

# Biooxidační filtry eliminující methan v době následné péče o skládky

*Ing. Klára Vondráková, Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT, Praha*

*(klara.vondrakova@vscht.cz)*

*Ing. Marek Šír, PhD., Fakulta technologie ochrany prostředí, VŠCHT, Praha*

## **Souhrn**

*Biooxidační filtry (biofiltry) se používají na skládkách komunálního odpadu v době následné péče. Funkcí biooxidačních filtrů je odbourání methanu pomocí methanotrofních bakterií. Popis biofiltru, jeho význam a využití jsou předmětem příspěvku. V experimentální části jsou ukázány výsledky z dosavadních měření na biooxidačních filtrech, jak laboratorních, tak i provozních.*

**Klíčová slova:** *následná péče o skládky, biooxidační filtry, methanotrofní bakterie*

## **1. Úvod**

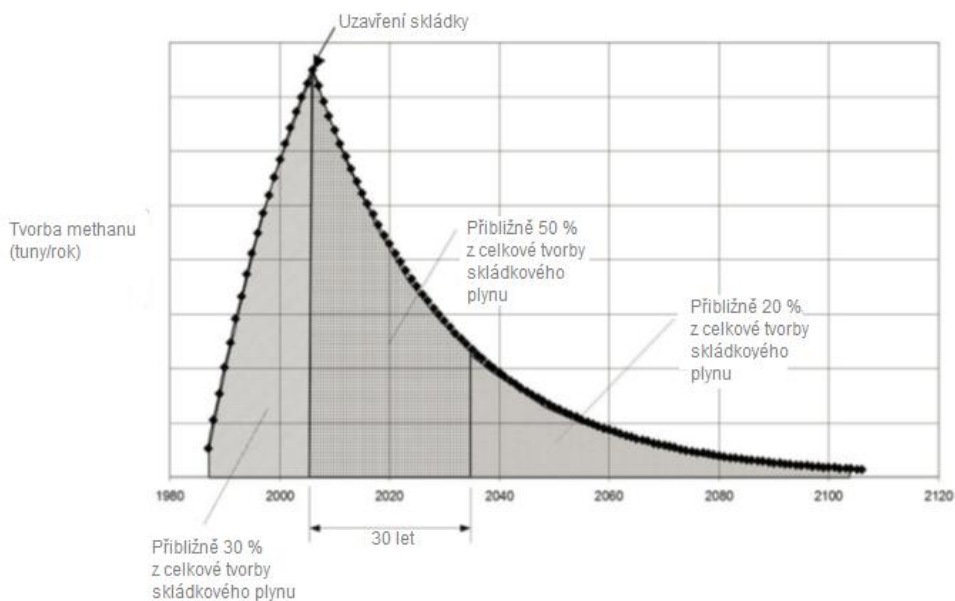
Produkce skládkového plynu (LFG = landfill gas) pokračuje i po uzavření skládky, v době tzv. následné péče. LFG patří svým složením mezi skleníkové plyny, které jsou příčinou globálních klimatických změn. Je to hlavně methan, který ve složení skládkového plynu představuje nebezpečí. Potenciál globálního oteplování (GWP = global warming potential) methanu je 28x vyšší než oxidu uhličitého (8).

Hlavní složky skládkového plynu tvoří methan v koncentracích od 50 % do 64 % objemových a oxid uhličitý v koncentracích od 28 % do 38 % objemových. Ve skládkovém plynu se dále vyskytují stopové složky v různém množství a zastoupení (kyslík, sulfan, argon, halogenvodíky, oxid dusný, amoniak, vodík, organické látky - uhlovodíky, alkoholy, aldehydy, ketony a organochlorové a křemíkaté sloučeniny). Tvorba skládkového plynu je ovlivněna vlhkostí, kyselostí (pH) a teplotou skládky. Dále má vliv i složení odpadu, jeho homogenita, stáří, stupeň jeho rozkladu, hutnění, porosita a propustnost odpadu a také přítomnost inhibitorů nebo látek toxických pro mikroorganismy. Na aktivní skládce závisí i na rychlosti zavážení odpadů a na technologii zakládání odpadu.

V období zmíněné následné péče skládkový plyn stále vzniká. Jeho množství po ukončení ukládání odpadu s časem klesá (Obr. 1). Během prvních 30 let od ukončení navážení odpadu se uvolní 50 % z celkové produkce plynu. Dalších 20 % skládkového plynu unikne od ukončených 30 let až do 100 let.

