



Europäische Union. Europäischer
Fonds für regionale Entwicklung.
Evropská unie. Evropský fond pro
regionální rozvoj.



Ahoj sousede. Hallo Nachbar.
Interreg VA / 2014 – 2020

Deponieworkshop

Zittau-Liberec 2017

Deponiebau - EU-Wasserrahmenrichtlinie - Stoffströme und Deponierückbau

09.-10. November 2017



Skládkový workshop

Žitava-Liberec 2017

**Výstavba skládek - Směrnice EU, kterou
se stanoví rámec pro činnost Společenství
v oblasti vodní politiky -
látkové proudy a odtěžování skládek**

9.-10. listopadu 2017

Flüchtige Emisionen aus Deponien und deren Quantifizierung

Fugitívne emisie zo skládok a ich kvantifikácia

Marek Hrabčák¹

Kurzfassung

Flüchtige Emissionen, d.h. das nicht erfasste Deponiegas (LFG), stellen scheinbar den größten Anteil an negativen Folgen des Deponierens von nicht aufbereiteten Kommunalabfällen auf die Umwelt dar. Es handelt sich insbesondere um Methan (CH_4), aber auch Stickstoffoxide, Schwefelwasserstoff und flüchtige organische Verbindungen ohne Methan (NMVOC). Trotz einer relativ strikten gesetzlichen Kategorisierung der Emissionsquellen nach der Art ihrer Produktion ist die Art der Berechnung der Produktion von LFG relativ wohlwollend und beruht auf mehreren „Konstanten“ (k , L_o , DOC), die aber bei einer näheren Betrachtung lokal sehr „variabel“ sind. Für flüchtige Emissionen gilt dies absolut, dabei ist keiner der vorgeschlagenen Leitfäden ausreichend genau und validierbar. In unserem Beitrag möchten wir die Berechnung der Produktion von LFG nach unterschiedlichen Modellen sowie manche Methoden zur Bestimmung der flüchtigen Emissionen aus Deponien näher bringen.

Abstrakt

Plynné emisie do ovzdušia t.j. nezachytený skládkový plyn (LFG) predstavujú zrejme najväčší podiel z negatívnych dopadov skládkovania neupravených komunálnych odpadov na životné prostredie. Jedná sa predovšetkým o metán (CH_4), ale aj oxidy dusíka, sírovodík a prchavé nemetánové organické zlúčeniny (NMVOC). Napriek pomerne striktnej a rezolútnej legislatívnej kategorizácii zdrojov emisií podľa ich produkcie je spôsob výpočtu produkcie LFG pomerne benevolentný a založený na viacerých „konštantách“ (k , L_o , DOC), ktoré sú ale pri bližšom skúmaní lokálne veľmi „variabilné“. Pre fugitívne emisie to platí absolútne a žiadna z navrhovaných metodík nie je dostatočne presná a validovateľná.

1 Úvod

Skládkový plyn (LFG) tvorí podstatnú časť nepriaznivých emisií vznikajúcich v procese zneškodňovania komunálnych odpadov skládkovaním. Svojím zložením (metán, oxid uhlíka a dusíka atď.) sa zaradzuje medzi tzv. skleníkové plyny, ktoré podľa niektorých vedcov výrazne prispievajú ku klimatickým zmenám. Podľa rôznych autorov a metodík inventarizácie emisie metánu z procesu nakladania s odpadmi (okrem iného aj skládkovania komunálnych odpadov) prispievajú až 15 % ku globálnym antropogénnym emisiám metánu vo svete. Aj keď je polčas rozpadu metánu v ovzduší pomerne krátky, svojim GHG impakтом faktorom má oveľa nepriaznivejší dopad na klimatické zmeny ako samotný oxid uhličitý. Obmedzovanie emisií metánu v procese nakladania s odpadmi je preto jedna z dôležitých úloh v tomto sektore. V poslednom období viaceré odborné združenia v odpadovom hospodárstve (ISWA, SWANA, FEAD) vydali rôzne metodiky a doporučenia pre svojich členov, ako tento problém riešiť.

