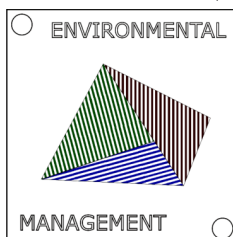


VERIFIKÁCIA VÝPOČTU PRODUKCIE LFG PRE MALÉ SKLÁDKY

Marek HRABČÁK

VERIFICATION OF LFG PRODUCTION CALCULATION FOR SMALL LANDFILLS



ABSTRAKT

Na Slovensku musí každá skládka nie nebezpečných odpadov (NNO) podávať ročné hlásenie do Národného registra znečisťovania o množstve vypúšťaných emisií do ovzdušia aj bez zohľadnenia prahových hodnôt. Prevádzkovatelia skládok odpadov tak oznamujú podľa § 5 vyhlášky č. 448/2010 Z. z. údaje o emisiách zo skládkového plynu do ovzdušia pre nasledujúce zložky - metán (CH_4), oxid uhličitý (CO_2), nemetánové prchavé organické látky (NMVOC). V príspevku (Hrabčák, 2017) sme poukázali na spôsoby výpočtu produkcie skládkového plynu (LFG) podľa rôznych výpočtových modelov (LandGEM, AFVAL, LMOP). Tieto modely sú však výrazne determinované použitými konštantami, čo pri rutinnom výpočte často vedie k výrazným rozdielom medzi výsledkami. Čím viac modelov autor použije, v snahe spresniť výsledok, tým ťažšie je potom subjektívne rozhodovanie, ktorý výsledok je vlastne najsprávnejší. Pre skládky s aktívnym čerpaním LFG a jeho využívaním resp. spaľovaním je možné tieto výpočtové modely verifikovať so skutočne zachyteným objemom LFG. Avšak pre malé skládky (do 100 000 m³), kde je LFG často len pasívne odvetrávané do ovzdušia je verifikácia výpočtov dosť problematická. Hlásenie o ročnom množstve vypúšťaných emisií z LFG pre malé skládky len na základe výpočtových modelov je tak zaťažené pomerne veľkou chybou, čo sa v konečnom dôsledku kumuluje v celoštátnom meradle na národnej úrovni. Naším cieľom je pokúsiť sa o verifikáciu týchto výpočtov na základe skutočných meraní na skládke, aj keď si plne uvedomujeme zložitosť tejto problematiky.

KEÚČOVÉ SLOVÁ: plyn, emisie, odpad, skládka

ABSTRACT

In Slovakia, each non-hazardous waste landfill must submit an annual report to the National Pollution Register on the amount of emissions into the air, regardless of the threshold values. Thus, landfill site operators notify in accordance with the legislation currently in force. There are ways to calculate landfill gas production (LFG) according to different calculation models. The report on the annual amount of emissions from the LFG for small landfills based only on computational models is burdened with a relatively large error, which is ultimately cumulated nationwide at national level. Our goal is to try to verify these calculations based on actual landfill measurements, although we are fully aware of the complexity of the issue.

KEY WORDS: gas, emissions, waste, landfill site

Úvod - dôvody výpočtu LFG.

Hranica ekonomického posúdenia využiteľnosti LFG sa príbežne mení a postupne s technologickým rozvojom stále znižuje. Ešte v 15-20 rokoch starých guidelines (EPA, ISWA, FEAD) pre využívanie LFG sa uvádzala minimálna kapacita skládky 1,0 až 2,0 mil. ton odpadu resp.

produkcii LFG aspoň 500 m³/h. Vzhľadom na systém dotácií pre využívanie energie z obnoviteľných zdrojov v EU (pôvodne 90 EUR/MW, momentálne cca 60 EUR/MW v SK) a najmä technologickým pokrokom sa dnes energeticky využíva LFG aj na skládkach s produkciou pod 50 m³/hod resp. celkovým objemom uloženého odpadu pod 500 000 t.

