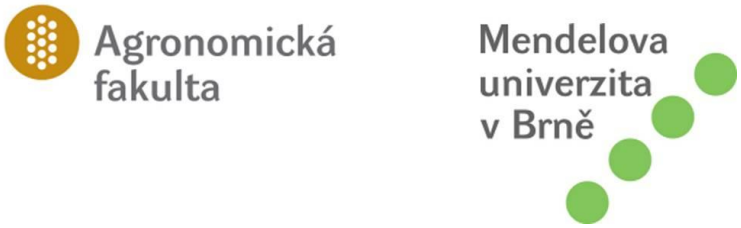
Mendelova univerzita v Brně
Agronomická fakulta
Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky



Perspektiva využití skládkového plynu ze skládky komunálního odpadu

Bakalářská práce

Vedoucí práce:
Bc. Ing. Jan Kudělka

Vypracoval:
Marek Stránský

Brno 2016

Agronomická fakulta

Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Zpracovatel :	**Marek Stránský**
Studijní program:	Technologie odpadů
Obor:	Odpadové hospodářství
Konzultant:	Ing. Tomáš Koutný
Název tématu:	**Perspektiva využití skládkového plynu ze skládky komunálního odpadu**
Rozsah práce:	40 – 50 stran

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte rešeršní studii procesu vzniku bioplynu vyhledáním odborných literárních zdrojů a pramenů
2. Proveďte analýzu možností nakládání se skládkovým plynem
3. Zhodnoťte kvalitu skládkového plynu na vybrané skládce
4. Proveďte ekonomické zhodnocení využití skládkového plynu

Mendelova univerzita v Brně

Seznam odborné literatury:

1. RADULOVIČOVÁ, A. *Bioplyn ze skládek komunálního odpadu a jeho perspektivy výroby a využití.* Diplomová práce. Brno: MZLU v Brně, 2009.
2. DOHÁNYOS, M. – ZÁBRANSKÁ, J. *Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí.* Praha: MŽP, 1996. 172 s. PHARE. ISBN 80-85368-90-0.
3. SCHULZ, H. – EDER, B. *Bioplyn v praxi.* Ostrava: BEN, 2004. ISBN 80-86167-21-6.
4. STRAKA, F. – DOHÁNYOS, M. *Bioplyn : [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů].* Praha: GAS, 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6.
5. STEJSKAL, B. – KRÁL, V. Bilance skládky a vývin skládkového plynu. In *Sborník přednášek Odpadové fórum 2008.* Praha: PCHE – PetroCHemEng., Ing. Jaromír Škarka, CSc., 2008, s. 4126–4130. ISBN 978-80-02-02011-0.
6. JANKOT, T. *Využívání skládkového plynu.* Diplomová práce. Brno: MENDELU Brno, 2010. 69 s.

Datum zadání bakalářské práce: říjen 2013

Termín odevzdání bakalářské práce: duben 2015

Agronomická fakulta
L. S.
Mendelova univerzita v Brně
-4-

Marek Stránský
Autor práce

Bc. Ing. Jan Kudělka
Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Mareček, DrSc.
Vedoucí ústavu

v z.
prof. Ing. Ladislav Zeman, CSc.
Děkan AF MENDELU

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: Perspektiva využití skládkového plynu ze skládky komunálního odpadu, vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb.,o vysokých školách ve znění pozdějších předpisů a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací.*

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše.

V Brně dne:……..

……..
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Bc. Ing. Janu Kudělkovi za odborné vedení, spolupráci a především trpělivost. Dále technickému pracovníkovi firmy Hrúba a syn spol. s r.o. Václavu Koberovi za poskytnutí stěžejných materiálů.

ABSTRAKT

Skládkování je nejrozšířenější způsob nakládání s komunálním odpadem v České republice. Na skládky je ukládáno průměrně 50 % produkce komunálního odpadu. Komunální odpad obsahuje organicky rozložitelnou složku, při jejímž rozkladu vzniká skládkový bioplyn. Pro jeho vznik musí být bezpodmínečně splněny podmínky anaerobního prostředí a dostatečné vlhkosti. Tvorbu plynu také ovlivňuje teplota, pH a složení rozkládaného materiálu. Aby se zabránilo volnému úniku metanu, provozovatelé komunálních skládek mají povinnost skládkový plyn jímat a zpracovávat. Jelikož je skládkový plyn vnímán jako alternativní zdroj energie, při dostatečném množství metanu může být využíván jako palivo do kogeneračních jednotek. Dnešní legislativa si dává za cíl snížit podíl organicky rozložitelného odpadu ukládaného na skládky. Proto, i přes dnešní rozšíření, využívání produkce skládkového plynu má do budoucna snižující se perspektivu. V bakalářské práci se zabývám podmínkami vzniku skládkového plynu a jeho jímáním. Dále jsem na skládce komunálního odpadu v Ronově nad Sázavou analyzoval množství a kvalitu vyprodukovaného plynu.

Klíčová slova: skládkový plyn, skládkování, odplynění, kogenerace

ABSTRACT

Landfilling is the most common way of dealing with municipal waste in the Czech Republic. In average 50 % of municipal waste is dumped on landfills. Municipal waste contains organically degradable components, at which decomposition occurs landfill biogas. For the creation of landfill gas there must be strictly anaerobic environment conditions and sufficient humidity. Creation of gas also affects the temperature, pH and the composition of the decomposed material.To prevent the free release of methane, operators of municipal landfills have an obligation to collect and process landfill gas. Since landfill gas is perceived as alternative energy source, if it has sufficient amount of methane it can be used as fuel in a cogeneration units.Today's legislation is aimed to reduce the proportion of organically degradable waste imposed on landfills. Therefore, despite the current spread, use of landfill gas production has decreasing future prospects. In the thesis I deal with conditions of forming landfill gas and its collecting. I also analyzed the quantity and quality of produced gas in landfill of municipal waste in Ron nad Sazavou.

Keywords: landfill gas, landfill, degassing, cogeneration

OBSAH

1 ÚVOD 9
2 CÍL 10
3 VZNIK BIOPLYNU 10
3.1 Vznik bioplynu 10
3.2 Podmínky vzniku bioplynu v tělese skládky komunálních odpadů 12
3.3 Chemické složení bioplynu 15
3.3.1 Majoritní složky skládkového bioplynu 15
3.3.2 Minoritní složky v bioplynu 16
3.4 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynů 19
3.4.1 Výbušnost 19
3.4.2 Výhřevnost 19
3.4.3 Metanové číslo 20
3.4.4 Vlhkost plynu 20
4 PRÁVNÍ PŘEDPISY K PROCESU SKLÁDKOVÁNÍ 21
4.1 Podmínky vzniku a provozu skládky 22
4.2 Rozdělení skládek 24
4.2.1 Podle stavebního zákona 24
4.2.2 Podle zákona o odpadech 25
4.2.3 Rozdělení podle potřeby odplynění 26
4.3 Technické řešení odplynění skládek 27
4.3.1 Odplyňovací systémy 27
4.3.2 Komponenty odplyňovacích systémů 28
4.4 Způsoby využití jímaného plynu 30
4.4.1 Kogenerace 30
4.4.2 Trigenerace 32
4.4.3 Spalování na flérách 33
5 METODIKA 33
6 VÝSLEDKY 34
6.1 Úvod do projektu 34
6.2 Odplyňovací systém 36
6.2.1 Odplyňovací vrty a studny 36
6.2.2 Napojení vrtů na hnízda 38
6.2.3 Odloučení kondenzátu 39
6.2.4 Vlhčení odpadu 39
6.3 Kogenerační jednotka 39

6.4 Výsledky a zhodnocení....40
7 ZÁVĚR....42
8 LITERATURA....43
9 SEZNAM OBRÁZKŮ....45
10 SEZNAM TABULEK....46
11 PŘÍLOHY....47

1 ÚVOD

Za poslední roky je velice znatelný nárůst zájmu o alternativní zdroje energie. Jednou z nich je výroba bioplynu. Odraz tohoto trendu je viditelný v počtu vybudovaných bioplynových stanic. Bioplyn vzniká jako plynný produkt metanové fermentace v anaerobním prostředí. Na postupné přeměně biologicky rozložitelného substrátu se podílí během čtyř základních fází acidogenní a metanogenní bakterie. Výsledná plynná směs je složena ze dvou majoritních složek metanu a oxidu uhličitého a minoritních komponent obsažených v menší míře. Spalováním této směsi dochází, především díky obsahu metanu, ke vzniku energie, která se dá průmyslově využít.

Zpracování bioplynu nabízí hned několik možností. Spálení v plynovém kotli za vzniku tepla, který je ale z ekonomického hlediska nejméně výhodný.
Zušlechtění na biometan neboli odstranění CO_2. Nejrozšířenější technologií je využívající rozdílnou rozpustnost plynů ve vodě, tzv. water scrubbing. Biometan se využívá jako palivo pro pohon motorových vozidel.
Spálení v kogenerační jednotce za vzniku elektrické energie a tepla. Tento způsob je v praxi používám nejčastěji, především pro svoji vysokou účinnost. Účinnost se pohybuje v rozmezí 75-92 % podle použitého zařízení. Podmínkou využití jak tepelné, tak elektrické energie je napojení spalovacího zařízení na tepelnou rozvodnou síť a elektrickou rozvodnou síť. Potřeby tepla se během teplejších letních měsíců snižují, především pokud nejde o zemědělská zařízení. Problém s nižší potřebou tepla může vyřešit trigenerace, která navíc obsahuje chladící jednotku absorpčního typu převádějící teplo na chlad.

Skládkování je nejčastější způsob odstranění odpadu v České republice. V roce 2014 se na skládky uložilo 48 % z celkových 5 324 000 Mg vyprodukovaného komunálního odpadu. Součástí komunálního odpadu jsou organicky rozložitelné složky. Jejich rozkladem vzniká skládkový plyn, který mají provozovatelé skládek povinnost jímat a zpracovávat. Proto se domnívám, že problematika odplyňování komunálních skládek je aktuální.

Navázal jsem spolupráci s provozovatelem skládky komunálního odpadu v Ronově nad Sázavou. Během několika návštěv skládky jsem získal přehled o procesech a postupech dějících se na skládce. Získal lepší povědomí o procesech vedoucích ke vzniku bioplynu a jeho následného jímání. A měl možnost porovnat teorii z učebnic a odborných knih s praxí, která se mnohdy liší.

2 CÍL

Cíle bakalářské práce vychází ze zadání práce. Teoretická část zahrnuje seznámení s procesy vedoucí ke vzniku skládkového plynu. Literární rešerše se dále věnuje zabezpečení skládek proti volnému úniku plynu a způsobům jeho cíleného jímání.

V praktické části práce je proveden průzkum skládky komunálního odpadu v Ronově nad Sázavou. Průzkum se týkal způsobu jímání plynu. Taktéž je následně provedena jeho analýza s cílem určení kvality, složení a množství.

3 VZNIK BIOPLYNU

3.1 Vznik bioplynu

Bioplyn vzniká z organických látek metanovou fermentací v anaerobním prostředí. Organicky rozložitelné látky jsou postupně rozkládány bakteriemi až na směs plynů. Majoritními složkami plynu jsou metan (obsah v rozmezí 50-85%) a oxid uhličitý (obsah v rozmezí 15 - 50%). Minoritními složkami nejčastěji jsou sulfan, vodík nebo amoniak, avšak mohou jich být stovky až tisíce. Obsah komponent je závislý na složení substrátu a podmínkách vzniku. Proces fermentace je pro zjednodušení rozdělen do čtyř základních fází, kdy v každé fázi pracují jiná společenstva bakterií. Tyto bakterie, navzdory odlišným požadavkům pro růst, žijí simultánně.