V Evropské Unii, tedy i v České republice, je doba následné péče stanovena na 30 let. V tomto období již postupně nelze skládkový plyn využívat, nejen kvůli nedostatečné produkci, ale i jeho kvalitě. Skládkový plyn se dále monitoruje, legislativně je stanoveno 2x ročně.

Obr. 1: Průběh vzniku skládkového plynu (4): začátek skládkování v roce 1988. Aktivní ukládání odpadu do roku 2005. Následuje období následné péče do roku 2035.



## 1.1 Technologie pro odstranění methanu

Klesne-li podíl methanu ve skládkovém plynu, nedá se již energeticky využívat. U kogenerace je nutné minimum okolo  $\text{CH}_4$  50 % obj. dle výrobce kogenerační jednotky. Při nižším zastoupení methanu zbývá pouze methan odstraňovat bez využití energie.

ČSN 83 8034 doporučuje dvě technologie pro zneškodnění methanu: fléru a biooxidační filtr (biologicky aktivní jednotku, biofiltr).

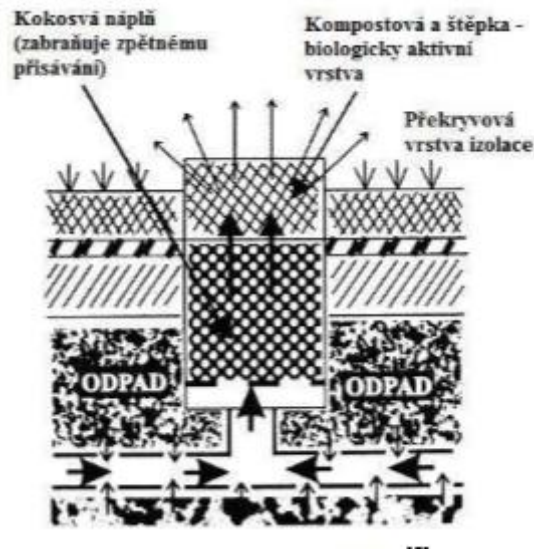
Fléra neboli hořící pochodeň je dosud nejpoužívanější metodou pro zneškodňování skládkového plynu. Obsah methanu musí být minimálně 25 %, případně může být doplněn spalováním. Většinou spalovací teplota je  $1200^\circ\text{C}$  a doba zadržení je 3 sekundy. Volné fléry emitují až  $1000 \text{ mg/m}^3\text{CO}$ , uzavřené mají  $10 \text{ mg/m}^3$ . Emise  $\text{NO}_x$  lze obecně udržet pod hladinou  $150 \text{ mg NO}_2/\text{m}^3$ , u všech typů flér je však nebezpečí emisí  $\text{NO}_x$  rostoucí s rostoucí teplotou (10).

## 1.2 Biooxidační filtr

Biooxidační filtr patří mezi pasivní systémy odplynění. Je vhodný pro skládky s malým a středním výronem methanu. Tyto skládky mají produkci  $\text{CH}_4 < 200 \text{ m}^3/\text{h}$  a koncentraci  $\text{CH}_4$  v hloubce 0,6 m  $< 35$  % objemových.

Funkční vrstvou je horní část filtru, kde probíhá oxidace methanu pomocí methanotrofních bakterií (methanotrofů). Tyto bakterie využívají jako zdroj uhlíku a energie jednoduhlíkaté substráty (methan, methanol), ale dokáží oxidovat i dymethylether. Jde o aerobní růst mikroorganismů, při němž se redukuje vazby C-C a methan je oxidován přes meziproducty až na oxid uhličitý.