Pre skládky s aktívnym systémom na zachytávanie LFG a jeho energetickým využívaním je výpočet produkcie LFG využívaný hlavne na optimalizovanie jestvujúcej „ťažby“ a spresnenie prognózovania produkcie LFG do budúcnosti. Smerodajnými údajmi o množstve zachyteného plynu pre rôzne hlásenia (E-PRTR) či ekonomické vyhodnotenia prevádzky sú reálne údaje z prietoku plynu (objemové toky) v potrubí resp. na vstupe do kogeneračky. Pri malých skládkach, t. j. s celkovou kapacitou do 100 000 t je predpokladaná produkcia LFG príliš nízka na energetické účely. Takéto skládky sa vo väčšine prípadov po ukončení prevádzky vybavujú plošnou drenážou v rámci rekultivácie, prípadne vertikálnymi odplyňovacími vrtmi s pasívnym odvetrávaním LFG do ovzdušia (Bank, 2008). V lepšom prípade sa ešte osadia biofiltre na čiastočnú či úplnú (?) oxidáciu metánu a zníženie šírenia zápachu či NMVOC. Množstvo vyprodukovaného či zachyteného plynu už nie je podrobnejšie sledované a údaje o účinnosti sú skôr odhadom či dokonca len veštením z krištáľovej gule.

So stále naliehavejším volaním po zavedení dane na CO₂ možno očakávať aj na Slovensku sprísnenie výkazníctva resp. zavedenie poplatkov aj za vypúšťané emisie skládkových plynov do ovzdušia. V takomto prípade už je presná evidencia o množstve zachyteného resp. vypusteného plynu veľmi dôležitá, keďže sa u prevádzkovateľa skládky rozhoduje o desiatkach či stovkách tisíc EUR !

1. Zložky LFG z pohľadu emisii.

Ako sme už v našom príspevku (Hrabčák, 2017) pred dvoma rokmi uviedli, celková produkcia generovaného LFG na skládke skladá z viacerých zložiek:

$$\text{GENERATED} = \text{RECOVERED} + \text{EMITTED} + \text{OXIDIZED} + \text{STORED}$$

Jednotlivé zložky sú popísané nižšie pričom je zrejme, že sa prevádzkou skládky snažíme maximalizovať podiel RECOVERED na minimalizovať EMITTED. To znamená, maximálne využiť potenciál vzniknutého LFG na výrobu energie a naopak minimalizovať negatívne dopady LFG na ovzdušie. Časť EMITTED môžeme ešte znížiť prostredníctvom podielu OXIDIZED, pričom podiel STORED je viac menej fixný a nedá sa príliš ovplyvňovať.

RECOVERED – predstavuje skutočne zachytený skládkový plyn, ktorý na výstupe z odplyňovacieho systému skládky (studne alebo vrty alebo plošná drenáž) vstupuje do kogeneračnej jednotky a je následne spálený za výroby elektrickej energie a tepla. Podiel RE/GE (%) je daný technologickou úrovňou odplyňovacieho systému skládky a jej prevádzkou a pohybuje sa od cca 25% až po 90%. Rôzne štúdie a autori (Matthias J. Staub, 2011), (Amy Van Kolken Banister, 2011) uvádzajú viac menej podobné hodnoty. Z publikovaných poznatkov je zrejme, že pasívne systémy odplynenia (bez čerpania LFG a vytvárania podtlaku) sú menej efektívne ako aktívne systémy a pohybujú sa zrejme v rozpätí 25-35 % (Geosyntec Consultant, 2013). Podobne sú uvádzané nižšie hodnoty účinnosti pre horizontálne odplynenie (plošné alebo v drénoch) oproti vertikálnym studniam či vrtom (Francisca, 2017). Horizontálne odplynenie má však svoj význam pri malej hrúbke odpadu (do 10 m), kedy vertikálne vrty sú zase menej efektívne. Špecifický prípad potom predstavuje plošná plynová drenáž na šikmých svahoch, kde podľa viacerých autorov dochádza k najvýraznejším emisiám. Na druhej strane výrazne čerpanie a vysoký podtlak v LFG studniach či vrtach môže spôsobiť nasávanie atmosférického vzduchu do skládky a tým zníženie kvality LFG. Pri aktívnom čerpaní LFG rozhoduje o účinnosti aj vzdialenosť jednotlivých studní (ROI) a ich hĺbka. (Stachowitz W.A., 2019). Naopak sa paradoxne nepotvrdil vplyv priemeru čerpaceho vrtu (DN100 -150 -200) na výťažnosť plynu z vrtu.