- První fází je *hydrolýza*, během které se pomocí hydrolytických enzymů rozkládají komplexní sloučeniny (polysacharidy, bílkoviny, tuky) na jednodušší organické sloučeniny (monosacharidy, alifatické karbonové kyseliny,mastné kyseliny). Rozklad probíhá fakultativně aerobně nebo aerobně, často již během svozu odpadů.
- Druhá fáze je *acidogeneze*, která vede k produkci nižších nasycených karbonových kyselin. (máselná, kapronová, valerová), vodíku a oxidu uhličitého. Vzniká také anaerobní prostředí, v kterém se mohou plně rozvíjet metanogeny. Zastoupení acidogenních bakterií je velice pestré, jedná se především o rody Clostridium, Eubacterium, Lactobacillus a Bifidobacterium.

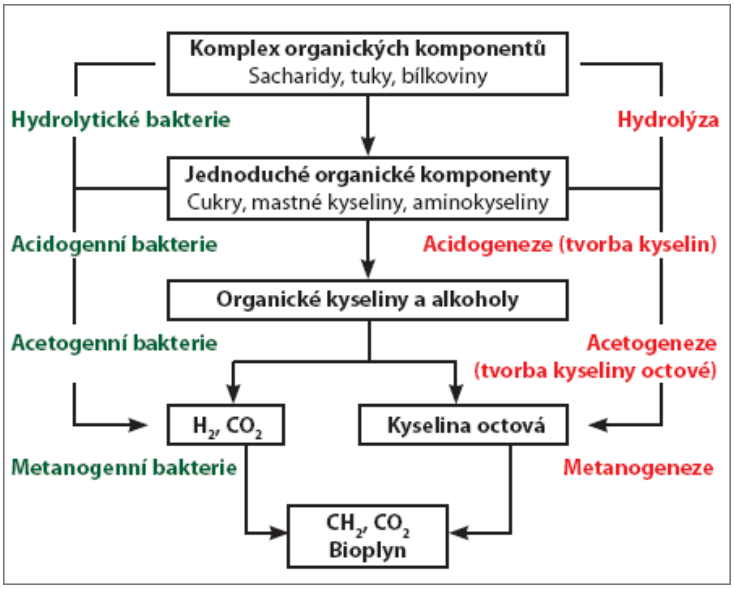
- Třetí fází je *acetogeneze* resp. Syntrofní acidogeneze, neboli tvorba kyseliny octové. Tato fáze je velice důležitý mezičlánek fermentace, kdy syntrofní druhy bakterií (Syntrophomonas wolfei) svými metabolickými procesy poskytují postupně nižší alifatické karbonové kyseliny (propionová, octová) a během jejich rozkladu významný podíl oxidu uhličitého a vodíku. Avšak vysoký podíl vodíku silně zpomaluje bakterie (Syntrophobacter wollinii) rozkládající kyselinu propionovou.
- Čtvrtou fází je *metanogeneze*. Metanogenní bakterie se podle druhu rozkládajícího substrátu dělí na acetotrofní metanogeny, produkují-li metan z kyseliny octové, a hydrogenotrofní metanogeny, je- li jejich substrátem vodík a oxid uhličitý. Hydrogenotrofní bakterie způsobují téměř úplné vymizení vodíku z výsledného bioplynu. Až při dramatickém snížení obsahu vodíku mohou simultánně růst syntrofní bakterie rozkládající kyselinu propionovou a následně vzniklou kyselinu octovou (CH_3COOH) zpracovávat acetotrofní metanogeny. Avšak i acetotrofní metanogeny (Methanosarcina bakteri) produkují menší podíl metanu také z vodíku a metanolu (CH_3OH), navíc za vyššího energetického výtěžku. Přeměny názorně ukáží níže uvedené rovnice:

  $CH_3COOH = CH_4 + CO_2$ $G° = -32$ kJ/mol

  $CO_2 + 4H_2 = CH_4 + H_2O$ $G° = -130$ kJ/mol

  $CH_3OH + H_2 = CH_4 + H_2O$ $G° = -112$ kJ/mol

  [8]



Obrázek 1: Tvorba bioplynu
Zdroj: http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/

3.2 Podmínky vzniku bioplynu v tělese skládky komunálních odpadů

I když je rozvoj metanogenních procesů zcela samovolný, rozhodně není zcela samozřejmý. Je bez výjimek nutné splnit veškeré následující podmínky k tomu, aby se ve skládce začal vyvíjet bioplyn.

Anaerobní prostřední

Pro správný proces fermentace a následný vznik skládkového plynu je nutností anaerobní prostředí, jelikož metanogenní bakterie jsou striktně anaerobní. Bakterie pracující ve fázích hydrolýzy a acidogenéze jsou fakultativně anaerobní. Svojí aktivitou spotřebují všechen kyslík a tím připraví vhodné prostředí pro rozvoj metanogenních. Pro udržení anaerobního prostředí musí být skládka dostatečně hluboká, hutněná a musí mít vybudovanou odplynovací drenáž tak, aby přes ni do tělesa skládky nevnikal vzduch.

Inhibitující látky

Jde o látky, které svou přítomností zpomalují nebo dokonce zastavují proces vzniku bioplynu. Mezi tyto látky patří herbicidy, organické kyseliny, dezinfekční prostředky, rozpouštědla nebo těžké kovy. Zmiňované látky se do tělesa skládky dostanou v případě nedodržení Zákona o odpadech 185/2001 Sb., který každému občanu stanovuje povinnost třídit komunální odpad. Těžké kovy ovlivňují acidogenní organismy, některé zdroje však uvádí i metanogenní. Podle svého toxického vlivu se prvky řadí do řady s klesajícím efektem Cu > Zn > Cr > Cd > Pb > Ni. Těžké kovy jsou však sirovodíkem (H_2S) a následně vysráženy ve formě sulfidů (S^{2-}). V těchto případech byly látky součástí substrátu. Další možností je vznik nadbytečného množství produktů během vzniku plynu. Například amoniak (NH_3), který působí již v nepatrném množství toxicky. Snadno reaguje s vodou za vzniku NH_4^+ (bakterie jej využívají jako zdroj dusíku) a OH^-. Zvyšující se koncentrace OH^- snižuje hodnotu pH, to vede ke snížení rovnováhy cyklu. Další produkt je sulfan (H_2S), který v rozpuštěné formě působí jako inhibitor již při velmi nízké koncentraci 50mg/l.

Vlhkost

Metanogenní bakterie jsou schopné růst pouze ve vlhkém prostředí. V prostředí s nedostatečnou vlhkostí nedokáží anaerobní rozkladné procesy vůbec započat a při ztrátě vlhkosti se dokonce již započaté procesy zastavují. Vlhkost komunálního odpadu dováženého na skládky má běžně vlhkost 22-30 % hm. Naproti tomu vlhkost perkolační, neboli hranice úplného nasycení odpadů, se pohybuje v rozmezí mezi 40-55 % hm. Tyto hodnoty se udávají jako ideální podmínky pro tvorbu plynu. Jde o stav, kdy nově přitékající voda již není zachycována odpadem, ale protéká. Takto protékající voda zajišťuje vhodné prostředí pro metanizaci, roznáší mikroorganismy, enzymy a živiny dále do tělesa skládky. Dosažení ideálních podmínek neboli perkolačního stavu ovlivňuje mnoho lokálních faktorů. Mezi ně patří množství přiváženého odpadu, obsah vody v tomto přiváženém odpadu, hloubka skládky, plocha skládky, srážky na daném území, odtok nebo recykl výluhů, možný přítok (anebo odtok) vody z (nebo na) území mimo skládku, odpar z povrchu skládky (charakter povrchu, teploty, vzduchu a povrchu, vítr, vzdušná vlhkost), hutnění odpadu (ideálně v rozmezí mezi 500 - 1000 kg/m^3), charakter odpadů (perkolační mez vody). [3] , [8]

Pro rychlý rozvoj metanizačních procesů existuje celá řada jiných podmínek. Ty však již nemají tak významný dopad na samotnou tvorbu plynu. Při jejich nedodržení většinou nedochází k úplnému zastavení biologických procesů tvorby plynu, ale ovlivňují jeho kvalitu, složení a rychlost tvorby.

Teplota

Metanogenní bakterie kumulují v rozmezí teplot 0°C až 70°C. Podle odlišných nároků na teplotu se bakterie dělí na:

- *psychrofilní* (kumulují při teplotě 20°C)
- *mesofilní* (30 - 40°C)
- *termofilní* (nad 45°C).

Při odchýlení od teplotního optima se rozkladné procesy zpomalují, až zastavují. Obecně lze říci, že čím je teplota vyšší, tím jsou bakterie citlivější na změnu teploty. U mesofilních kmenů je hraniční odchýlení od střední teploty 2 - 3°C, zatímco u termofilních kmenů pouze 1°C. Při postupné změně teploty mají bakterie schopnost adaptace.

Pro technickou praxi nemají podstatný význam psychrofilní kmeny. Jelikož platí, že s rostoucí teplotou se rozkladné procesy úměrně zvyšují, proto se v praxi využívají termofilní kmeny. Během termofilních procesů dochází k destrukci patogenů, tedy k vysokému stupni hygienizace.

Hodnota pH

Koncentrace vodíkových iontů (přesněji iontů H_3O^+) ovlivňuje biochemické procesy přímo, i nepřímo acidobasickými rovnováhami anorganických i organických iontů. Při procesech metanizace jsou zvláště významné rovnováhy CO_2, H_2S, NH_3 a kyselin octové a propinové. Metanogenní bakterie mají svá optima pH mezi 6,2 - 7,8. Některé metanogeny požadují úžší rozmezí pH např. *Methanospirilluim* (6,5 - 7,5) jiné např. *Methanobacterium* dokáží kultivovat ve velice širším rozpětí pH (5,0 - 8,1). Obecně však platí, že pokles pH pod 6,0 zapříčiní inhibici díky vzniku neionizovaných kyselin. Při hodnotách pH = 7,6 může proces inhibitovat nárůst volného NH_3.

Přísun živin

Pro správný růst bakterií, které při této aktivitě zpracovávají substrát, musí být podíl rozkládaných živin v optimálním poměru. Produkce výsledného metanu je dána podíly proteinů, tuků a sacharidů ve zpracovávaném substrátu.

Během chemických reakcí bakterií jsou uhlík a dusík zpracovávány v potřebné míře. Pokud bude substrát oproti dusíku obsahovat nadměrné množství uhlíku, nedojde k jeho úplnému zpracování. V opačném poměru může z nadbytečného dusíku vzniknout vetší množství amoniaku (NH_3). Tato forma dusíku působí na bakterie jako inhibitor, což vede k zastavení aktivity až úplnému odumření bakterií a tím pádem zastavení procesu vzniku bioplynu. U umělé reaktorové biometanizace je pro hladký průběh čtyřfázového procesu důležité poměr uhlíku a dusíku udržovat mezi 10 až 30. Pro vhodné zásobení živinami se udává poměr C : N : P : S = 600 : 15 : 5 : 1. [8]

3.3 Chemické složení bioplynu

Na chemické složení bioplynu lze nahlížet dvěma způsoby. Při pohledu na složení majoritních složek je vcelku jednoduché rozlišení hlavních dvou plynů, kterými jsou metan a oxid uhličitý, jejichž poměr závisí na podmínkách vzniku, především fázi biometanizace a kvality substrátu. Avšak složení minoritních komponent je velice početné a v závislosti na složení původního substrátu mohou vzniknout až stovky různých plynů, mající ale zastoupení řádově ve stovkách miligramů.

