpočet návratnosti investice a následných zisků. Tabulka s výpočtem ekonomického vyhodnocení a cash flow je uvedena v příloze č. 3 a 4. Výchozími parametry jsou výkupní ceny stanovené Energetickým regulačním úřadem (ERÚ). Cena za jednu kWh elektrické energie, která činí 1,98 Kč/kWh, cena za jednu kWh tepla činí 1,35 Kč. Předpokládané roční využití tepla bylo odhadnuto na 25 %. A předpokládáno bylo celoroční nepřetržité provozování. Pořizovací cena technologie GasBox včetně její instalace na skládku činí 1 350 000 Kč. Roční náklady na údržbu jsou odhadovány na 94 500 Kč. Roční zisk za vyrobenou elektřinu ze skládkového plynu 121 846

Kč. Roční zisk za vyrobené teplo technologií GasBox 75 114 Kč. Celkem tedy roční zisk činí 193 262 Kč. Investice tedy začne být zisková mezi 13-14 rokem po pořízení technologie. Doba životnosti zařízení GasBox je 25 let a tedy 11 let bude technologie pro majitele zisková a vytvoří čistý zisk 1 086 388 Kč. Nicméně od 15. roku provozování se může výkupní cena vyrobené energie změnit, a tudíž se výsledný zisk může lišit a nelze jej přesně odhadnout. Na základě tohoto zjištění byl proveden teoretický výpočet, o kolik Kč by se musela výkupní cena elektrické energie snížit, aby zisk z vyrobené energie se rovnal provozním nákladům na údržbu. Pro vypočtení maximálního teoretického poklesu výkupní ceny elektrické energie bylo definováno, že s využíváním energie tepelné nebude nyní uvažováno. Vzorec pro výpočet maximálního teoretického poklesu:

$$\text{nejnižší přípustná výkupní cena [Kč/kWh]} = \text{provozní roční náklady [Kč]} / \text{výroba energie za rok [kWh]}$$

Po dosazení:

$$\text{nejnižší přípustná výkupní cena} = 94\,500 \text{ [Kč]} / 61\,632 \text{ [kWh]}$$

$$\text{nejnižší přípustná výkupní cena} = 1,533 \text{ Kč/kWh}$$

A nyní byl proveden výpočet maximálního teoretického poklesu výkupní ceny elektrické energie rozdílem současné výkupní ceny a nejnižší přípustné výkupní ceny.

$$\text{maximální teoretický pokles výkupní ceny [Kč]} = \text{současná výkupní cena [Kč]} - \text{nejnižší přípustná výkupní cena [Kč]}$$

Po dosazení:

$$\text{Maximální teoretický pokles výkupní ceny} = 1,98 \text{ [Kč]} - 1,533 \text{ [Kč]}$$

$$\text{Maximální teoretický pokles výkupní ceny} = 0,446 \text{ Kč}$$

Pokud by skládka po změně výkupní ceny využívala jen potenciál elektrické energie stačí při maximálním vytížení GasBoxu, aby pokles výkupní ceny elektrické energie činil 0,446 Kč a nová výkupní cena tedy byla 1,533 Kč/kWh a technologie by přestala nést pravidelný roční zisk. Pokud bychom uvažili maximální vytížení stroje při tvorbě tepelné i elektrické energie, stačí když výkupní ceny obou energií klesly z 3,33 Kč/kWh na 1,76 Kč/kWh.