Na základe § 26 ods. 1 písm. e, zákona č. 39/2013 Z.z. o integrovanej prevencii a kontrole znečisťovania životného prostredia a o zmene a doplnení niektorých zákonov je každý

¹Geosofting, Solivarská 28, Prešov, E-mail: geosofting@stonline.sk

prevádzkovateľ zariadenia povinný oznamovať údaje do národného registra znečisťovania. Podrobnosti oznamovania údajov rieši zákon č. 205/2004 Z.z. a jeho novela č. 4/2010 Z.z. Oznámenie do národného registra znečisťovania obsahuje najmä údaje podľa osobitného predpisu. Osoby povinné oznamovať údaje do národného registra znečisťovania oznamujú tieto údaje na oznamení za oznamovací rok raz ročne, najneskôr však do 31. marca nasledujúceho kalendárneho roka. Podľa aktualizovaného znenia zákona sa na Slovensku do národného registra znečisťovania oznamujú emisie bez zohľadnenia prahových hodnôt uvedených v prílohe č. 1 k zákonu č. 205/2004 Z.z. - teda aj podlimitné (t.j. $\text{CH}_4 \leq 100000\text{kg/r}$). Prevádzkovatelia skládok odpadov s IP povolením tak oznamujú podľa § 5 vyhlášky č. 448/2010 Z.z. údaje o emisiách do ovzdušia pre:

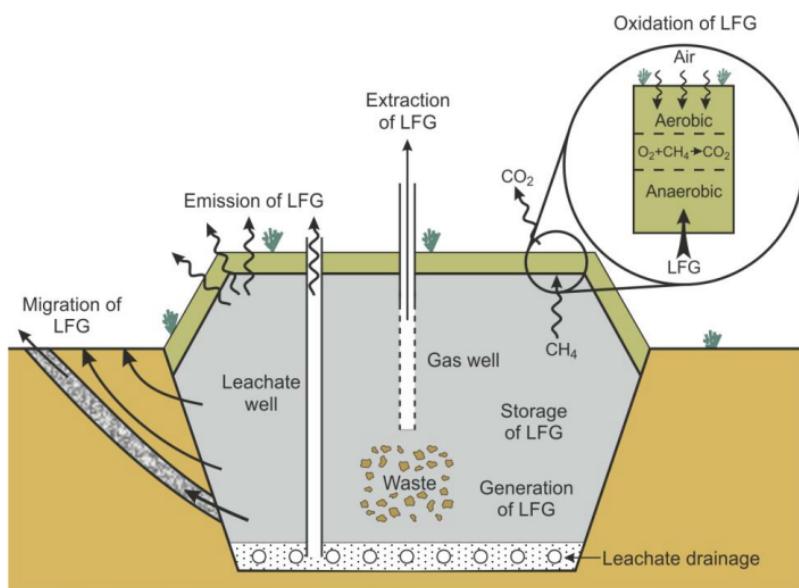
1. metán CH_4
2. oxid uhličitý CO_2
3. nemetánové prchavé organické látky (NMVOC)

Podľa Pokynu EK zo dňa 16.7.2012 [1] zariadenia ktoré emitujú menej ako 25 000 t $\text{CO}_{2-\text{eq}}$ ročne možno v súlade s článkom 47 smernice 2003/87/ES kategorizovať ako zariadenia s nízkymi emisiami. Pre takéto zariadenia možno použiť zvláštne systémy zjednodušenia monitorovania, vykazovania a overovania, aby sa znížili administratívne náklady. Zároveň pre zariadenia, ktoré vypúšťajú maximálne 5 000 t $\text{CO}_{2-\text{eq}}$ ročne platia aj znížené požiadavky na úroveň presnosti.

2 Emisie skládkového plynu

Podľa [4] pre koncepcný model migrácie LFG a teda aj metánu zo skládok komunálneho odpadu rozlišujeme nasledovné zložky:

$$\text{CH}_4, \text{generated} = \text{CH}_4, \text{extracted} + \text{CH}_4, \text{emitted} + \text{CH}_4, \text{migrated} + \text{CH}_4, \text{oxidized} + \text{CH}_4, \text{stored}$$



Obr. 1: Emisie metánu zo skládky (zdroj [4]).