3.3.1 Majoritní složky skládkového bioplynu

Bioplyn je v podstatě binární směs metanu a oxidu uhličitého, jejichž poměr je závislý na podmínkách vzniku. U ideálního reaktorového plynu se obsah metanu pohybuje v rozmezí 50 - 75 % a oxidu uhličitého mezi 25 - 50 %. Skládky odpadů se však od umělých reaktorů liší. Nejedná se o těleso ideálně plynotěsné, kdy měnící se barometrický tlak často způsobí naředění plynu se zůstatkem zreagovaného vzduchu nebo v horším případě s nezměněným přisátým vzduchem. To má za následek, že skládkový plyn obsahuje i podíly vzdušného dusíku a nezreagovaný kyslík.

Metan je plynný a nejjednodušší uhlovodík, bez barvy a zápachu s výhřevností 35,8 MJ/m^3. Je lehčí jak vzduch, měrná hmotnost je ρ = 0,7168 kg/m^3 a již při 5 - 15% směsi se vzduchem je výbušný. Kromě výskytu v bioplynu je taktéž významnou součástí zemního plynu nebo báňského plynu.

Oxid uhličitý je bezbarvý, nehořlavý plyn bez zápachu. Jeho měrná hmotnost je ρ = 1,9768 kg/m^3 oproti vzduchu ρ = 1,29 kg/m^3. Při vdechnutí se v krvi váže na hemoglobin a tím vytěsňuje kyslík. V určitých koncentracích hlavně v uzavřených prostorách má negativní vliv na zdraví lidí, již při koncentraci vyšší jak 2,7 % zřetelně ovlivňuje dýchání, tepovou frekvenci a krevní tlak. Koncentrace vyšší jak 5 % jsou nebezpečné již při pobytu 30 minut, u 6 % působí bezvědomí v několika minutách. Delší pobyt při koncentraci CO_2 vyšších než 9 % objemových ohrožují život.

U odpadů zavezených na skládku, které byly čerstvě zkompaktovány, dochází k relativně rychlému vyčerpání kyslíku. Následně jsou aerobní procesy střídány procesy anaerobními. Poměrně rychle dochází k acidogenním reakcím, které však ve většině případů nedoprovází reakce metanogenní, jak tomu bývá v reaktorech bioplynových

stanic. Prodleva, než začnou metanogenní procesy, může trvat i více než 2 roky a je závislá na úplném odstranění kyslíku a změně pH k neutrálním až zásaditým hodnotám. V této fázi je složení plynu velice atypické. Obsah CO_2 může dosáhnout až 80 % a je doprovázen neobvykle vysokou produkcí H_2, často v jednotkách procent. Stav, kdy se acidogeneze a metanogeneze ustavují do rovnováhy, se nazývá metanogenní fáze nestabilizovaná. Složení plynu se plynule mění, množství CO_2 klesá na hodnoty kolem 50 %, hodnoty metanu se zvyšují až ke 40 % . Jde o velice citlivý stav, kdy může mnoho faktorů (vyčerpání vody, nevhodně uspořádaná drenáž zaváděcí vzduch do nitra skládky) navrátit stav acidogeneze. Pokud nedojde k narušení, metanogenní fáze nestabilizovaná plynule přechází do fáze metanogenní a hodnoty oxidu uhličitého jsou 28 - 38 % a metanu 50 – 64 %. [7]

Tabulka 1: Složení plynů ve skládkách odpadů [% obj.] jako příklady různých stavů tělesa

	CH_4	**CO_2**	**O_2**	**N_2**	**H_2**
Acidogenní faze ("mladý odpad")	0	80	0	18	2
Metanogenní faze nestabilizovaná	20	64	0	16	0
Metanogenní faze nestabilizovaná	40	55	0	5	0
Metanogenní faze stabilizovaná	62	37	0	1	0
Metanogenní faze stabilizovaná (skládka přetížena dosáváním)	47	33	0	20	0
Skládka dlouhodobě přetížena, system odyplnění aerobizován	40	27	3	30	0

3.3.2 Minoritní složky v bioplynu

Chemické složení minoritních sloučenin skládkového plynu je oproti majoritním složkám velice početné. Počet identifikovaných látek se odhaduje na 500 - 600. Pro praktické účely jsou analýzy minoritních uhlovodíků bezvýznamné. Jejich podíl při spalování na vzniku energie není vyšší než 1 – 2 %, to je méně než nepřesnost určení výhřevnosti metanu. Pozornost se upíná především na technicky významné příměsi v plynu. Jedná se o látky, které mohou být původcem korozních problémů nebo jsou toxické pro člověka či metanogenní bakterie. [8]

Sirovodík

Hlavním zdrojem síry v substrátu jsou bílkoviny. Proto se dá říci, že skládkový plyn obsahuje zcela úměrně tolik síry, kolik jí bylo obsaženo v biologicky rozložitelné formě odpadu. Mezi nejvíce sledované plyny na skládce patří sirovodík. Problém sirovodíku pro člověka je jeho toxicita způsobující při nadechnutí smrt již při 1 g/m^3. Avšak na rozdíl od reaktorového plynu, skládkový plyn běžně sirovodík v nadlimitním (20 mg/m^3) množství neobsahuje. Běžný obsah sirovodíku je 10 mg/m^3, výjimečně do 80 mg/m3 a to v nejmladších obdobích ukládání odpadu. V substrátech s obsahem bílkovin vzniká sulfan dehydrosulfurací sirných aminokyselin. Tento proces způsobují sulfátredukující bakterie (STK).

Velké množství sirovodíku se uvolňuje během rozkladů v acidogenní fázi, kdy navíc jeho vytěsňování pomáhá nízké pH. Kovový, hlavně železný odpad má na skládkách poměrně velké zastoupení. Železnaté ionty vzniklé korodováním slouží při pH 6,5 - 7,5 jako sorbent pro sirovodík.

$Fe + 2HAv = Fe^{2+} + 2Ac^{-} + H_2$

$Fe^{2+} + H_2S = FeS + 2H^{+}$

Druhým zdrojem sirovodíku jsou síranové anionty. Sírany slouží jako elektronový akceptor v tzv. disimilačních redukcích STK (*Desulfobacter, Desulfobulbus*). Proto není vhodné společně ukládat komunální odpady s odpady energosádrovce. Vysoký podíl síranů v energosádrovci by mohl vést k veliké produkci sirovodíku, na jehož zachycení by uvnitř skládky nemuselo být dostatečné množství železného odpadu. Díky podílu sirovodíku by se skládkový plyn stal obtížně zpracovatelným. [8] , [10]

Organokřemičitany

V dnešní době patří křemík pro své vlastnosti mezi průmyslově hojně využívaným prvkem. Na skládce komunálních odpadů se můžeme setkat s anorganickou formou SiO_2 nebo s organokřemičitanovými sloučeninami.

Organokřemičitany se rozdělují do čtyř základních skupin:

- saliny
- klazany
- silathiany
- siloxany

Právě siloxany, lidově nazývány silikony, jsou hojně se vyskytujícími látkami na skládkách komunálních odpadů ve formách různých mazacích, čistících, leštících či aviváţních přípravků a olejů nebo v kosmetice. Siloxany, na rozdíl oxidu křemičitého, vstupují do procesů biomethanizace a stávající se minoritní složkou skládkového plynu (cyklické siloxany se 3,4 a 5 stavebními jednotkami –SiO-). Během procesů spalování se přeměňují na oxid křemičitý.

Oxid křemičitý nemá v této formě a množství škodlivé účinky na lidské zdraví. Lidé denně vdechují i větší dávky mikroskopického křemičitého prachu. Může však způsobit poruchy spalovacích motorů. Extrémně malé částice oxidu křemičitého jsou několikanásobně mešní než nerovnosti činných ploch motorů. Proto nemohou mít žádné přímé abrazivní vlivy. Nicméně postupné nahromadění v částech spalovacího motoru a následné potencionální odlomení tohoto nánosu může způsobit významný abrazivní efekt.

Řešením je hluboké čištění bioplynu, které však mnohdy převyšuje cenu motoru i s provozními náklady. Proto se obecně doporučuje raději pravidelně renovovat motor. [7]

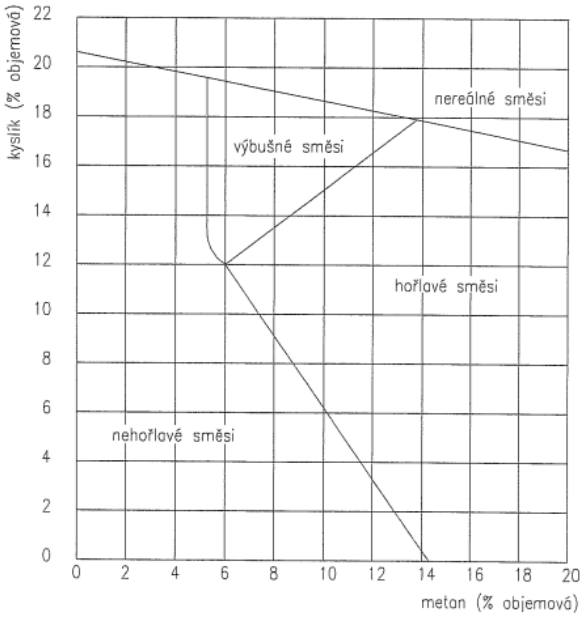
Dusík

Dusík se do skládkového bioplynu dostane pouze jako součást okolního vzduchu, v němž má vysoké procentuální zastoupení 78 %. Proto přítomnost dusíku ve skládkovém plynu signalizuje aerobizaci. Za hodně infiltrovaný plyn se považuje s obsahem N_2 10 % a vice. Sám o sobě na kvalitu plynu nemá vliv, slouží pouze jako indikátor. [10]

3.4 Fyzikální a chemické vlastnosti bioplynů

3.4.1 Výbušnost

Výbušnost skládkového plynu je určena obsahem metanu ve směsi s interními plyny a vzduchem. Meze výbušnosti L jsou pro metan při podmínkách (t = 20 °C, p = 101,3 kPa) následující: dolní mez L_d = 5 % objemových a horní mez L_h = 15 % objemových. Meze výbušnosti jsou závislé na tlaku a rozšiřují se s jeho nárůstkem, významně již pro tlaky převyšující 2MPa. Zápalná teplota pro směs metanu se vzduchem je 540°C. Přechod plynu z hoření k výbuchu silně závisí na teplotě, tlaku a složení hořlavé směsi. Obecně lze říci, že směsi nejsnáze podléhající deflagraci (přechod hoření k výbuchu se vznikem rázové vlny) se vyskytují uprostřed mezní oblasti (7 - 9 % objemu CH_4), kde koncentrace kyslíku je mezi 14 % a 18 % objemu. Oblasti hoření, výbušnosti a nevýbušnosti znázorňuje nejlépe Coward-Jonesův diagram sestrojený pro směsi metanu se vzduchem. [10]



Obrázek 2: Coward-Jonesův diagram

3.4.2 Výhřevnost

Skládkový plyn je binární směsí metanu a oxidu uhličitého v různých poměrech obsahu. Přičemž celková výhřevnost závisí na obsahu metanu, oxid uhličitý se při spalování chová jako inert. Jako porovnání různých výhřevností v závislosti na složení bioplynu slouží následující tabulka.