6 Diskuse

I přes různá opatření a metody se biologickému procesu tvorby skládkových plynů technologicky ani procesně dosud nepodařilo zabránit. A tak lze v oblasti migrace a následném využívání skládkových plynů vidět stále budoucnost. Je velmi dobré a užitečné sledovat a monitorovat produkci skládkového plynu, abychom mohli na základě těchto údajů zvolit vhodnou technologii pro využití či zneškodnění skládkového plynu. Jelikož je skládkový plyn jedovatý a hrozí i exploze, je na místě zájem o intenzitu vývinu skládkového plynu. Je tedy nutné skládkový plyn sledovat, využívat či zneškodňovat. Lze souhlasit s názorem (Qiang and Lei, 2013), kde zmiňují výpočet podílu metanu ve skládkovém plynu abychom na základě toho zvolili správnou technologii pro využívání skládkového plynu. Výpočet produkce metanu je základním a klíčovým údajem, který nutná znát pro správné určení vhodnosti skládky pro aplikaci technologie GasBox na dané skládce. Autoři (Finkelstein and Organ, 2001) vidí praktické využití technologie na bázi Stirlingova motoru, především v domácím nízkovýkonném nasazení. Toto tvrzení nyní lze rozšířit i o možnost praktického využití i v komerčních oblastech jako jsou například skládky odpadů. Hlavním přínosem této práce je stanovení kritérií a metod vedoucích ke zjištění počtu skládek, na kterých lze uvažovat o aplikaci technologie Gasbox. Výpočtem ekonomické návratnosti investice bylo zjištěno, že pořízení této technologie nepřinese v době životnosti velmi vysoké zisky. Jelikož náklady spojené s investicí se vrátí mezi 13. a 14. rokem provozu za předpokladu plného a spolehlivého nasazení této technologie. Čili pokud by například přicházelo do technologie v průměru o polovinu méně skládkového plynu, než je nyní kalkulováno, tak by tato technologie přestala být zisková. Stejně tak i v případě snížení výkupní ceny elektrické či tepelné energie viz kapitola 5.6. Pak by se provozem pouze zaplatily náklady, spojené s pořízením a údržbou technologie. Tyto závěry jsou v souladu s tvrzeními (Godlove and Singleton, 2010) o velké závislosti na vykupních cenách a na vývoji ceny na trzích se zemním plynem. Lze tedy konstatovat, že technologie GasBox není technologií, která by zajišťovala pravidelný příjem provozovateli skládky. Nicméně v technologii GasBox nevidím jen ekonomický přínos, ale také přínos ve způsobu řešení nakládání se skládkovým plynem. Trigenerace, spalování za pomoci fléry či odstranění na biofiltru mají při svém provozování také nenulové náklady. A tak i přes pravidelné roční náklady na údržbu lze vidět v technologii GasBox vhodné řešení.

Postupnými kroky uvedených v kapitole 5 Projekt této bakalářské práce, se databáze skládek zúžila z počtu 265 až na 18 skládek, které jsou vhodné k použití technologie GasBox. Tyto skládky splnili všechny definované parametry. Údaje o skládce byly ověřeny přímo u provozovatele skládky, a tudíž není pochyb o vhodnosti pro použití technologie GasBox na těchto skládkách. I přesto, že u těchto skládek je vhodnost použití technologie GasBox nesporná, mezery v průzkumu dávají předpoklad, že využitelnost této technologie v ČR by mohla být vyšší.

7 Závěr

Závěrem lze konstatovat, že:

- Hypotéza č. 1: Tato hypotéza byla potvrzena. V ČR existují skládky, u nichž by bylo možno s využitím inovativní technologie GasBox využít energii skládkového plynu namísto jeho spalování nebo biologického odbourávání bez využití. Průzkumem a stanovením kritérií bylo zjištěno, že v ČR je minimálně 18 skládek vhodných pro použití technologie GasBox.
- Hypotéza č. 2: Tato hypotéza byla taktéž potvrzena. Ekonomické využití technologie GasBox pro zpracování skládkového plynu je v podmínkách ČR možné. Technologie by v podmínkách ČR generovala za plného vytížení a současných výkupních cen generovala roční zisk. Tudíž aplikace této technologie by mohla skládkám, které dosud nemají využití skládkového plynu, přinést částečnou ekonomickou soběstačnost do budoucna.
- Ekonomická výhodnost technologie GasBox je velmi závislá na výkupních cenách energií.
- Rešerší literatury bylo zjištěno, že autoři článků se v pohledu na složení a migraci skládkového plynu shodují i na geograficky vzdálených skládkách. Shoda názorů je i v případě vhodnosti měření vývinu skládkového plynu flux-box metodou.
- Trigenerace díky menší využitelnosti tepla najde mnohem menší uplatnění než technologie GasBox založená na bázi kogenerace.