EMITTED – predstavuje tú časť skládkového plynu, ktorý emituje resp. voľne uniká do ovzdušia z celého povrchu skládky ako tzv. fugitívne emisie a prispieva k znečisťovaniu ovzdušia.

Podiel EM/GE (%) je daný spôsobom prevádzkovania skládky a teda neriadené skládky teoreticky 90-95% vzniknutého LFG emitujú do ovzdušia. K zníženiu celkového emitovaného LFG prispieva okrem hutnenia aj pravidelne prekrývanie skládky zeminou resp. iným vhodným tesniacim materiálom (dočasný kryt). A hlavne rozdelenie skládky na sekcie a ich postupné zapĺňanie, prekrývanie a uzatváranie t.j. minimalizovanie aktívnej plochy skládky s čerstvým odpadom.

OXIDIZED – množstvo údajov o meraní skutočne emitovaného LFG do ovzdušia z povrchu skládky poukazuje na to, že určitá časť emitovaného LFG sa v prípade vhodného prekryvu povrchu odpadu oxiduje a skutočné množstvo metanú či NMVOC je potom nižšie. Podľa metodiky IPPC sa prijala default hodnota OX/GE = 10%. V reálnej situácii je to trochu zložitejšie, nakoľko aktuálne oxidované množstvo LFG závisí predovšetkým na krycom substráte a jeho vlastnostiach a tiež na aktuálnych meteorologických podmienkach. Podobne ako pri účinnosti odplynenia, rôzne štúdie a autori uvádzajú (Parsaeifard, 2019) rôzne hodnoty oxidácie LFG.

STORED – predstavuje nakoniec tú časť skládkového plynu, ktorý ostáva "trvalo" v telese skládky. Podstatnou mierou toto množstvo LFG ovplyvňuje druh skládkovaného odpadu a jeho pôrovitosť, t.j. aký objem plynu môže tieto pory vyplniť. Silne zhutnené skládky zrejme skladujú menšie množstvo LFG ako menej zhutnené. A taktiež nasýtenie skládky kvapalinami výrazne znižuje kapacitu STORAGE plynu. Z publikovaných údajov sa uvažuje o cca 2-5 % (ST/GE), aj keď niektorí autori (IKM Fehily Timoney, 2012) uvádzajú až 15%.

2. Spôsoby odplynenia skládok.

Na Slovensku sa spôsoby odplynenia skládok týkajú samozrejme len skládok NNO (DK II.), kde sa ukladá komunálny odpad spolu s ďalšími potenciálne biologicky rozložiteľnými odpadmi. Skládky IO zo svojej podstaty nemajú potenciál na tvorbu LFG, keďže na tieto skládky sa môžu ukladať len inertné odpady.

Naopak, na skládky NO je ukladanie BRO pre prevádzkovateľa neekonomické a v podstate aj legislatívne zakázané. Z poznatkov v našej doterajšej 25 ročnej praxi môžeme konštatovať, že na Slovensku sa používajú hlavne dva spôsoby odplynenia: odplyňovacie studne zo dna (on-line) a odplyňovacie vrtý zo stropu (after care) samozrejme ako doplnok k plošnej odplyňovacej vrstve v rámci rekultivačných vrstiev (§8 vyhlášky č. 382/2018 Z.z.).

Podstatná časť skládok (najmä rozlohou väčších kaziet) má už od počiatku vybudované vertikálne odplyňovacie studne. Priamo na dne kazety sa na štrkovej drenážnej vrstve pre priesaky vybudujú „štrkové stĺpy“ (DN 600-1000 mm) s perforovanou rúrou PEHD alebo PVC (DN 140-200) uprostred. Tie sa počas prevádzky skládky postupným zavázaním kazety navyšujú stále nad povrch odpadu, aby po ukončení skládkovania tvorili odvetrávacie komíny na strope kazety. Vzdialenosť odplyňovacích studní volia projektanti v rozpätí 30 - 50 m.