Tabulka 2 Výhřevnost a složení bioplynu různých substrátů

Parametr	Bioplyn jímaný ze skládky odpadů	Bioplyn (ČOV)	Bioplyn (prasečí kejda)
Výhřevnost (MJ/m3)	16,9	21,1	24
H2 (%)	1	1	-
CO (%)	1	-	-
O2 (%)	3	-	-
N2 (%)	-	-	-
C1-, F- (mg/m3)	-	-	-
NH3 (mg/m3)	-	-	40
CO2 (%)	46	38	31
CH4 (%)	49	61	69
H2S (mg/m3)	350	1000	2300

Zušlechtěním na biometan neboli odstraněním CO_2 může výhřevnost dosáhnout až na 35,8 MJ/m^3.

3.4.3 Metanové číslo

Udává odolnost paliva proti tzv. klepání motoru. Obdobou je u kapalných pohonných hmot oktanové číslo nebo cetanové číslo.

Metanové číslo u plynného paliva určuje obsah metanu (obj. %) spalované binární směsi metanu a vodíku ve zkušebním spalovacím motoru. Metanu je definičně přiřazeno metanové číslo 100 a vodíku metanové číslo 0. Metan jako palivo ve spalovacím motoru není náchylný ke klepání (jeho ON je asi 140) oproti vodíku, který je velmi náchylný ke klepání. Obsahuje-li plynné palivo i jiné složky (CO_2, N_2), přiřazování metanového čísla je experimentální záležitostí. Proměřuje se definovaným postupem zkušebního spalovacího motoru a porovnává se se směsí vodíku a metanu.

3.4.4 Vlhkost plynu

Jímané skládkové plyny běžně obsahují určité množství vodní páry. Důležitou vlastností směsi plynů, která obsahuje vodní páru, je to, že právě vodní pára může kon-

denzovat snadněji než ostatní složky plynu. Vodní pára má vliv na transportní a termodynamické vlastnosti plynné směsi. Veličiny, které definují vlhkost plynu jsou tlak vodní páry, relativní vlhkost, absolutní vlhkost, stupeň nasycení plynu, molární vlhkost, měrná vlhkost, hmotnostní zlomek vodní páry, objemový zlomek vodní páry, molární zlomek vodní páry, teplota rosného bodu a rosný tlak. [2] , [8]

4 PRÁVNÍ PŘEDPISY K PROCESU SKLÁDKOVÁNÍ

Celková roční produkce KO v roce 2014 činila 5 324 000 Mg, z kterých se přibližně 48 % skládkovalo. Jedná se tedy o nejčastější způsob nakládání s odpady, především z ekonomických důvodů a jednoduchosti samotného procesu. Vzhledem k tomu, že se jedná hlavně o odpad z domácností, podíl biologicky rozložitelného komunálního odpadu (BRKO) tvoří nezanedbatelný podíl (35 - 50 %). Avšak proces skládkování sebou nese veliká rizika a dopady na životní prostředí, mezi které se řadí produkce skleníkových plynů (metan, oxid uhličitý), průsak skládkové vody a následná kontaminace spodních vod, nebezpečí požáru a přemnožení škůdců. Zamezení těchto dopadů má za úkol postupně upravovaná legislativa.

Prvním legislativním krokem k omezení skládkování přijatým Českou republikou byla Směrnice rady 1999/31/ES o skládkách odpadů. Řeší technické a provozní náležitosti vedoucí ke snížení dopadu skládkování na životní prostředí, zejména znečištění povrchových vod, podzemních vod a ovzduší. Požaduje snížení biologicky rozložitelných odpadů ukládaných na skládky na 75 % celkového vyprodukovaného komunálního odpadu v roce 1995 do roku 2006, na 50 % do roku 2009 a 35 % do roku 2016. U států, v kterých v uvedeném roce bylo skládkováno 80 % komunálního odpadu (ČR, Španělsko, Velká Británie), bylo možno odložit splnění cílů o 4 roky. Pro ČR jsou závazné roky 2010, 2013 a 2020.

Nejdůležitějším legislativním nástrojem je Zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. Ten rozvádí a doplňuje předchozí Směrnici rady o skládkách odpadů. Zavádí katalog odpadů (Vyhláška č. 93/2016 Sb.), který rozděluje odpad do 20 skupin, podle nichž se s odpadem následně nakládá. Zavádí hierarchii odpadů, která určuje pořadí nakládání s odpady. Obsahuje plány odpadového hospodářství pro daná období. Aktuální plán odpadového hospodářství České republiky pro období 2015 – 2024 (Nařízení vlády

352/2014) nařizuje průběžné upravování poplatku za skládkování využitelných odpadů tak, aby jeho výše znevýhodňovala skládkování těch druhů odpadů, které bude od roku 2024 zakázáno skládkovat. Zákon dále ukládá povinnost třídit komunální odpad každému občanu České republiky. Zákon 229/2014 upravující Zákon o odpadech stanovuje vedle již běžných složek třídit BRKO a také zakazuje skládkování směšného komunálního odpadu od roku 2024. [12] , [13] , [14] , [15] , [16]

Tabulka 3 Produkce komunálních odpadů a procentuální podíl ukládání na skládky v jednotlivých letech

Rok	2000	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Celková produkce (1 000 Mg/rok)	4258	4615	4603	4652	4439	3979	3846	3812	5324	5362	5388	5193	5168	5324
Uloženo na skládky (%)	60,3	63,3	63,3	64,4	69,3	81	86,2	89,9	64	59,5	55	54	52	48

4.1 Podmínky vzniku a provozu skládky

Zákon o odpadech 185/2001 finanční rezerva

Provozovatel skládky odpadů je povinen před provozem skládky prokázat finanční bezúhonnost a zřídit zvláštní účet, kde bude z poplatků za ukládání odpadu vytvářet a vést finanční rezervu na rekultivaci a asanaci skládky po ukončení provozu. Zamezit negativnímu vlivu skládky na životní prostředí po dobu nejméně 30 let po jejím uzavření. Ukládat pouze ty odpady, pro které je skládka technicky zabezpečena.
Rozhodujícím hlediskem pro ukládání odpadů je jejich složení, mísitelnost, nebezpečné vlastnosti a obsah škodlivých látek ve vodném výluhu. Původce odpadu je povinen platit za ukládání odpadu poplatek skládající se ze dvou složek- základní a rizikové. [12]

Norma 8380 30 Skládkování odpadů – Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek

Norma stanovuje základní podmínky pro navrhování, výstavbu a uzavírání povrchových skládek odpadů. Vzájemně se prolíná s níže vypsanými normami této řady, které ji doplňují a konkretizují.

ČSN 83 8032 Skládkování odpadů – Těsnění skládek
ČSN 8380 33 Skládkování odpadů – Nakládání s průsakovými vodami ze skládek
ČSN 83 8034 Skládkování odpadů – Odplynění skládek
ČSN 83 8035 Skládkování odpadů – Uzavírání a rekultivace skládek
ČSN 83 8036 Skládkování odpadů – Monitorování skládek
TNO 83 8039 Skládkování odpadů – Provozní řád skládek
ČSN 75 3310 Odkaliště

Stanovuje povinnosti vypracování průzkumů a studií, jejichž rozsah je závislý na skupině skládky a potencionálním vlivu skládky na životní prostředí. Povinné podklady se dají jednoduše rozdělit na geotechnické, geodetické, klimatické a hydrologické a základní údaje o předpokládané skladbě a množství ukládaného odpadu.

Dále stanovuje, podle jakých kritérií se může skládka umístit, především jde o pásma hygienické ochrany podzemních a povrchových zdrojů pitné vody, záplavové oblasti, území národních parků nebo chráněných krajinných oblastí.

Následně udává podmínky utěsnění. Tyto podmínky se liší podle skupiny skládky. Vzhledem k tématu mé bakalářské práce nás zajímají skládky skupiny S-OO. Jim norma udává dvě bariéry.

Geologická bariéra by mělo být podloží z hornin o mocnosti nejméně 1 m a se součinitelem filtrace $k \leq 1.10^{-9}$ m/s. Pokud podloží tuto podmínku nesplňuje, může být uměle doplněno vrstvou, která splňuje podmínku nejvýše 3.10^{-9} m^3/s teoretického proteklého množství na 1 m^2 plochy. Tloušťka této vrstvy by měla mít alespoň 0,5 m.

Technická bariéra musí být použita z fóliového těsnění. Parametry těsnění stanovuje ČSN 83 8032.

Také nařizuje odvodnění skládek. Skládka musí být odizolována od okolí tak, aby bylo zabráněno přítoku povrchové vody z okolí. Při návrhu k tomu určených záchytných příkopů musí být dimenzovány na 100-letý průtok z příslušného povodí

skládky. Všechny skládky musí mít navržený drenážní systém tak, aby odváděl průsakové vody mimo těleso skládky. Tento systém je pokládán na těsnění. Obvykle jej tvoří plošný prvek, který je doplněn trubkovými drény. Systém je navržen tak, aby byl plně funkční po celou dobu provozu. Materiál drenážního plošného systému skládky skupiny S-OO musí splňovat filtrační součinitel $k \geq 1.10^{-4}$ m/s. Doporučená tloušťka vrstvy je 0,5 m. Průsakové vody musí být pomocí drenážního systému jímány do nepropustných bezodtokových jímek a následně zneškodňovány. Jímky musí být navrženy tak, aby umožnily vstup obsluze. Přesnější požadavky pro navrhování a výstavbu odvodnění skládek stanovuje ČSN 83 8033.

Taktéž stanovuje povinné vybavení skládek. U skládek skupiny S-OO je to manipulační prostor pro fyzické převzetí odpadů, provozní a sociální objekt, zařízení pro kontrolu hmotnosti odpadů a také, jezdí-li vozidla po ukládaných odpadech, zařízení na čištění svozových vozidel před jejich výjezdem na veřejnou komunikaci. **Pro skládky, na které je svážen odpad s obsahem více než 10 % biologicky rozložitelné hmoty, kde výška ukládaného odpadu je větší než 2,5 m a objem skládky přesahuje 10 000 m^3, musí být posouzeno provedení technického opatření v důsledku produkce a úniku skládkového plynu. Odplynění skládky stanovuje ČSN 83 8034.**

Uzavření a rekultivace skládek je součástí projektu vybudování skládky. Základní podmínky pro uzavírání a rekultivaci skládek stanovuje ČSN 83 8035. Uzavírací těsnění před samotnou rekultivací provádí podle ČSN 83 8032.

Poslední částí normy je provozní řád skládky. Který je zpracován podle předpisu TNO 83 8039. [9]

4.2 Rozdělení skládek

4.2.1 Podle stavebního zákona

Skládka je dle Zákona o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) č. 183/2006 Sb. ve zn. pozd. předp. stavba, která je určena na odstranění odpadu. Podle kategorie skládky je možné ukládat dané druhy odpadů za udělených technických a provozních podmínek. Také musí být zajištěný průběžný monitoring vlivu skládky na životní prostředí. Skládky odpadů rozlišujeme podle různých hledisek viz tabulka.[3],[6]

Tabulka 4 Rozdělení skládek podle stavebního zákona

Podle umístění skládky vzhledem k terénu	**Z hlediska způsobu uložení odpadů**	**Z časového hlediska**	**Z hlediska zabezpečení a provozování**	**Z hlediska zajištění ochrany před srážkami**
Podúrovňové	Jednopruhové	Připravované	Zabezpečené (řízené)	Otevřené
nadúrovňové	vícepruhové	provozované	nezabezpečené (nelegální)	zastřešené
podzemní	sdružené	s přerušenou či ukončenou činností	-	-
svahové	-	-	-	-
násypové	-	-	-	-
kombinované	-	-	-	-

4.2.2 Podle zákona o odpadech

Dále se skládky dělí podle třídy vyluhovatelnosti odpadů (vyhláška 294/2005 Sb. ve zn. pozd. předp.) do 3 skupin. Každá skupina má stanovené podmínky provozu a požadované zabezpečení skládky. Kritériem rozdělení je vyhodnocení koncentrací předepsaných ukazatelů vodního výluhu odpadu.