8 Seznam literatury

- Aronica, S., Bonanno, A., Piazza, V., Pignato, L., Trapani, S. 2009. Estimation of biogas produced by the landfill of Palermo. *Waste Management*. 29. 233–239.
- Barbaro, S., Bonanno, A., Boscia, M.L., Rizzo, G., Aronica, S. 2009. The impact of landfills on the air quality of towns – a simple heuristic model for the city of Palermo. *International Journal of Environment and Pollution*. 36 (1/2/3). 287–304
- Bartáčková, L. 2010. Atlas zařízení pro nakládání s odpady. Výzkumný ústav vodohospodářský T. G. Masaryka. Praha. 173 s.
- Bogner, J., Meadows, M.P., Celia, P. 1997. Fluxes of methane between landfills and the atmosphere: natural and engineered controls. *Soil Use and Management*. 13. 268–277.
- Boškovi, G. B., Mladen M. J., Nebojša M. J., Milun J. B. 2016. Co-generation potentials of municipal solid waste landfills in Serbia. *Thermal Science*. 20(4). 1271-1281.
- Cossu, R., Muntoni, A. 1997. Biogas emission measurement using static and dynamic flux chambers and infrared method. *Proceedings Sardinia 1997*.
- Czepiel, P.M., Shorter, J.H., Mosher, B., Allwine, E., McManu, J.B., Harriss, R.C., Kolb, C.E., Lamb, B.K. 2003. The influence of atmospheric pressure on landfill methane emissions. *Waste Manag.* 23. 593–598
- Ekowatt, Popis kogenerace [online]. Ekowatt. 20. března 2008 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z <<http://ekowatt.cz/uspory/kogenerace.shtml>>
- Fecil, B., Heroux, M., Guy, C. 2003. Development of a method for the measurement of net methane emission from MSW landfills. *Proceedings Sardinia 2003*.
- Finkelstein, T., Organ A.J. 2001. *Air Engines*. Professional Engineering Publishing. p. 237. Cambridge. ISBN 1-86058-338-5.
- Frost R.C., Pearson J.E., Campvell D.J.V. 1997. Landfill Gas Flaring. *Proceedings IVth International Symposium Sardinia 97*. 2. p. 585-592
- Ganev, I., Naydenova, I. 2014. Evaluation of Potential Opportunities for Electric Power Generation from Landfill Gas at "Tsalapitsa". *Serbian Journal of Electrical Engineering*. 11(3). 379-390.
- Gebert J., Groengroeft, A. 2006. Passive landfill gas emission – Influence of atmospheric pressure and implications for the operation of methane-oxidising biofilters. *Waste Management*. 26. 245–251.
- Godlove, Ch., Singleton, A.R. 2010. New Financing Options and Incentives for Landfill Gas Energy. *Cogeneration*. 25(2), 52-65.
- interní databáze skládek společnosti Ing. Pavel Novák s.r.o.

informační leták společnosti Cleanenergy, 2015

Jha A.K., Sharma C., Singh N., Ramesh R., Purvaja R., Gupta P.K. 2008. Greenhouse gas emissions from municipal solid waste management in Indian mega-cities: A case study of Chennai landfill sites. *Chemosphere*. 71. 750-758.

Keveney, M. Two Cylinder Stirling Engine [online]. *Animated engines*. 23. listopadu 2011 [cit. 2017-02-12]. Dostupné z <animatedengines.com>

Krbek, J., Polesný, B. 2007. Kogenerační jednotky – zřizování a provoz. GAS s.r.o. Praha. 201 s. ISBN 978-80-7328-151-9

Lyons S., Murphy L., Tol R.S.J. 2010. Estimating historical landfill quantities to predict methane emissions. *Atmospheric Environment*. 44. 3901-3906.

Mahajan, D., Tonjes D.J., Mamalis, S. 2015. Effective landfill gas management strategies for methane control and reuse technology. *Journal of Renewable*. 7(4). 1-7.

Martini W.R. Stirling Engine Design Manual (2nd ed.) [online]. NASA. 1. ledna 1983 [cit. 2017-01-12]. Dostupné z <<https://ntrs.nasa.gov/archive/nasa/casi.ntrs.nasa.gov/19830022057.pdf>>

Morch, V., Nekvasil, F., Blohberger, M. 1997. Katalog skládek 1997. NSO Kutná Hora, nestr.