Pri rozlohou menších skládkach sa používa spôsob postupného zavážania po sekciách, pričom po dosiahnutí konečnej výšky zhutneného odpadu v sekcii sa táto uzavrie a rekultivuje. Súčasťou uzavretia je aj odvrtanie odplyňovacieho vrtu z vrcholu skládky = stropu odpadu (DN 150-300 mm) do cca 3/4 hrúbky odpadu. Výstroj vrtu je podobná, ako pri studni – PEHD alebo PVC perforovaná rúra s utesnením pri povrchu a zhlavím s regulačným ventilom. Horizontálne prepojenie studni či vrtov potom riešia projektanti individuálne podľa očakávanej produkcie LFG.



Obrázok 1: Založenie pasívnych odplynovacích studní na dne kazety.

3. Výpočet produkcie a výsledky meraní LFG in-situ.

Pre obmedzený rozsah tohto príspevku uvádzame len dva príklady výsledkov meraní objemového toku LFG a následnú verifikáciu s modelovým výpočtom produkcie LFG. V jednom prípade (A) sme vykonali meranie na skládke s pasívnym odplynovacím systémom typu vertikálnych studní zo dna kazety. V druhom prípade (B – len v prezentácii) sme vykonali meranie na skládke bez vybudovaných LFG zariadení. Vzhľadom na požiadavku prevádzkovateľov týchto skládok neuvádzame ich názvy a rešpektujeme ich požiadavku o anonymitu.

Skládka A sa skladá z kazety o celkovej rozlohe cca 17 000 m², pričom 50 % plochy kazety už bolo naplnené po maximálnu výšku ($h = 10$ m) a táto časť kazety bola uzatvorená a rekultivovaná. Na skládke je v aktívnej časti kazety vybudovaných celkom 5 odplynovacích studní, pričom ROI sa pohybuje od 35 do 50 m. Aktuálna hrúbka odpadu v aktívnej časti kazety je cca 9 m a tento rok bude kazeta naplnená. Pre skládku sme vypočítali teoretické množstvo skládkového plynu (LFG), ktorý bude vznikať za predpokladu anaeróbného rozkladu biologický rozložiteľného uhlíka v uloženom odpade na skládke. Pre tento teoretický výpočet produkcie skládkového plynu sme použili celkom tri modely podľa metódy FOD – Tier 2 (First Order Decoy).

MODELOVÁ PRODUKCIA

LandGEM Model (EPA štandard)

Výpočty produkcie LFG sme realizovali s parametrami $k = 0,05$ a $L_0 = 67$. Pre rok 2018 bola podľa tohto modelu vypočítaná produkcia generovaného LFG 619 770 m³/rok, pre rok 2019 očakávaná produkcia generovaného LFG 785 300 m³/rok a teda k VIII.2019 predstavuje generovaný LFG hodnotu 730 133 m³/rok.

LMOP Model (zjednodušený)

Spracovali sme variant výpočtu s priemernou produkciou metánu z rozkladu odpadu $L_0 = 67$ m³/t a rýchlosťou rozložiteľnosti odpadu $k = 0,05$ pre celkové množstvo uloženého odpadu na skládke

142 075 t. Celkové generované množstvo LFG je v roku 2018 okolo 634 846 m³/rok, pre rok 2019 očakávaná produkcia generovaného LFG je 804 353 m³/rok a teda k VIII.2019 predstavuje generovaný LFG hodnotu 747 851 m³/rok.

Afvalzorg Multiphase Model

Pre rok 2018 bola podľa tohto modelu vypočítaná produkcia metánu CH₄ pri 50% o objeme 278 351 m³/rok, čo predstavuje hmotnostne 198 742 kg/rok. Pri dopočítaní CO₂ je potom ročné množstvo generovaného LFG asi 568 063 m³ a v roku 2019 už 719 852, čo k VIII.2019 predstavuje 655 700 m³/rok.