Celkový generovaný \sum METAN =

- metán využívaný napr. na výrobu el. energie alebo pasívne spaľovaný (Mv)
- metán plošne emitovaný do ovzdušia (fugitívne emisie) (Me)
- metán pod povrchovo migrovaný mimo skládku (Mm)
- metán oxidovaný v povrchovej vrstve odpadu (Mo)
- metán trvalo zadržiavaný v skládke (Ms)

Fugitívne emisie už zo svojej podstaty je však veľmi ľahké kvantifikovať, pretože nemôžu byť priamo in situ merané, najmä na plošne rozsiahlych skládkach. Fugitívne emisie preto bývajú často len odhadnuté pre jednotlivé skládky v kombinácii s rôznymi výpočtovými modelmi na národnej úrovni. Tento prístup ku kvantifikácii fugitívnych emisií zo skládky je začlenený via cerými faktormi. Aj keď primárne vychádza z národných faktorov a konštant, lokálne zmeny na úrovni konkrétneho miesta skládky alebo jej prevádzky môžu mať oveľa väčší dopad.

Celoštátne resp. súhrnné výpočty emisií na národnej úrovni sú počítané za použitia odhadovaných súhrnných parametrov. Niektoré z týchto vstupov, ako napríklad celková tonáž skládkovaného odpadu alebo množstvo LFG priamo zachyteného aktívnym odplynením je možné priamo zmerať. Iné faktory, ako je napríklad celkové množstvo generovaného metánu alebo množstva metánu oxidovaného na povrchu skládok nie je možné merať pre každú konkrétnu skládku. Kvantifikácia fugitívnych emisií zo skládok odpadov tak zostáva potenciálne hlavným zdrojom chýb v inventarizácii skleníkových plynov a ďalších znečistujúcich látok v sektore odpadového hospodárstva.

Na základe informácií o konkrétnej prevádzke každej skládky a jej aktívnom odplyňovacom zariadení môžeme potom určiť, aké množstvo LFG bolo za daný rok využité resp. spálené (Mv). Plošné geosyntetické tesnenie dna a bokov modernej skládky (GM resp. GCL) zamedzuje podpovrhovej migrácií LFG, preto tento parameter zanedbávame (Mm=0). Podobne zadržiavaný metán v skládke (Ms) môžeme z hľadiska emisii zanedbať, keďže dočasne ostáva v telesse skládky a neemituje mimo jej priestor. Podľa vzorca pre výpočet množstva tohto metánu:

$$\text{CH}_4_{\text{stored}} = \text{LP} \cdot F_{\text{CH}_4} \cdot L_{\text{vol}} \cdot \gamma$$

kde LP je porozita skládkového telesa ($\approx 0,2$), F_{CH_4} je podiel metánu v LFG, L_{vol} je celkový objem skládkového telesa a γ je objemová hmotnosť metánu. Po dosadení údajov sa množstvo zadržiavaného metánu v skládke klasických rozmerov (Volume $\leq 200000\text{m}^3$) pohybuje okolo 5 až 10 t/r t.j. zanedbateľné množstvo v porovnaní s celkovou produkciou. Najdôležitejšie sú teda fugitívne emisie metánu (Me) zo skládky, ktoré určíme tak, že od celkového generovaného množstva metánu \sum METAN odpočítame metán využitý (Mv) a metán oxidovaný (Mo) v pri povrhovej vrstve. Pre výpočet celkovej produkcie metánu sme použili SW výpočty podľa rôznych modelov na výpočet produkcie skládkového plynu (LandGEM, AFVAL, LMOP, atd.)