Mosher, B.W., Czepiel, P.C., Shorter, J., Allwine, E., Harris, R.C., Kolb, C., Lamb, B. 1996. Mitigation of methane emission at landfill sites in New England, USA. *Energy Covers Management*. 37 (6-8). 1093-1098.

Muntoni, A., Cossu, R. 1997. Influence of Compost Covers on Landfill Gas Surface Emissions. *Proceedings VIth International Symposium Sardinia 97*. 4. 115-125

Novák P., Kovář L. 2011. Diagnostics of landfill gas extraction system efficiency by instant sampling of methane emissions from landfill surface by flux-box technology. *Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium*.

Qiang, X., Lei L. 2013. Study on optimization model of energy collection efficiency and its power generation benefit evaluation of landfill gas. *Journal of Renewable*. 5(5).

Raco, B., Cioni, R., Guidi, M., Scozzari, A., Lelli, M., Lippo, G. 2006. Monitoraggio del flusso di biogas diffuso dal suolo da discariche rsu: il caso di legoli, peccioli (PI). *Rifiuti Solidi XZ*. (2). 120-136

Sieber, P. 2004. Analýza nákladů a přínosů – metodická příručka. MPO. Praha

Stachowitz, W.H. 2004. CO₂ – Emissionshandel für Deponie (Schwach) gas. *Abfallforschungstage*.

Straka, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek, J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M. 2006. Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS. Praha. 706 s. ISBN: 80-7328-090-6.

Straka, F. 1991. Metody likvidace a energetického využití odpadů. Praha. Koneko. 237 s. ISBN 80-85122-07-3

Tedom s.r.o. informační leták o trigeneraci, [online]. Tedom s.r.o. 2. února 2017 [cit. 2017-03-25]. Dostupné z <<http://kogenerace.tedom.com/down/760.pdf>>

Uyanik, İ., Özkaya, B., Demir S., Çakmakci, M. 2012. Meteorological parameters as an important factor on the energy recovery of landfill gas in landfills. Journal of Renewable. 4(6).

Walker, G. Stirling Engines. Oxford University Press. New York. 532 p. ISBN 0-19-856209-8.

Žákovec, J. Biometan [online]. Česká bioplynová asociace. 15. října 2011 [cit. 2017-04-09]. Dostupné z <http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/19_VPBPS2011_zakovec.pdf>

9 Seznam použitých zkratk a symbolů

ČR – Česká republika

ERÚ – Energetický regulační úřad

KO – komunální odpad

LFG – Landfill gas (skládkový plyn)

TKO – tuhý komunální odpad

\$ - americký dolar

10 Samostatné přílohy

Příloha č. 1: Ukázka výpočtu v modelu produkce metanu

Příloha č. 2: Potenciálně vhodné skládky pro využití technologie GasBox

Příloha č. 3: Výpočet ekonomické návratnosti

Příloha č. 4: Výpočet ekonomické návratnosti – cash flow

Příloha č. 1: Ukázka výpočtu v modelu produkce metanu

PLYN-NA-SYSTÉM ENERGETICKÉ VÝKONNOSTI				
Identifikátor skládky	ARTEZIS S.R.O.			
Rok zahájení skládky	1997			
Rok uzavření skládky	2015			
POSLEDNÍ MĚŘENÍ	2011			
Účinnost extrakce plynu		▲	▼	50%
Výhřevnost CH4 (MJ/m3)	35,9			
Výběr mikroturbíny:	C30	Výstup energie(kW)	30	
<input type="text" value="C30"/>		Elektrická účinnost (%)	26%	
Minimální povolený výkon				80%
<i>*Roky s výkonem výše uvedeným výpočtem jsou zvýrazněny zeleně</i>				