MERANÁ PRODUKCIA

Merania in-situ na skládke priniesli nasledujúce výsledky. Objemový tok LFG zachyteného odpľňovacím studňami PS-1 až PS-5 sa pohyboval v rozsahu 1,00 až 4,91 Nm³/h. Suma objemového toku zachyteného LFG zo všetkých piatich studní v aktívnej časti kazety bola 12,5 Nm³/h čo predstavuje ročné množstvo zachyteného LFG cca **109 850 Nm³/r** pre túto časť skládky.

4. Verifikácia údajov meranie/výpočet.

Merané hodnoty v teréne

Ako už bolo v predošlej kapitole spomenuté, nameraný objemový tok LFG na odpľňovacích studniach v aktívnej časti (III. etapa I. kazety) bol cca **109 850 Nm³/r**. Toto množstvo predstavuje tzv. zachytený LFG. Podľa publikovaných údajov zo zahraničia sa účinnosť zachytávania skládkového plynu (CE) na aktívnych skládkach bez akéhokoľvek prekryvu uvádza v rozpätí 25 až 35%. Po prepočte na celkový generovaný LFG potom vychádza produkcia LFG z III. etapy v rozpätí **314 000 až 440 000 Nm³/r**.

Zachytený LFG:	Generovaný LFG:		
(skutočne merané)	CE = 25%	CE = 30%	CE = 35%
109 850 Nm ³ /r	439 400 Nm ³ /r	366 200 Nm ³ /r	313 900 Nm ³ /r

Vypočítané hodnoty podľa modelov

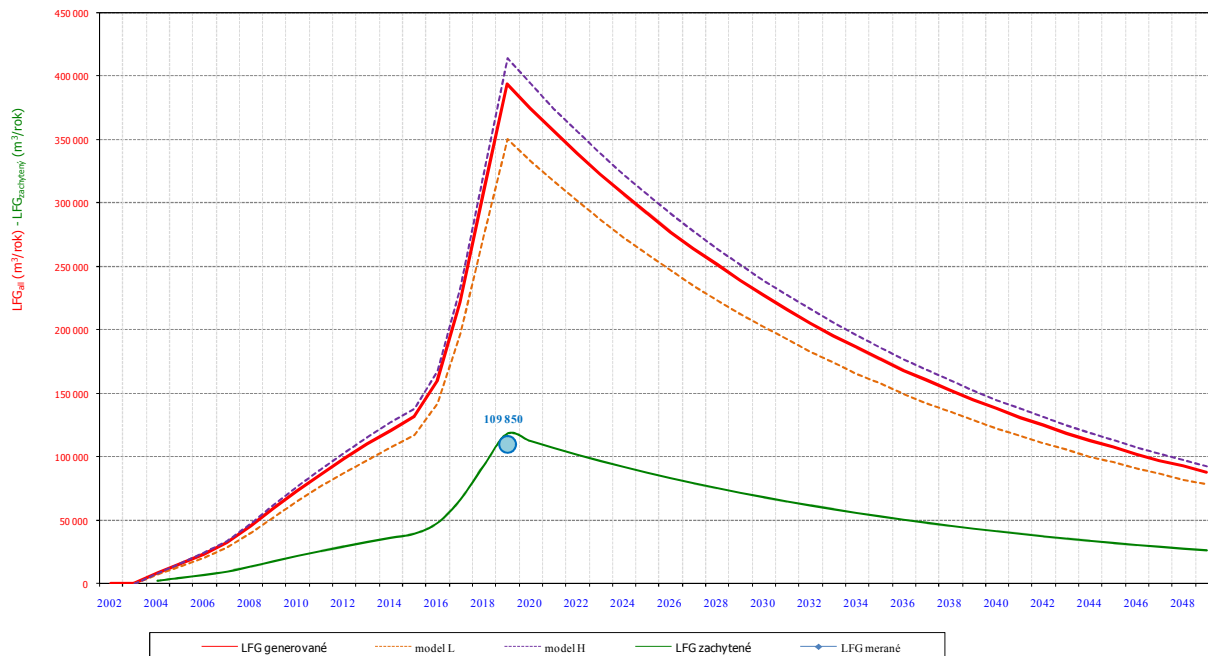
Z predošlej kapitoly vyplýva, že množstvo generovaného LFG na skládke z I. kazety sa podľa jednotlivých výpočtových modelov (LandGEM, LMOP, AFVAL) pohybuje v rozsahu 660 000 až 750 000 m³/r. Po prepočte len na III. etapu skládky je vypočítané množstvo cca **323 500 až 367 500 m³/r**.