S-IO (inertní odpad):
Ukládané odpady musí vyhovět II. třídě vyluhovatelnosti. Jako podloží je nutná geologická bariéra (min 1 m zeminy se součinitelem filtrace $k < 10^{-7}$ m/s , popřípadě uměle doplněné vrstva min 0,5 m s $k < 10^{-7}$ m/s). Technická bariéra není nutná.

S-OO (ostatní odpad):
Ukládané odpady musí vyhovět limitům III. třídy vyluhovatelnosti v případě odpadu s nižším obsahem biologicky rozložitelných odpadů. Nebo odpady nehodnotitelné podle vyluhovatelnosti (komunální odpad, směšný stavební odpad). Tyto skládky mají předepsanou jak technickou tak i geologickou bariéru. Parametry geologické (podloží min 1 m zeminy s $k < 1.10^{-9}$ m/s, při nesplnění nutné doplnit až k dosažení hodnoty teoretického průtoku na 1 m^2 plochy max 3.10^{-9} m^3/s.)

S-NO (nebezpečný odpad)
Ukládané odpady překračují limity III. třídy vyluhovatelnosti. Nutnost technické i geologické bariéry. Parametry geologické (podloží min 5 m s $k < 1.10^{-9}$ m/s, při nesplnění

nutné doplnit až k dosažení hodnoty teoretického průtoku na 1 m^2 plochy max 2.10^{-9} m^3/s.) [12]

4.2.3 Rozdělení podle potřeby odplynění

U skládek, kde je ukládána odpadní organická hmota nebo odpady obsahující organické složky obsahem více než 10 %, kde výška ukládaného odpadu je větší než 2,5 m a objem skládky přesahuje 10 000 m^3, je třeba vyhodnotit míru tvorby plnu a následně navrhnout odplyňovací systém. Jedná se o odpady zařazené do skupiny

02 odpady z primární produkce zemědělské a zahradnické, z lesního hospodářství, z rybářství a z výroby a zpracování potravin

03 odpady ze zpracování dřeva

04 odpady z kožedělného a z textilního průmyslu

19 odpady ze zařízení na úpravu odpadů, ze zařízení na zneškodňování odpadů z čistíren odpadních vod a z úpraven vody

20 odpady komunálních, podobní odpady ze živností, z úřadů a z průmyslu, včetně odděleně sbíraných složek těchto odpadů.

Skládky, u nichž byl průzkumem prokázán vývin plynu, se podle intenzity tvorby plynu rozdělují do 3 tříd, viz. tabulka. [1] , [10]

Tabulka 5: Zatřídění skládek z hlediska tvorby plynu

Třída	Odplynění	Střední koncentrace CH_4 v hloubce 0,6 m % objemová	Měrná produkce plynu z 1 miliónu m^3 odpadu $[m^3/h)^{*)}$	Odplyňovací systém	Energetické využití plynu
I	Není nutné	< 7,4	< 1	Žádný	Žádné
II	Je nutné	7,4 až 35	1 až 200	Pasivní	žádné
III	Je nutné	> 35	> 200	Pasivní nebo aktivní	Podmíněně možné
*) Měrná produkce plynu se odhadne podle střední koncentrace metanu, zjištěné podpovrchovým průzkumem.					

4.3 Technické řešení odplynění skládek

Účelem odplynění skládky je odvod vznikajících plynů tak, aby byla zabráněna jejich nekontrolovatelná migrace do okolí. Dále aby byl zabráněn růst vnitřního přetlaku plynů ve skládce nad limitní hodnoty a v důsledku toho bylo zabráněno ohrožení výbuchem nebo vznícením plynu v tělese skládky a v jeho okolí.

4.3.1 Odplyňovací systémy

Jde o technologická a stavebně-technická zařízení postavená na i v tělese skládky, která zpravidla sestávají ze sběrné sítě plynu a svodné sítě plynu. Dále pak tento pojem zahrnuje zařízení pro odvod a zařízení pro zneškodňování nebo využívání skládkového plynu. Základní rozdělení odplyňovacích systémů podle způsobu odvodu vzniklého skládkového plynu je na pasivní a aktivní.

Aktivní odplyňovací systém

Počátky využívání skládkového plynu jako zdroje energie sahají až do 80.let dvacátého století, kdy největší rozvoj dosahoval souběžně v USA a tehdejší Spolkové republice Německo. Tento systém odsává skládkový plyn z tělesa skládky vytvořením podtlaku ve svodném potrubí.

Sběrná síť plynu je tvořena vertikálními a horizontálními prvky. Jako horizontální se budují odplyňovací drény, které mohou být celoplošné nebo pásové. Podle stáří skládky se mohou budovat na každých 5-10 m odpadu. Vertikální části jsou vrty nebo dnes častěji pro svoji praktičnost průběžně budované věže, které jsou široké 800-1000 mm. Středem vrtu (věže) vede sběrná perforovaná pažnice. Kolem pažnice je nasypán hrubší štěrk pro lepší odvod vody a jako izolace a ochrana před odpadem. Sběrné věže jsou uzavřeny individuálními uzávěry a odvody nebo jsou propojené do sítí horizontálními nebo šikmými odplyňovacími drenážemi. Pažnice horizontální i vertikální jsou vždy z perforovaných potrubí, pro minimalizování rizika zaplavení kondenzátem a následným ohrožením správného fungování odplyňovacího systému. Vrty jsou přes hlavní sběrné svody propojeny s čerpací stanicí bioplynu. Ta zajišťuje nucený tok skládkového plynu z tělesa skládky do zneškodňujícího prvku.

Odplyňovací systémy procházely dlouhým vývojem, především tak *svodné sítě* plynu. Jak jsem zmiňoval výše, šlo především o zkušenosti z USA. Po jejich vzoru se začaly budovat soustavy vertikálních vrtů s vrchním propojením svodné sítě plynu.
Postupným vývojem se začaly budovat bazické soustavy, ale zprvu s individuálním potrubím. Tato úzká neperforovaná potrubí se často zanášejí a ucpávají kondenzovanou párou nebo kalem a jsou pro plyn nepropustná.
Lepší a spolehlivější variantou jsou bazické, mezilehlé nebo povrchové horizontální soustavy svodů plynu s perforovaným potrubím. Právě díky perforovaným potrubím je zkondenzovaná vodní pára odváděna mimo potrubí a pro migraci plynu nevznikají žádné překážky. Pro ještě spolehlivější fungování odplynovacího systému je efektivní spojovat horizontální drenáže přímo na hlavách věží. Tím vznikne možnost vést plyn mnoha směry a i při lokálním narušení potrubí dochází k plynulému toku plynu.

Pasivní odplyňovací systém

Jde o vrty nebo věže, přes které je skládkový plyn vypuzován pouze jeho vlastním přetlakem řízeným směrem ven z tělesa skládky. Vrty jsou zakončeny zpětnými klapkami nebo membránami. Tato zařízení umožňují tok plynu pouze směrem ven ze skládky. Tím zabraňují vniku vzduchu do tělesa skládky a následným zastavením metanogeneze. Následné zneškodnění se provádí pomocí spalovacího zařízení.

4.3.2 Komponenty odplyňovacích systémů

Potrubí

Potrubí, ať už se jedná o drenážní, propojovací, svodové nebo sběrné pažnice, se většinou vyrábějí z vysokohustotního polyetylenu (HDPE) v průměru 100 - 200 mm.
Velice důležitý prvek je perforování. U horizontálních svodových trupek perforování zajišťuje odtok vody a kalu z potrubí a tím plynulý tok plynu. U těchto trubek se perforují spodní segmenty, aby vodu odváděly co nejrychleji. Vertikální a horizontální plynosběrné pažnice se perforují po celém obvodu. Porozita perforování je rozdílná podle umístění a účelu trubek, avšak norma ČSN udává minimum 5 % plochy povrchu.
Všechna potrubí v tělese skládky musí být obsypána hrubozrnným ostře tříděným štěrkem (optimálně 32 - 64 mm). Vrstva štěrku zajišťuje primárně ochranu potrubí proti promáčknutí skládkovaným odpadem. U horizontálního potrubí taktéž lépe odvádí vy-

teklou vodu. Možností spojování potrubí je hned několik. Bázové horizontální potrubí, budující se během výstavby skládky, se svařují. Vertikální potrubní pažnice se na sebe teleskopicky nasouvají, jelikož jsou již umístěny v tělese skládky, kde je zakázáno kvůli riziku výbuchu skládkových plynů manipulovat s ohněm. Navíc vlivem sedáním tělesa skládky musí být spoj pružný. Jiný běžný způsob je spojení za pomoci převlečných kusů.

Plynosběrné vrty nebo věže

Jde o vertikální prvek, který je tvořen válcovou vrtanou nebo budovanou studnou o průměru mezi 600 a 1000 mm. Středem studny je vedena plynosběrná perforovaná pažnice z HDPE o průměru 100 - 200 mm. Prostor mezi pažnicí a obvodem studny je vyplněn hrubozrnným ostře tříděným štěrkem o průměru 32 - 64 mm. Studna je v horní části zakončena jílovým těsněním o tloušťce minimálně 1000 mm, která je od štěrkové části oddělena geotextílií. Perforovaná trubka je v této části drenáže nahrazena plnou trubkou.

Rozdíl mezi vrtanou a budovanou (věž) studnou je v době jejich vybudování. Vrt se vrtá do aktivní skládky bez bazického odplyňovacího systému, čili s podpovrchovým napojením. Věž se nejčastěji používá u bazického nebo kombinovaného systému odplynění a staví se již při budování skládky. Vzdálenost studní vychází z požadavku rovnoměrného pokrytí celé plochy skládky jejich jímacím dosahem, běžně přibližně 40 m. Vnější pracovní ocelová roura má délku 4 500 mm při tloušťce stěny 8 - 10 mm. Je položena na betonové prefabrikátory tak, aby bázové drenážní potrubí svou hmotností nepoškodila. Následně je z venku obsypána hrubým kuželovitým štěrkem do výšky 1 500 mm tak, aby byla zafixována kolmo ke dnu. Vnitřní perforovaná HDPE roura je založena na bázové sběrné potrubí pomocí kolene nebo T-kusem. Délka první roury je 4 000 mm, tedy 300 - 400 mm pod horním koncem ocelové pažnice. Na plynoměrnou pažnici se nasazuje plynotěsný kryt a na ocelovou rouru vzduchotěsné víko. Toto víko těsní tlaky v řádu nejvýše stovek Pa. Podmínka vzduchotěsnosti je důležitá pro správné fungování bazických a mezilehlých systémů svodu plynu.