Rok	Emise Methanu(m3/hod)	Produkce skládkového plynu	Systém výtěžnosti methanu (m3/hod)	Výtěžnost skládkového plynu
1997	-		-	
1998	0,81	2,18	0,40	1,09
1999	1,58	4,28	0,79	2,14
2000	2,33	6,29	1,16	3,15
2001	3,04	8,23	1,52	4,11
2002	3,73	10,09	1,87	5,04
2003	4,39	11,87	2,20	5,94
2004	5,03	13,59	2,51	6,79
2005	5,64	15,24	2,82	7,62
2006	6,22	16,82	3,11	8,41
2007	6,79	18,35	3,39	9,17
2008	7,33	19,81	3,66	9,90
2009	7,85	21,21	3,92	10,61
2010	8,35	22,56	4,17	11,28
2011	8,83	23,86	4,41	11,93
2012	9,29	25,11	4,64	12,55
2013	9,73	26,30	4,87	13,15
2014	10,16	27,45	5,08	13,73
2015	10,57	28,56	5,28	14,28
2016	10,15	27,44	5,08	13,72
2017	9,75	26,36	4,88	13,18
2018	9,37	25,33	4,69	12,67
2019	9,00	24,34	4,50	12,17
2020	8,65	23,38	4,33	11,69
2021	8,31	22,47	4,16	11,23
2022	7,99	21,59	3,99	10,79
2023	7,67	20,74	3,84	10,37
2024	7,37	19,93	3,69	9,96
2025	7,08	19,14	3,54	9,57
2026	6,81	18,39	3,40	9,20
2027	6,54	17,67	3,27	8,84
2028	6,28	16,98	3,14	8,49
2029	6,04	16,31	3,02	8,16
2030	5,80	15,67	2,90	7,84
2031	5,57	15,06	2,79	7,53
2032	5,35	14,47	2,68	7,23

Příloha č. 2: Potenciálně vhodné skládky pro využití technologie GasBox

Seznam vhodných skládek:

- 1) Řízená skládka TKO Hranice (1. etapa) a skládka odpadů S-OO3 Běloutín – Jelení kopec (2. etapa)
- 2) Řízená skládka odpadů Blatná – Hněvkov
- 3) Skládka průmyslových odpadů
- 4) Skládka ostatního odpadu S-OO3 Bohuňovice
- 5) Skládka inertního odpadu S-IO Boskovice-Doubravy
- 6) Nová Role – skládka odpadů
- 7) Řízená skládka odpadů Flora Břasy
- 8) Skládka odpadů Březová – skládka skupiny S-OO
- 9) Skládka TKO Bukov
- 10) Řízená skládka odpadů skupiny S-OO3 Bystré
- 11) SKLÁDKA TKO CIHELNA III, skládka skupiny S-OO
- 12) Řízená skládka TKO Český Krumlov
- 13) Zařízení pro nakládání s odpady EKO – Chlebičov
- 14) Skládka odpadu (Choceň – Dvořisko)
- 15) Skládka TKO Chotěboř-Lapíkov
- 16) Skládka S-OO Chotyně II
- 17) Skládka odpadů Rakovka
- 18) Skládka S-OO3, S-NO a Dekontaminační plocha Dolní Benešov
- 19) Skládka TKO Drnholec
- 20) Řízená skládka odpadů TKO Dvorce – Rejchartice
- 21) Skládka odpadů Větrov, skládka skupiny SOO3 – ostatní odpad
- 22) Skládka komunálního odpadu Lítov
- 23) Řízená skládka tuhého komunálního odpadu skupiny S-OO Hlinsko – Srní
- 24) Skládka Munice
- 25) Povrchová skládka TPO a TKO Horní Benešov
- 26) Skládka Lazce
- 27) Skládka odpadů S-OO3 a kompostárna Hořovice-Hrádek
- 28) Skládka průmyslového odpadu Hradčany
- 29) Řízená skládka S-003 Železářny Hrádek a.s.
- 30) Skládka odpadů Popovice-Libec
- 31) Řízená skládka odpadů S-OO3 Jihlava Henčov
- 32) Skládka odpadů Jílové-Radlíc
- 33) Skládka odpadů Kladruby
- 34) Skládka tuhého komunálního odpadu Štěpánovice
- 35) Skládka odpadů Klenovice II
- 36) Odpadové hospodářství Mikroregionu Kloboucko
- 37) Skládka Kosova Hora
- 38) Skládka odpadů
- 39) Skládka TKO Dolní nádraží
- 40) Skládka Dolní Třešňovec
- 41) Skládka Libkov
- 42) Skládka odpadů Lipník nad Bečvou, Etapa I.a a Etapa I.b a II
- 43) Skládka Lodín a solidifikační linka
- 44) Řízená skládka pevných odpadů Bukovsko
- 45) Řízená skládka odpadů Milevsko – Jenišovice
- 46) Skládka Střimice
- 47) Řízená skládka Mšeno