3 Metodika výpočtu LFG

Podľa oficiálnej metodiky IPCC sektor 6A ODPADY (viď www.ghg-inventory.sk) je skládkovanie odpadov významným zdrojom emisií metánu, ktorý vzniká pri rozklade organických látok prítomných v odpade a anaeróbnych podmienkach. Skládkový plyn pozostáva približne z 50 % metánu a 50 % oxidu uhličitého a stopovým množstvom ne-metánových prchavých organických zlúčenín (NMVOCs). Toto zloženie skládkového plynu nie je stabilné, mení sa v závislosti od zloženia a veku odpadu uloženého na skládke, ako aj od podmienok skládkovania. Emisie skleníkových plynov zo skládok sa zistujú výpočtom podľa množstva uložených odpadov na skládku. Do bilancii skleníkových plynov sa zahrňa iba metán, CO₂ emisie zo skládok nepochádzajú z fosílnych palív, preto sa do bilancií nezahŕňajú. Na Slovensku sa od roku 2005

výpočet emisií metánu zo skládok odpadu vykonáva podľa metódy Tier 2, predtým sa používala jednoduchšia metóda Tier 1.

Stručný popis použitej metodiky je na uvedenom internetovom zdroji, podrobnejší popis vrátane doporučených konštant je v manuáli „Handbook on Waste Sector“, CGE GHG Inventory 2006. Pre zmesový komunálny odpad sa používa postup Tier 2 – rovnica rozkladu prvého radu, ktorá je popísaná nižšie. Táto rovnica umožňuje výpočet emisií metánu zo skládok, ktorý sa uvoľňuje z odpadu počas dlhého obdobia, t.j. odpad uložený v minulých rokoch ovplyvňuje množstvo emisií v roku, pre ktorý sa emisie počítajú. To umožňuje presnejší výpočet emisií ako metodika Tier 1, ktorá berie do úvahy len odpad uložený na skládke v roku, pre ktorý sa výpočet robí. Táto metóda je vhodná len pre výpočet s konštantným návozom odpadu na skládku. Z výsledkov modelovania emisií zo skládok vyplýva, že emisie metánu vypočítané podľa Tier 2 metodiky sú asi o 10 % nižšie ako výsledky získané použitím metodiky Tier 1. Podľa Kim, S. (2002) ak množstvo skládkovaného odpadu rastie medziročne o cca 2 %, pre 20-30 ročnú periódu sú potom výsledky nadhodnotené o 20 - 25 %.

Rovnica Tier 1 (základná = zjednodušená) je založená na nasledovných predpokladoch – nerozlišuje medzi riadenou skládkou a neriadencou, odpočítava sa množstvo zoxidovaného metánu pri prechode krycej vrstvy. Rovnica na výpočet celkového ročného množstva emisií metánu v Gg/rok podľa metodiky Tier 1 je nasledovná:

$$Q = (MSW_T \cdot MSW_F \cdot MCF \cdot DOC \cdot DOC_F \cdot F \cdot 16/12 - R) \cdot (1 - OX)$$

kde jednotlivé parametre sú podrobne popísané v zdrojovej literatúre v závere tohto príspisu a nebudeme sa nimi v texte detailnejšie zaoberať.

Rovnica Tier 2 vychádza z tých istých princípov a používa tie isté parametre ako metodika Tier 1, ale na rozdiel od očakávania, že všetok metán je emitovaný v tom istom roku ako bol odpad uložený, sú emisie rozložené počas viacerých rokov podľa krivky rovnice rozkladu prvého radu t.j. exponenciálnej krivky. Toto rozloženie emisií je v podstatnej miere determinované parametrom (k) = rýchlosť rozkladu organickej hmoty. Rovnica pre výpočet celkového ročného množstva emisií metánu (Q) podľa tejto metodiky je nasledovná:

$$Q_{t,x} = \sum x \left[(A \cdot k \cdot MSW_{T(x)} \cdot MSW_{F(x)} \cdot L_{o(x)}) \cdot e^{-k(t-x)} \right]$$

Výpočet emisií metánu zo skládok pomocou počítačových programov je pomerne rozšírený a existuje viac ako 10 rôznych softwarových nástrojov, ktoré v podstatnej miere rešpektujú lokálne charakteristiky podľa krajiny vzniku.