Záver verifikácie.

Porovnaním týchto údajov môžeme konštatovať, že namerané výsledky zachyteného LFG na odpľňovacích studniach sú vo vysokej zhode s matematickými výpočtami celkového generovaného LFG za skládku - vid' graf. Priemerný celkový generovaný LFG podľa modelov je znázornený červenou čiarou s rozpätím Low a High (oranžová - fialová čiarkovaná čiara.)

Teoreticky využiteľný LFG (30%) je znázornený zelenou čiarou. Skutočne nameraný zachytený LFG predstavuje modrý krúžok. Po uzavretí I. kazety a utesnení povrchu stúpne využiteľný LFG na cca 50-65% generovaného LFG a tým sa zvýši možnosť energetického využitia plynu. Na druhej strane pokles krivky s časom ale skracuje časovú lehotu využívania LFG na výrobu energie.

Produkcia LFG na skládke - model a meranie



Záver

Cieľom našej práce bolo overiť, či je možné aj bez nákladných čerpacích pokusov skládového plynu overiť skutočnú produkciu plynu a verifikovať tak výpočtové modely emitovaného LFG. Výsledky meraní objemového toku LFG na malej skládke (140 000 t odpadu) preukázali, že meraná produkcia plynu je vo veľmi dobrej zhode s výpočtovými modelmi. Rozšírením meraní na ďalšie skládky predpokladáme, že sa spresnia naše výpočtové postupy.

ZOZNAM BIBLIOGRAFICKÝCH ODKAZOV

- Amy Van Kolken Banister, P. S. (2011). LFG Collection Efficiency: Debunking the Rhetoric. *MSW Management*.
- Bank, W. (2008). Guidance Fact Sheet: Landfill Gas Collection, Flaring Ana Energy Recovery Design. In *Handbook for the Preparation of Landfill Gas to Energy Projects*.
- Francisca, F. M. (2017). Technical and economic evaluation of biogas capture and treatment for the Piedras Blancas landfill. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 67:5, 537-549.
- Geosyntec Consultant. (2013). *FINAL LANDFILL GAS TO ENERGY FEASIBILITY REPORT*. Oakland, CA 94607.
- Hrabčák, M. (2017). Fugitívne emisie zo skládok a ich kvantifikácia. *Skládkový workshop Žitava - Liberec* (s. 7-14). Zittau: 13. Deponieworkshop Zittau-Liberec.
- IKM Fehily Timoney. (2012). *An Examination and Review of UK and International Best Practice for Mitigation of GHG Emissions*. Zero Waste Scotland.
- Matthias J. Staub, G. M.-P. (2011). An incremental model to assess the environmental impact of cap cover systems on MSW landfill emission. *Geotextiles and Geomembranes*, 29 (2011) 298 - 312.

Parsaeifard, N. (2019). *ENHANCING ANAEROBIC OXIDATION OF METHANE IN LANDFILL COVER Soil*. Arlington: The University of Texas at Arlington - DISSERTATION .

Stachowitz W.A. (2019). 33 years of experience in LFG extraction - from theoretical gas prognoses to realistic gas extraction systems. *Proceedings Sardinia 2019 / Seventeenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

ADRESA AUTORA

Ing. Marek HRABČÁK

Geosofting, s.r.o. Prešov, Solivarská 28, Prešov, Slovenská republika

e-mail: geosofting@stonline.sk

RECENZIA TEXTOV V ZBORNÍKU

Recenzované dvomi recenzentmi, členmi vedeckej rady konferencie. Za textovú a jazykovú úpravu príspevku zodpovedajú autori.

REVIEW TEXT IN THE CONFERENCE PROCEEDINGS

Contributions published in proceedings were reviewed by two members of scientific committee of the conference. For text editing and linguistic contribution corresponding authors.