Příloha č. 2: Potenciálně vhodné skládky pro využití technologie GasBox

- 48) Skládky S-OO, Osečná
- 49) Skládky SKO Osová Bítýška, lokalita Vlkovská
- 50) Skládky odpadů Hrádek u Pacova
- 51) Skládky pevných odpadů skupiny S-OO1, S-IO
- 52) Skládky odpadů skupiny S-OO, ostatní odpad, podskupina: S-OO3, „U Vysokého mostu“
- 53) Skládky TKO Libínské Sedlo
- 54) Řízená skládka odpadů S-OO3 Žeravice II
- 55) Skládky Příbram Bytíz
- 56) Skládky odpadů Lověšice
- 57) Řízená skládka odpadů Svěbořice, skupina skládky S-OO
- 58) Řízená skládka odpadů Rokycany – Němčičky
- 59) Řízená skládka TKO Pod haldou
- 60) Skládky STOH V
- 61) Skládky TKO EKOS Řevnice
- 62) Skládky komunálních odpadů Slavičín – Radašovy
- 63) Skládky odpadů Staříč
- 64) Skládky tuhého komunálního odpadu Strašice
- 65) Skládky odpadů Stráž nad Nežárkou – Pístina
- 66) Skládky odpadu skupiny S-OO3 Strážnice – Cihelna
- 67) Řízená skládka odpadů S-OO3 a S-OO1 Supíkovice
- 68) Středisko odpadového hospodářství Rozinov
- 69) Centrální skládka odpadů CSO II
- 70) Skládky TKO Třebovice
- 71) Skládky Kubíkovy Duby
- 72) Skládky odpadů Prakšická II., skládka skupiny S-OO
- 73) Skládky TKO Uhlířské Janovice – Bláto
- 74) Skládky odpadů S-OO3 Smolina
- 75) Skládky TKO České Hamry
- 76) Skládky odpadů Strachov II
- 77) Skládky odpadů Pravětín
- 78) Skládky TKO Nové Těchanovice
- 79) Skládky odpadů Volfartice
- 80) Skládky TKO Votice
- 81) Skládky Vyskytná nad Jihlavou
- 82) Řízená skládka odpadů Řídká Blana
- 83) Skládky odpadů Chotětín
- 84) Skládky odpadů Suchý důl, III. etapa

Příloha č. 3: Výpočet ekonomické návratnosti

cena technologie CHP (kombinovaná výroba tepla a elektřiny)	CZK	1 080 000 Kč
ostatní náklady na místě při instalaci	CZK	270 000 Kč
připojení do sítě	CZK	135 000 Kč
čerpadlo plynu	CZK	27 000 Kč
montáž, instalace	CZK	108 000 Kč
odpisy za rok	%	20
odpisy za rok	CZK	270 000 Kč
plán údržby/rok	CZK	94 500 Kč
roční provozní hodiny	hodin	8560
mimo provoz/rok	hodin	200
interval údržby	hodin	4000
náklady na údržbu každých 3000 hodin	CZK	108 000 Kč
výroba energie za hodinu	kWh	7,2
výroba energie za rok	kWh	61632
výroba tepla za hodinu	kWh	26
výroba tepla za rok	kWh	222560
cena tepla za kWh	CZK	1,35 Kč
cena energie kWh	CZK	1,98 Kč
prodej energie	CZK	121 846 Kč
index tepelného využití ročně	%	25
prodej tepla	CZK	75 114 Kč
celkový zisk	CZK	196 960 Kč

počáteční investice:	1 350 000 Kč
---------------------------------	--------------

Příloha č. 4: Výpočet ekonomické návratnosti v Kč– cash flow

Cash flow	Rok 1	Rok 2	Rok 3	Rok 4	Rok 5	Rok 6	Rok 7	Rok 8	Rok 9	Rok 10	Rok 11	Rok 12	Rok 13	Rok 14	Rok 15
zisk	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960	196 960
včetně nákladů	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500
servis plán	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500	94 500
Kumulativní cash flow	102 460	204 920	307 380	409 840	512 300	614 760	717 220	819 680	922 140	1 024 600	1 127 060	1 229 520	1 331 980	1 434 440	1 536 900