Podľa D. Reinharta (2010) je nepravidelnosť v tvorbe LFG hlavným problémom pri projektovaní odplyňovacích zariadení. Optimálna metóda na odhad parametrov LFG je determinovať L_o uloženého odpadu na skládke pomocou laboratórnych rozborov ako potenciál tvorby metánu z uloženého odpadu. Hodnota k môže byť potom určená ako výsledok regresnej priamky pri použití first-order modelu a v tiež v súlade s aktuálnymi údajmi o produkcií LFG z výsledkov meraní. Ak také údaje nie sú k dispozícii, môžeme hodnotu k vybrať z technickej literatúry (publikovaných článkov), zohľadňujúc pritom miestne klimatické kritéria, zloženie odpadu a spôsob prevádzky skládky.

Predpovedný model býva často nižší ako skutočné výnosy asi o 10 %. Presnosť výpočtu (resp. koeficient variácie výsledkov) sa pohybuje okolo $\pm 17\%$ až $\pm 30\%$ pre skládky počas prevádzky, $\pm 9\%$ až $\pm 18\%$ pre skládky tesne po ukončení a okolo $\pm 16\%$ až $\pm 203\%$ v lehote 50 rokov po ukončení. Priemerná účinnosť odplyňovacieho systému t.j. recovery rate (%) využiteľného LFG oproti celkovému produkovanému množstvu) na základe meraných prietokov LFG a modelovaných výpočtov sa podľa rôznych autorov pohybuje od 50 do 90 %.

Uvedený teoretický úvod poukazuje na to, že k vypočítaným výsledkom je potrebné pristupovať s patričnou mierou opatrnosti, najmä pri nadhodnocovaní budúcich dôsledkov z únikov LFG alebo plánovaní technologických investícií na ich zamedzenie. Najmä v súvislosti s rozbiehajúcim sa oddelením zberom biologicky rozložiteľných odpadov, ktoré sa už nesmú ukladať

na skládky. Je logické, že následne dôjde aj k zmene niektorých konštant (DOC_f , k , L_o), ktoré podstatným spôsobom ovplyvňujú výslednú tvorbu LFG.

4 Modelový výpočet emisií

Aby sme konkrétnie poukázali na niektoré zásadne neistoty pri stanovení fugitívnych emisií zo skládok odpadov na Slovensku, modelovali sme výpočty pre stredne veľkú skládku o objeme cca 200 000 m³ s konštantným návozom odpadu v množstve cca 15 000 t/rok za 12 rokov prevádzky a cca 66 % skládkovaného odpadu tvorí komunálny odpad.

Pre modelový výpočet teoretického množstva skládkového plynu sme použili modely: Scholl Canyon, LandGEM a Afvalzorg (\approx TNO). Metodikou výpočtu a teoretickými odlišnosťami týchto modelov sa nezaoberáme, podrobne sú uvedené v prácach [2], [3], [6], [5]. Pre skládky, ktoré sú prevádzkované v zmysle smernice EK 1999/31/ES ako zabezpečené a riadené skládky sa podľa metodiky IPCC používa hodnota MCF = 1. Parameter F, ktorý predstavuje podiel metánu v skládkovom plyne sme do výpočtov dosadili default hodnotu (50 %) podľa IPPC:

$F = 0,5$. Na základe pravidelného monitoringu skládkového plynu však je potrebné do záverečných výpočtov hmotnostných podielov CH₄ a CO₂ dosadiť konkrétnie namerané hodnoty zloženia LFG v %. Parameter DOC (degradable organic carbon) sme do výpočtov použili 0,118. Vyčádzame z údajov o priemernom percentuálnom zložení komunálneho odpadu pre východoslovenský región (údaje z KOSIT) a dosadení do vzorca:

$$DOC = (0,4 \cdot A) + (0,17 \cdot B) + (0,15 \cdot C) + (0,30 \cdot D) + (0,24 \cdot E) = 0,118$$

kde A = papier a karton, B = zelený odpad, C = potravinový odpad, D = drevo, E = textil