Prodlužování věží se provádí povytažením ocelové pažnice o 2 metry výše ve chvíli, kdy hladina odpadu sahá do výšky 3,8 - 4 m. Je důležité okolí vrtu zhutnit alespoň ručním mechanickým vibrátorem, aby se zabránilo případnému zpětnému zasouvání pracovní ocelové pažnice. Pro dodržení kolmého směru pracovní pažnice je až

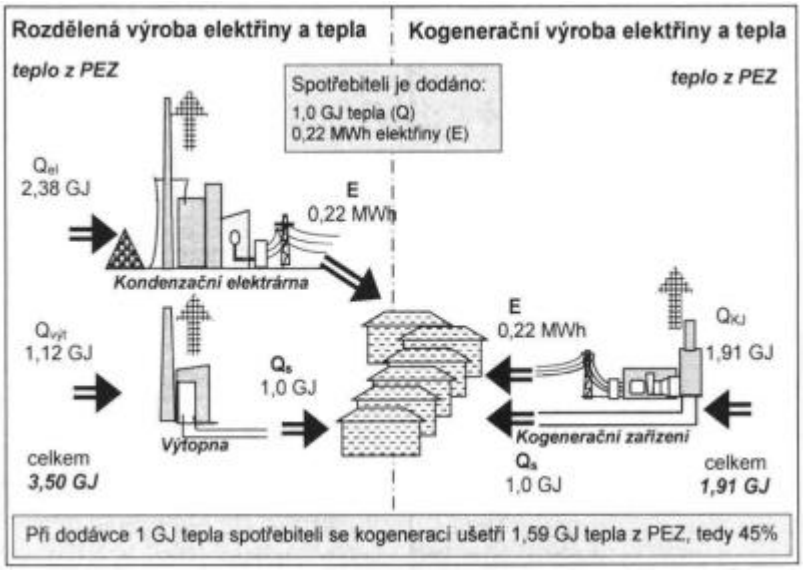
v tuto chvíli možné nasypat tříděný hrubozrnný štěrk do prostoru mezi pracovní a plynosběrnou pažnici. [7] , [8]

4.4 Způsoby využití jímaného plynu

4.4.1 Kogenerace

Jedná se o sdruženou výrobu elektrické energie a tepla, odkud pochází další název kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET). Jde o velice efektivní a ekologicky šetrný způsob výroby elektrické energie, za současné produkce a dodávky tepla. Jeho účinnost se právě díky využití tepla pohybuje v rozmezí 75 - 92%. Kde podle výrobního zařízení může připadat na elektrickou energii až 60 %. Vzniklé teplo přímo vytápí přilehlé budovy nebo je k tomu jako medium použita ohřívaná voda. U klasických zdrojů elektrické energie, jako jsou uhelné elektrárny, je účinnost, tedy produkce elektrické energie, přibližně 33 %. Zbylých 67 % uvolněné energie ve formě tepla je odvedeno bez využití do atmosféry za doprovodu škodlivých plynů a látek vůči životnímu prostředí. Samostatná zařízení (teplárny) produkující teplo mají přibližnou účinnost 90 %.

Díky sdružené výrobě elektrické energie a tepla je znatelná úspora použitého paliva. Při potřebě elektrické energie a tepla z dvou oddělených zdrojů a uvážení účinnosti jednotlivých zařízení (uhelná elektrárna 33 %, výtopna 90 %) může kogenerační jednotka uspořit až 45 % paliva.



Obrázek 3: Ilustrační příklad energetického přínosu kogenerační výroby tepla a elektřiny

Snížení spotřeby paliva se projeví v ekonomickém hodnocení, ale i jako vliv na životní prostředí snížením produkce emisí SO_2, No_x, CO a CO_2.

Tabulka 6: Srovnání produkce emisí kg/GJ

Emitující látka	Hnědé energetické uhlí (elektrárna)	Zemní plyn (výtopna, kogenerace)
Tuhé částie	0,23	-
SO_2	0,41	-
NO_x	0,60	0,07
CO	0,05	0,03

Každý kogenerační zdroj sestává z těchto čtyř základních částí:

- motoru (pohonné jednotky);
- elektrického alternátoru včetně zařízení pro připojení na spotřebitelskou a veřejnou síť;
- kotle nebo výměníku tepla včetně propojení na tepelné rozvodné sítě;
- kontrolního a řídicího systému.

Spalování v motorech kogeneračních jednotek je nejčastějším způsobem využití bioplynu. Podmínkou využití tepla je krátká vzdálenost zdroje od vytápěných budov nebo ohřevu vody. Skládky komunálních odpadů jsou provozovány ideálně v co největší vzdálenosti od měst, kam by bylo velice nákladné vybudovat výtopní potrubí, a právě proto je vzniklé teplo zřídka kdy využíváno. Je využívána pouze elektrická energie a účinnost je proto přibližně 40%, i tak je tento způsob využití bioplynu ekonomicky výhodný, především díky legislativní podpoře, která bioplyn řadí mezi obnovitelné zdroje energie. [4] , [6] , [11]

Tabulka 7 Porovnání kogeneračních jednotek

Pohonná jednotka	Používané palivo	Rozsah výkonu (Mwe)	Modul teplárenské výroby elektřiny	Elektrická účinnost	Celková účinnost	Forma tepla
Spalovací turbína	Zemní plyn Lehký topný olej Bioplyn Produkty spalování	1**) – 250	0,4 – 1,2	25 - 48 %	75 - 90 %	Teplá voda Horká voda Pára NT,VT
Paroplynové zařízení	Zemní plyn Lehký topný olej Bioplyn Produkty zplyňování	10 - 400	0,8 - 2,0	35 - 60 %	85 - 90 %	Teplá voda Horká voda Pára NT,VT
Spalovací motor	**Zemní plyn Lehký topný olej Bioplyn Produkty zplyňování**	**0,01 - 10**	**0,5 - 1,1**	**25 - 45 %**	**75 - 92 %**	**Teplá voda Horká voda Pára NT**
Parní motor	Biopaliva	0,02 - 1	0,1 - 0,3	10 - 25 %	70 - 80 %	Teplá voda
Stirlinguv motor	Zemní plyn biopalivo	0,001 - 0,03	0,3 - 0,7	20 - 40 %	70 - 85 %	Teplá voda

**) U mikroturbín 25-250 kW

4.4.2 Trigenerace

Jde o kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu. Spojuje kogenerační jednotku s chladící jednotkou absorpčního typu. Právě díky tomuto spojení je možné využít teplo produkované kogenerační jednotkou i v letním období, kdy jinak spotřeba tepla klesá na minimum a snižuje účinnost pouze na výrobu elektrické energie. Tím se prodlužuje doba provozu kogenerační jednotky v podstatě na celý rok, což vede ke zlepšení ekonomických ukazatelů. Z pohledu druhého zákonu termodynamiky pojem „výroba chladu“ není zcela korektní, je avšak výstižný. Ve výsledku jde o přípravu velmi chladné vody a to dvojím způsobem:

- kompresorové – zde je pohonná jednotka elektromotor nebo spalovací motor
- absorpční – medium, které zajišťuje uskutečnění termodynamického chladícího cyklu je zde vodní pára nebo teplá voda.

Kompresorové má lepší parametry než absorpční, avšak i to má své výhody, a tedy pro jeho funkci stačí méně ušlechtilá tepelná energie, má tichý pracovní chod a je spolehlivá. Naproti tomu má v porovnání s kompresorovým větší hmotnost, rozměry a investiční náklady.

Využití trigenerace je všude tam, kde je zapotřebí klimatizace, tedy v hotelech, obchodních centrech, nemocnicích, administrativních budovách apod. [17]

4.4.3 Spalování na flérách

Jde o zařízení na spalování skládkového plynu, která se dělá na otevřená a uzavřená.

Na otevřených (volných) flérách hoří plyn nad ústím roury volným plamenem. Většinou se používají jako najížděcí, nouzová nebo jinak krátkodobě nutně provozovaná zařízení, která však nedosahují dobrých emisních hodnot. Právě díky volnému nedokonalému hoření jsou emise CO až 1000 mg/m^3.

Uzavřené fléry naproti tomu spalují plyn ve svislých komorách, nejčastěji válcovitého tvaru, za vyšších teplot a za lépe kontrolovaných podmínek spalování. Emise CO zde snadno dosáhnou 10 mg/m^3 i méně. Emise NO_x jsou běžně udržitelné pod hladinou 150 mg NO_2/m^3.

U volných nebo neodborně navržených uzavřených flér je ale riziko vyššího emisního obsahu organických látek, zvláště pak nebezpečného formaldehydu. Spalováním skládkového plynu nízké kvality (nízký obsah CH_4) se způsobuje předčasné vynášení reagujících látek mimo horkou zónu, čímž extrémně narostou emise právě formaldehydu pro nedokončenou oxidaci. Reakci popisuje následující rovnice. [8]

$CH_4 + O_2 \rightarrow CH_2O + H_2O$

5 METODIKA

Materiálem pro vytvoření teoretické části bakalářské práce jsem čerpal z odborných zdrojů a literatury. Taktéž jsem využil odborných webů a závěrečných prací absolventů Mendelovy univerzity. Všechny použité zdroje jsou uvedeny v seznamu literatury.

Při vypracování praktické části jsem zvolil skládku komunálního odpadu v Ronově nad Sázavou, na které jímá skládkový plyn firma Brúha a syn, spol. s r.o. ve spolupráci s firmou Terba spol. s r.o. Jímaný plyn je sváděn do kogenerační jednotky, kde je spalován za vzniku elektrické energie. Abych získal povědomí o způsobu jímání plynu na dané skládce, navázal jsem spolupráci s provozovatelem skládky, na které

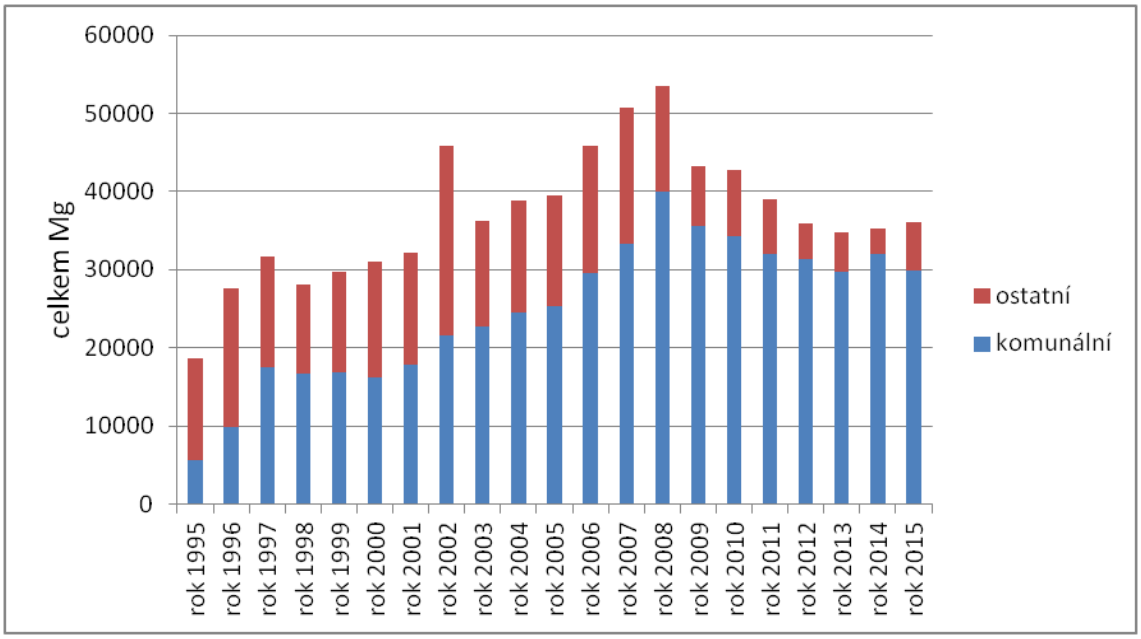
probíhalo samotné průzkumné šetření. Pověřený zaměstnanec firmy Brúha a syn spol. s r.o. mě provedl a přiblížil metodu vybudování instalovaného jímacího zařízení. Pro analýzu kvality a množství spalovaného plynu a množství vyrobené energie mi poskytla firma Terba spol. s r.o. své měsíční výkazy.