Podľa správy NIR 2016 SK bola pre výpočet GHG emisií zo slovenských skládok použitá podobná konštantă $DOC = 0,112$. Podľa doporučenia ISWA a IPCC je pre región Európa East je doporučená hodnota až 0,180. Hodnotu DOC_f (fraction of assimilated DOC) sme použili 0,77 podľa vzorca pre výpočet: $DOC_f = 0,014 \cdot T + 0,28$, kde T je teplota anaeróbneho rozkladu pri tvorbe LFG (35°C). Podľa IPCC default hodnota od roku 1996 bola 0,77, po roku 2006 sa začala používať hodnota 0,50. Odporúčane hodnoty sú v rozsahu 0,42 až 0,98 podľa miestnych podmienok. Hodnotu degradačnej konštanty k (decay rate) sme vypočítali pri miestnych zrážkach (PE = 600 mm) podľa vzorca:

$$\begin{aligned} k &= 3,2 \cdot 10^{-5}(PE) + 0,01 \\ k &= 0,0292 \end{aligned}$$

Takto vypočítaná hodnota však vychádza len z miestnych klimatických pomerov a nezohľadňuje napríklad skrápanie odpadov počas prevádzky skládky čerpaním priesakovej kvapaliny. Do výpočtov sme preto použili default hodnotu $k = 0,05$ ktorú odporúča IPCC pre klimatické pásmo Boreal - Dry ($MAT \leq 20^\circ\text{C}$, $PMAP/PE \leq 1$) a podľa nášho názoru reálnejšie zohľadňuje konkrétné podmienky. Pre výpočet konštanty L_o sme použili známy vzorec:

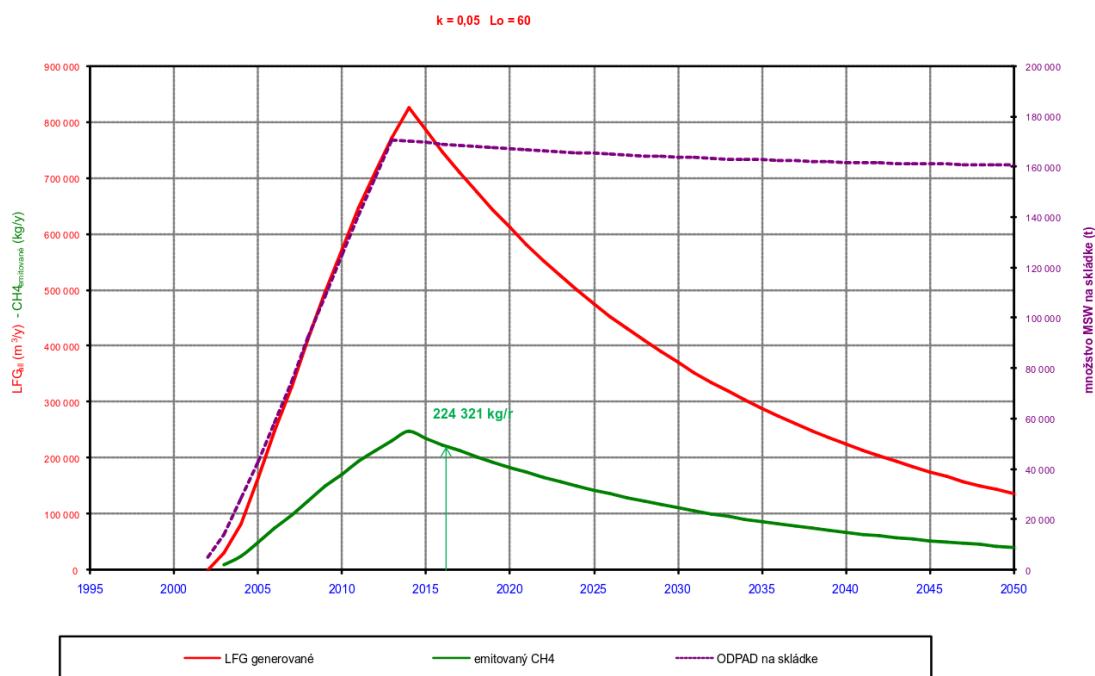
$$\begin{aligned} L_o &= DOC \cdot DOC_f \cdot MCF \cdot F \cdot 16/12 \\ L_o &= 0,118 \cdot 0,77 \cdot 1 \cdot 0,5 \cdot 1,33 \end{aligned}$$

Podľa metódy Tier 2 - FOD sme výpočty produkcie skládkového plynu pre modelovú skládku podľa modelov LMOP, Afvalzorg a LandGEM realizovali pri hodnotách $k = 0,05$ a $L_o = 60$, ktoré sme získali z predoších výpočtov. Kontrolný prepočet podľa L_o / DOC dáva hodnotu 58,2, čo zodpovedá výpočtu podľa IPCC. Pre úplnosť treba uviesť, že premenná k stúpa s obsahom rýchlo rozložiteľných bioodpadov a dostatkom ich vlhkosti, premenná L_o je závislá na celkovom obsahu rozložiteľných bioodpadov na skládke.

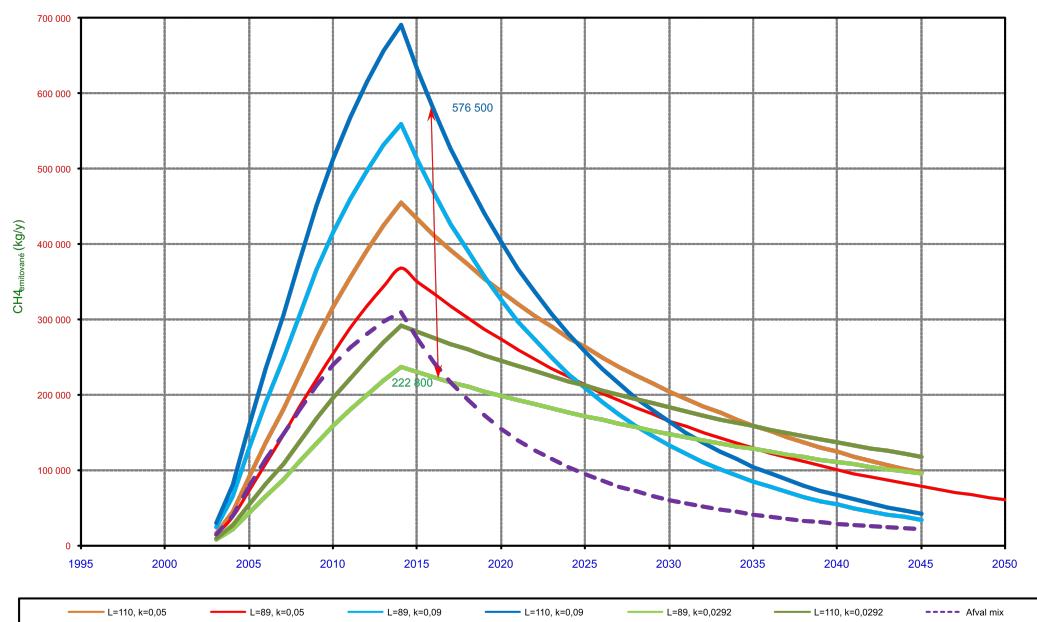
Pre modelovú skládku je množstvo vznikajúceho LFG počítané z celkového skládkovaného množstva odpadov, ktorý je na nasledujúcom grafe znázornený fialovou prerusovanou čiarou =

cca 180 000 t uloženého odpadu na skládke. V dôsledku rozkladu bioodpadov dochádza k postupnému poklesu objemového množstva celkového uloženého odpadu, preto fialová krivka postupne časom mierne klesá. Vypočítaná celková teoretická produkcia LFG (LFG generované) pri uvedených parametroch $k = 0,05$ a $L_o = 60$ je znázornená červenou krivkou. Z krivky je zrejme, že maximálna produkcia LFG na skládke (826 000 m³/r) nasledovala cca rok po ukončení navážania odpadu a postupne klesá.