6 VÝSLEDKY

6.1 Úvod do projektu

Skládka TKO S-OO Ronov nad Sázavou je situována v katatrálním území města Přibyslav. Byla zkolaudována roku a ukládání odpadu započalo roku 1995. Skládka se rozkládá na celkové ploše 10,2068 ha a celkový objem pro ukládané odpady činí 997 210 m^3. Je rozdělena na 2 etapy, první je již zrekultivována. Hmotnost navážených odpadů je tvořena z 66 % komunálním odpadem a 34 % ostatním (obr. 4). Část ostatních odpadů slouží jako technologický materiál pro zajištění skládky za účelem jejího zabezpečení, tyto odpady jsou uvedeny v provozním řádu skládky.

Obrázek 4: Množství uloženého odpadu v jednotlivých letech



I. epata

Ukládání probíhalo mezi lety 1995 - 2003 při přibližném ročním ukládání odpadu 30 000 - 35 000 Mg. Tato etapa byla navržena pro 381 298 m^3, kdy celkový uložený objem je o 50 m^3 nižší. Množství uloženého odpadu uvádí tabulka č. 8. Od ledna roku 2004 do května roku 2011 probíhala rekultivace. V první polovině roku 2006 započala instalace plynosběrných vrtů umístěných na základě výsledků intenzity vývinu skládkového plynu plynometrického povrchového a podpovrchového průzkumu. Intenzivní produkce skládkového plynu zde probíhala až do konce roku 2015, kdy se projevily následky tzv. vyschnutí, tedy nedostatečné vlhkosti v tělese skládky. Provozovatelé odplynění se domnívají, že odpad nebyl během procesu skládkování dostatečně vlhčen, proto v současné době projednávají možnost dodatečného vlhčení s plánem obnovení tvorby plynu.

Tabulka 8: Množství uloženého odpadu v první etapě (Mg/rok)

Rok	**Komunální**	**Ostatní**	**Celkem**
1995	5671	13049	18720
1996	9924	17721	27645
1997	17576	14174	31750
1998	16651	11383	28034
1999	16853	12861	29714
2000	16274	14673	30947
2001	17792	14418	32210
2002	21533	24275	45808
2003	22763	13546	36309
2004	24449	14331	38780
2005	25302	14270	39572
2006	29483	16381	45864
2007	33250	17466	50716
2008	39903	13619	53522
2009	35562	7614	43176
2010	34267	8409	42676
Celkem	367253	228190	595443

II. etapa

Navržený objem této etapy je vyšší než u první a činí 615 921 m^3. Navážení odpadu probíhá od roku 2011, odkdy ročně přibývá přibližně 40 000 Mg odpadu. Množství uloženého odpadu uvádí tabulka č. 9. Etapa je rozdělena do šesti polí, z nichž 1. a 2. jsou již zrekultivovány a probíhá z nich aktivní jímání plynu z 6 vrtů. Na pole 3 a 4 je ukládán odpad, jejich naplnění je přibližně do poloviny objemu. Pole 5 a 6 jsou připraveny na zavážení, jakmile se naplní 3. a 4. pole.

Tabulka 9: Množství uloženého odpadu na etapu II (Mg/rok)

Rok	Komunální	Ostatní	Celkem
2011	31 970	6998	38 968
2012	31 371	4520	35 891
2013	29 755	4973	34 728
2014	32 036	3169	35 205
2015	29 919	6181	36 100
Celkem	155 051	25 841	180 892

6.2 Odplyňovací systém

6.2.1 Odplyňovací vrty a studny

I. etapa

Během rekultivace první etapy byly do tělesa skládky navrtány vrty na základě intenzity vývinu skládkového plynu během plynometrického povrchového a podpovrchového průzkumu. Hloubka vrtů se určila porovnáním výšky tělesa skládky v daném místě s hloubkou dna skládky tak, aby jeho vrtáním nedošlo k poškození spodní izolační folie skládky. Vrty jsou vystrojeny perforovaným potrubím PEHD o rozměrech 160 x 6,3 mm. Perforování je zvoleno tak, aby se trubka neucpala štěrkovým obvodovým obsypem a byla zachována její pevnost. Štěrkový obvodový obsyp je tvořen hrubozrnným 32 - 64 mm

Obrázek 5: Nadzemní část plynosběrného potrubí

kamenivem, které izoluje potrubí od odpadu a zároveň slouží jako lepší vodič plynu. Poslední 2 metry potrubí vedoucí rekultivační vrstvou jsou neperforované. V neperforované nadzemní části je umístěn boční odvod plynu s možností napojení na svod, na kterém je namontován vzorkovací ventil.

II. etapa

Pro odplynění druhé etapy skládky byl zvolen systém s průběžně budovanými vertikálními vrtanými studnami, které zajišťují odplynění již během provozu skládky. Vybudování studní opět předcházel plynometrický povrchový a podpovrchový průzkum intenzity tvorby plynu. Vrty byly navrtány až po uložení minimálně 5 m vrstvy odpadu. Jejich hloubka byla jako v předchozím případě určena porovnáním výšky tělesa skládky s hloubkou dna skládky tak, aby při jejich vrtání nedošlo k porušení spodní izolační folie skládky. Vrty jsou vystrojeny perforovaným potrubím PEHD o rozměrech 160 x 6,3 mm. Perforování je zvoleno tak, aby se potrubí „nezacpalo“ neobvodovým obsypem a byla zachována její pevnost. Štěrkový obvodový obsyp je tvořen hrubozrnným 32-64 mm kamenivem, které izoluje potrubí od odpadu a zároveň slouží jako lepší vodič plynu. Prodlužování věží se provádí pomocí ocelové pracovní pažnice o šířce 800 mm a délce 4 500 mm, která se technikou nadzvedne a následně zarazí do vrtu tak, aby byla v zemi 2 metry a plynosběrné potrubí bylo v jejím středu. Při navezení odpadu 0,5 m pod horní okraj ocelové pažnice se povytahuje o 2 metry výše. Je důležité okolí vrtu zhutnit alespoň ručním mechanickým vibrátorem, aby se zabránilo případnému zpětnému zasouvání pracovní ocelové pažnice. Na plynoměrnou pažnici se nasazuje plynotěsný kryt a na ocelovou rouru vzduchotěsné víko.

Obrázek 6: Průběžně budovaná studna s napojením na jímací potrubí

Druhá etapa skládky je rozdělena do 6 polí. Na polích 1 a 2 v roce 2015 proběhla rekultivace, v kterých je aktivně jímám plyn ze 6 studní. V neperforované nadzemní části každé z nich je umístěn boční odvod plynu s možností napojení na svod, na kterém je namontován vzorkovací ventil. Pole 3 a 4 jsou zavezeny přibližně do poloviny plánovaného objemu a je na ně ukládán odpad. V těchto polích je vyvrtáno 7 studní, jejichž ocelové pracovní pažnice jsou uzavřeny ocelovým vzduchotěsným víkem a izolovány izolační pěnou. Ze čtyř studní je aktivně jímán plyn, plynosběrné potrubí je přes víko napojeno na jímací potrubí vedoucí k hnízdu. U zbylých tří studní není dostatečná produkce bioplynu, proto jsou zakončeny plynotěsným krytem.

6.2.2 Napojení vrtů na hnízda

I. etapa

Každý vrt je napojen na tzv. hnízdo pomocí jímacího potrubí PEHD o rozměrech 110 mm. Všechna potrubí vedou zeminou rekultivační vrstvy. Hnízdo, tvořeno potrubím o rozměrech 160 mm a ventily regulující jímání plynu jednotlivých vrtů, se napojuje na svodné potrubí, které je vedeno mimo těleso skládky přes dva vodní odlučovače, čerpací stanici až k samotné kogenerační jednotce.

II. etapa

Všech 10 aktivních vrtů je napojeno na hnízdo pomocí jímacího potrubí PEHD o rozměrech 110 mm, které jsou v tomto případě umístěny nad zemí. Příčina je vyvarování se vlivu sedání skládky a následné vytvoření tzv. kapsy. Hnízdo druhé etapy je napojeno na hnízdo I. etapy, odkud plyn plyne přes svodné potrubí do kogenerační jednotky.

Obrázek 7: Hnízdo, do kterého vedou všechny vrty

6.2.3 Odloučení kondenzátu

Během migrace se ze skládkového plynu uvolňuje kondenzát. Kondenzát je nutné odstranit před samotným vstupem plynu do kogenerační jednotky. Pro tento účel jsou v trase svodného potrubí umístěny dvě odlučovací šachty. První je umístěna přibližně v polovině trasy a druhá před čerpadlem. Pro správnou funkci odlučovačů je v nich nutné udržovat stálou hladinu vody.

6.2.4 Vlhčení odpadu

Po negativních zkušenostech z I. etapy skládky je ve II. etapě aplikován tzv. zpětný recykl vody. Voda, která pomocí drenáží odtéká z tělesa skládky, je zachycována v jímce. V jímce je umístěno čerpadlo, které potrubím vhání vodu zpět do tělesa a zajišťuje průběžné vlhčení. Pro případy nadměrného výtoku vody z tělesa, je jímka napojena na kanalizační potrubí vedoucí do čistírny odpadních vod.

Obrázek 8: Vývod zpětného recyklu skládkové vody

6.3 Kogenerační jednotka

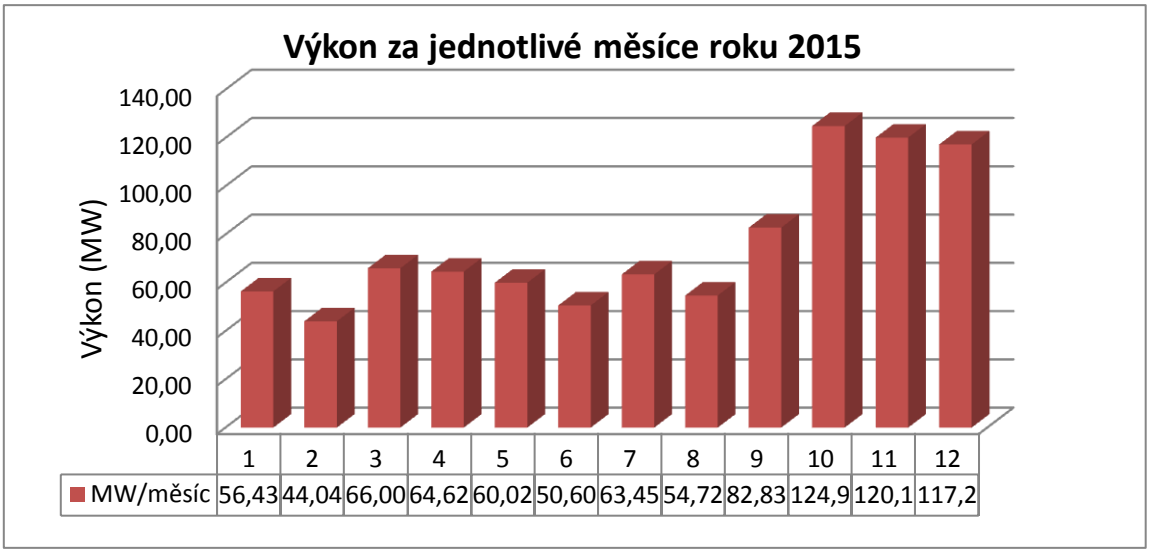
Kogenerační jednotka je zakoupena od firmy Dagger spol. s r.o. Konkrétně se jedná o kontejnerový typ CPG Dagger 300, se spalovacím motorem Perkins 4006 TESI HC. Motor je speciálně upraven pro palivo skládkového plynu s obsahem 45 – 65 % CH_4. Jeho instalovaný elektrický výkon činí 270 kW a tepelný výkon 337 kW.