Emitované množstvo metánu pri teoretickej 10 % oxidácií v pripovrchovej vrstve je znáčené zelenou krivkou. Pre rok 2016 je teoretické množstvo emisií metánu do ovzdušia pre túto modelovú skládku cca 224 321 kg/r. Dôležitým faktorom je však skutočnosť, že výpočet a krivky znázorňujú celkový LFG resp. podiel metánu, ktorý zodpovedá ideálnemu zloženiu 50/50 a nie skutočným nameraným % podielom zloženia skládkového plynu na konkrétnej skládke.



Obr. 2: Produkcia LFG a emise CH₄ na modelovej skládke.



Obr. 3: Porovnanie emisií CH₄ na modelovej skládke pri rôznych hodnotách k a L_o.

5 Záver

V našom príspevku sme sa pokúsili poukázať na zložitosť problematiky kvantifikácie fugitívnych emisií zo skládok odpadov. Odporúčaný postup, kedy emitovaný metán predstavuje zvyšok po odpočítaní využitého resp. spáleného a oxidovaného plynu od celkového generovaného množstva skládkového plynu však naráža na problematiku vieročodného výpočtu produkcie LFG na skládke. Ako je vidieť z posledného grafu, kde sme pre tú istú skládku dosadili len rôzne premenné k a L_o do výpočtu celkovej produkcie LFG, výsledný rozptyl hodnôt emitovaného metánu za rok 2016 je príliš veľký :

od 222 800 kg/r až do 576 500 kg/r !

Podotýkame, že použité hodnoty k aj L_o v týchto výpočtoch sú reálne hodnoty používanými rôznymi autormi pri výpočtoch produkcie LFG pre skládky v EU a nijak extrémne nevybočujú z odporúčaných hodnôt. Podľa tohto modelu až okolo roku 2030 dochádza k určitému zjednoteniu výslednej hodnoty emisií metánu, čo je ale už polovica celého monitorovaného obdobia skládky po jej uzavretí.

Pre konkrétnego prevádzkovateľa skládky tak nastáva zásadná dilema: ktorý model pre výpočet fugitívnych emisií metánu zo skládky použiť a aké konkrétné čísla vyplniť do hlásenia pre NEIS ? Problematica vieročodného stanovenia emisií metánu zo skládok odpadov je tak založená na príliš vysokej neurčitosti a je otázne, nakoľko sú vypočítané a ohlasované hodnoty do národného registra znečisťovania hodnoverné a validovateľné.

Literatúra

- [1] Evropská Komise: Nařízení o monitorování a vykazovaní emisí skleníkových plynů - Pokyn č. 1 ze dne 16.6.2012. *EK - CLIMA.A.3*, 2012.
- [2] Farideh Atabi, M. A.: Calculation of CH₄ and CO₂ Emission Rate in Kahrizak Landfill. *World Sustainability Forum 2014 – Conference Proceedings Paper*, 2014.
URL <http://www.sciforum.net/conference/wsf-4>
- [3] Kaushal A., S. M.: Methane Emission from Panki Open Dump Site of Kanpur, India. *International Conference on Solid Waste Management, 5IconSWM 2015*, 2015, available online at www.sciencedirect.com.
- [4] Kjeldsen P., S. C.: Suggested guidelines for gas emission monitoring at danish landfills. *Proceedings Sardinia 2015, Fifteenth International Waste Management and Landfill Symposium*, 2015, s. Margherita di Pula, Cagliari, Italy: CISA Publisher, Italy.
- [5] Spokas K., B. J.: Methane mass balance at three landfill sites: What is the efficiency of capture by gas collection systems? *Waste Management*, 2006.
- [6] Thompson S., S. J.: Building a better methane generation model: Validating models with methane recovery rates from 35 Canadian landfills. *Waste Management* 29, 2009: s. 2085–2091.