6.4 Výsledky a zhodnocení

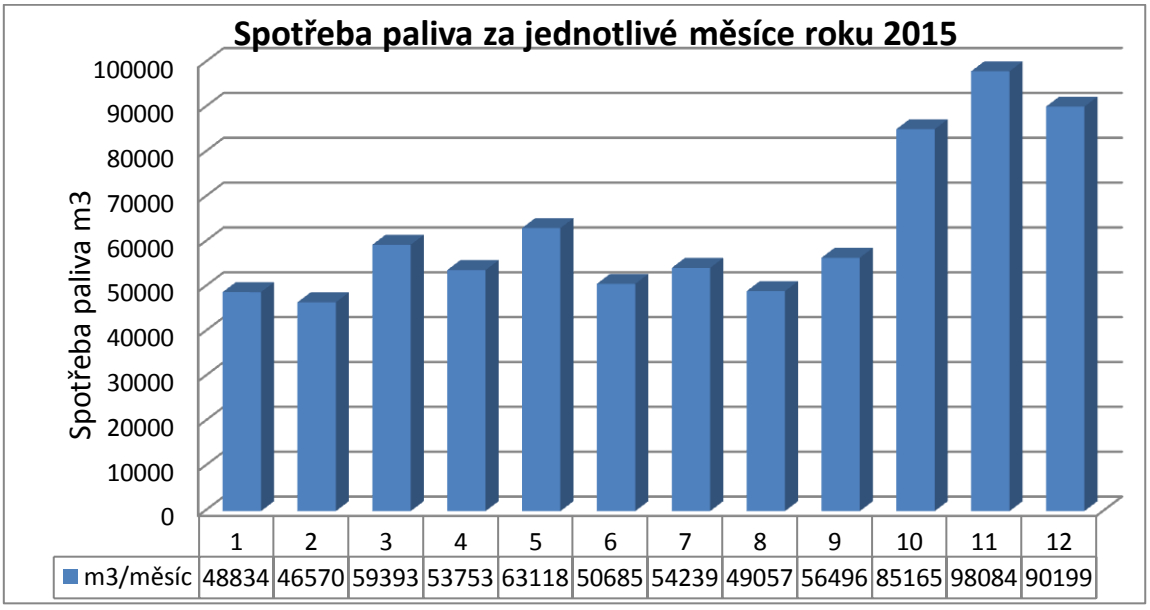
Celková výroba energie za rok 2015 činila 905 076 kW při spálení 757 560 m^3 plynu. Z výsledků je patrné, že kogenerační jednotka za celý rok 2015 nepracovala na plný instalovaný výkon. Během měsíců leden-září byl plyn jímán z první etapy a bloků 3 a 4 druhé etapy s poměrně „mladým“ uloženým odpadem. Až mezi měsíci říjen a prosinec výkon výrazně stoupl. Příčina byla znovu připojení vrtů instalovaných na rekultivovaných blocích 1 a 2.

Tabulka 10: Průměrné hodnoty za jednotlivé měsíce roku 2015

	Výkon v kW	Spotřeba plynu v m^3/h	Obsah CH_4
Leden	110	95,12	49,4
únor	84	88,87	47,29
březen	110	98,98	45,16
duben	111,6	92,84	52,6
květen	96,8	101,8	48,93
Červen	100	100,16	52,6
červenec	115,37	98,62	56,22
srpen	106,66	95,62	65,57
září	137,58	93,84	63,9
Říjen	184,56	125,79	56,75
listopad	193,45	157,94	53,58
Prosinec	196,14	150,83	51,06
Celkový průměr	128,85	108,37	53,58



Obrázek 9: Výkon kogenerační jednotky za jednotlivé měsíce roku 2015



Obrázek 10: Spotřeba paliva za jednotlivé měsíce roku 2015

7 ZÁVĚR

V současné době biologicky rozložitelný odpad tvoří podstatnou část, přibližně 45 %, komunálního odpadu ukládaného na skládky. Jeho rozkladem vzniká skládkový bioplyn. V České Republice mají provozovatelé skládek komunálního odpadu povinnost jímat a zpracovávat skládkový plyn způsobem, který udává dle parametrů norma 83 8030. Tato povinnost má především zamezit volnému úniku metanu, který se řadí mezi skleníkové plyny, do atmosféry a slouží jako prevence před samovolným výbuchem nahromaděného plynu v tělese skládky. Zpracováním plynu se rozumí jeho spalování nebo rozklad biooxidačními filtry.

Revoluci ve využívání skládkového plynu přineslo jeho zařazení mezi zelené zdroje energie, které jsou dotované státem. Od tohoto momentu se i na skládkách s nižší produkcí plynu vyplatilo odklánět od spalování na flérách a investovat do poměrně drahých kogeneračních jednotek. Vzhledem k běžnému umístění skládek by bylo napojení na tepelnou rozvodnou síť nákladné, proto je často na rozdíl od bioplynových stanic nevyužitelné. Elektrická energie se dodává do rozvodné sítě s přídavkem zeleného bonusu.

I přes dosavadní snahu je skládkování stále nejčastějším odstraněním odpadu. Především pro svoji jednoduchost a ekonomickou výhodnost. Přesto, z údajů vydanými Ministerstvem životního prostředí, v roce 2014 bylo uloženo na skládky nejméně komunálního odpadu za posledních 15 let. Z čehož vyplývá postupné, ačkoli nepravidelné snižování skládkování. Dle aktuálního znění zákona č. 185/2001 Sb. O odpadech má každý obyvatel České republiky vedle jiných odpadů povinnost třídit biologicky rozložitelný komunální odpad. Podle plánu odpadového hospodářství pro období 2015-2025 budou poplatky za skládkování každoročně narůstat až do roku 2024, kdy by měl nastat zákaz ukládání komunálního odpadu na skládky.

8 LITERATURA

[1] JUNGA, P. – VÍTĚZ, T. – TRÁVNÍČEK, P., 2015: Technika pro zpracování odpadů I. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 142 s

[2] KARÁSKOVÁ, J., 2007: Perspektivy výroby a využití bioplynu ze skládek komunálních odpadů

[3] KARÁSKOVÁ, J., 2009: Analýza a využití skládkového bioplynu. Diplomová práce

[4] KRBEK, J. – POLESNÝ, B., 2007: Kogenerační jednotky zřizování a provoz. Praha: GAS, s.r.o., 201 s

[5] PROVOZNÍ ŘÁD, Skládka TKO a TPO – S-OO3 Ronov nad Sázavou, Odpadové hospodářství Ronov nad Sázavou

[6] RADULOVIČOVÁ, A., 2009: Bioplyn ze skládek komunálního odpadu a jeho perspektivy výroby a využití. Diplomová práce

[7] STRAKA, F., 2006: Bioplyn, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. Říčany: GAS, s.r.o., 706 s. II. Vydání, ISBN 80-7328-090-6

[8] STRAKA, F., 2009: Bioplyn, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynovách system. Říčany: GAS, s.r.o., III. Vydání

Internetové zdroje

[9] ČSN 83 8030, Skládkování odpadů-Základní podmínky pro navrhování a výstavbu skládek

[10] ČSN 83 8034, Skládkování odpadů- Odplynění skládek

[11] Kogenerace-princip, technologie a výhody, Dostupné na http://oenergetice.cz/technologie/kogenerace-princip-technologie-a-vyhody/

[12] Předpis č. 185/2001 Sb. Zákon o odpadech a o změně některých dalších zákonů, Dostupné na: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2001-185#Content

[13] Předpis č. 229/2014 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 185/2001 Sb. o odpadech a o změně některých dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, Dostupné na: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-229

[14] Předpis č. 352/2014 Sb. Nařízení vlády o Plánu odpadového hospodářství České republiky pro období 2015-2024, Dostupné na: http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2014-352#Content

[15] SMĚRNICE RADY 1999/31/ES ze dne 26. dubna 1999 o skládkách odpadů, Dostupné na: http://old.ekodomov.cz/fileadmin/user_upload/Legislativa/sm%ECrnice%20o%20skl%E1dk%E1ch%20odpad%F9%201999%2031%20EC.pdf

[16] Šestá hodnotící zpráva o plnění nařízení vlády č. 197/2003 Sb., o Plánu odpadového hospodářství České republiky, za rok 2010, Dostupná na: http://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/plneni_narizeni_vlady/$FILE/OODP-Sesta_hodnotici_zprava_POH_CR_2010-120212.pdf

[17] Trigenerace, Dostupné na: http://kogenerace.tedom.com/trigenerace.html

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Tvorba bioplynu 11
Obrázek 2: Coward-Jonesův diagram 19
Obrázek 4: Ilustrační příklad energetického přínosu kogenerační výroby tepla a elektřiny 30
Obrázek 5: Množství uloženého odpadu v jednotlivých letech 34
Obrázek 6: Nadzemní část plynosběrného potrubí 36
Obrázek 7: Průběžně budovaná studna s napojením na jímací potrubí 37
Obrázek 8: Hnízdo, do kterého vedou všechny vrty 38
Obrázek 9: Vývod zpětného recyklu skládkové vody 39
Obrázek 10: Výkon kogenerační jednotky za jednotlivé měsíce roku 2015 41
Obrázek 11: Spotřeba paliva za jednotlivé měsíce roku 2015 41

10 SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Složení plynů ve skládkách odpadů [% obj.] jako příklady různých stavů tělesa.....16
Tabulka 2 Výhřevnost a složení bioplynu různých substrátů.....20
Tabulka 3 Produkce komunálních odpadů a procentuální podíl ukládání na skládky v jednotlivých letech.....22
Tabulka 4 Rozdělení skládek podle stavebního zákona.....25
Tabulka 5: Zatřídění skládek z hlediska tvorby plynu.....26
Tabulka 6: Srovnání produkce emisí kg/GJ.....31
Tabulka 7 Porovnání kogeneračních jednotek.....32
Tabulka 8: Množství uloženého odpadu v první etapě (Mg/rok).....35
Tabulka 9: Množství uloženého odpadu na etapu II (Mg/rok).....36
Tabulka 10: Průměrné hodnoty za jednotlivé měsíce roku 2015.....40

11 PŘÍLOHY

Příloha č.1: *Odlučovací šachta kondenzátu*

Příloha č.2: *Spalovací motor kogenerační jednotky*

Příloha č.3: *Kogenerační jednotka*

Příloha č.4: *Pohled na rekultivovanou část skládky*

Příloha č.5: *Rekultivovaná pole 1 a 2 II etapy*

Příloha č.6: *Měření kvality plynu*

Příloha č.1: Odlučovač kondenzátu

Příloha č.2: Spalovací motor kogenerační jednotky

Příloha č.3: Kogenerační jednotka

Příloha č. 4: Pohled na rekultivovanou část skládky

Příloha č. 5: Příloha č. 5: Rekultivovaná pole 1 a 2 II etapy

Příloha č. 6: Měření kvality plynu