Obr. 2: Řez biofiltrem (10)

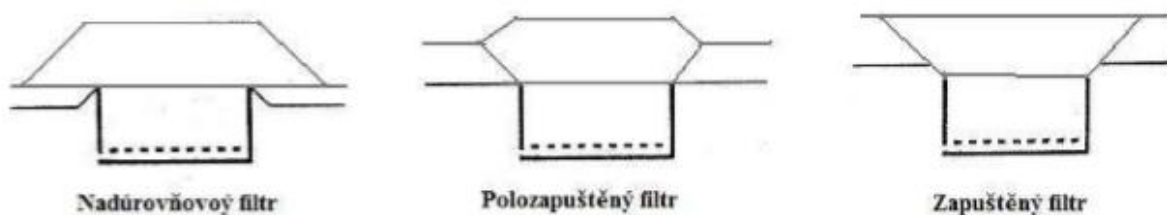


Jako materiál svrchní vrstvy se používá organický substrát, např. dřevní štěpka, hobliny z jehličnatého dřeva (borovice, smrk), drcené brikety z dřevěného uhlí, lesní dřevní štěpka nebo mulčovaný dřevní odpad smíšený se zeminou. Každý materiál má jinou účinnost. České skládky mají svrchní vrstvu většinou tvořenou štěpkou a kompostem. Svrchní vrstva je vyměňována jednou za 2-3 roky. Tato vrstva by se měla být dobře promíchaná a homogenizovaná, dále by se měla udržovat jako kyprá, pružná, dobře propustná a minimálně zvlhčená ve výšce průměrně 80 cm. V suchých obdobích stačí zavlažovat 20-30 l/m<sup>2</sup>. Jinak by se dala nazvat jako bezúdržbová.

Spodní vrstva je tvořena koksem. Její funkce je plynotěsnost a rovnoměrná distribuce stoupajícího skládkového plynu do horní vrstvy.

Na dobře udržovaných biofiltrech se účinnost odbourání methanu pohybuje od 95 -100%.

Obr. 3: Tři typy biofiltrů: nadúrovňový, polozapuštěný a zapuštěný (10)



### 1.2.1. Vnější faktory působící na biofiltr

Na biofiltr působí vnější vlivy, mezi hlavní patří teplota, vlhkost a barometrický tlak. Teplota a vlhkost musí vyhovovat životním podmínkám methanotrofních bakterií. Teplota dobře udržovaných filtrů je nejméně o 7-10°C vyšší než má okolí, rozdíl může být i 30°C. Účinné biofiltry mají teplotu 30-40°C. Nejlépe fungující filtry mají teplotu až 50°C. Teplota se liší u každé skládky podle teploty skládkového tělesa, okolní teploty vzduchu (změna den x noc), umístění biofiltru (nadúrovňový x zapuštěný) a svodného potrubí (pokud je umístěno mimo těleso skládky, je třeba trubku zaizolovat proti zimě).

Při nedostatečném zvlhčení skládky na 10-15 % saturace vodou (2) mohou vznikat v tělese skládky tzv. EPS (exopolymerní látky, exopolymeric substance). Jedná se o bílou hmotu připomínající

vápno. Je organického původu a nejspíše jde o cukry. Při zpětném vlhčení se částečně mění na rozpustný gel, který stéká do dolních částí filtru, kde je spotřebován.

Na biofiltr má vliv změna barometrického tlaku, která ovlivňuje pohyb plynů, tj. výrony methanu a dalších plynů. Vzdávající barometrický tlak omezuje úniky plynu, může způsobit i jeho pronikání do skládky. Zatímco klesající barometrický tlak posílí uniky plynu ze skládky. Barometrický tlak se v krátké době maximálně několik desítek hodin může změnit i o 3000 Pa i více, a tak má značný vliv na objem unikajícího plynu ze skládky. V dlouhodobém průměru jsou však změny barometrického tlaku méně než 100 Pa/den.

### **1.2.2. Výzkum biofiltrů**

Celosvětový zájem o výzkum v oblasti biofiltrů a oxidace methanu narostl po roce 2005, kdy byl zaznamenán nárůst pozitivních zkušeností. V České Republice inicioval výstavbu provozních biofiltrů Ústav pro výzkum a vývoj paliv Praha, který i navrhl 3 typy biofiltrů (Obr. 3). V současné době je v České republice instalováno okolo 20 biofiltrů.

VŠCHT je členem TG CLEAR group, která se biofiltry zabývá v organizaci International Waste Working Group (IWWG). Díky tomu měření na českých biooxidačních filtrech koresponduje s výzkumem zahraničních univerzit, které jsou také členy TG CLEAR. Existují stále oblasti, které jsou předmětem výzkumu, jako např. tvorba EPS, vliv barometrického tlaku či BAT (Best Available Technology) dokumentace pro biofiltry.

## **2. Experimentální část**

Experimentální část zahrnovala jednak laboratorní testy a jednak měření na provozním biofiltru na skládce.

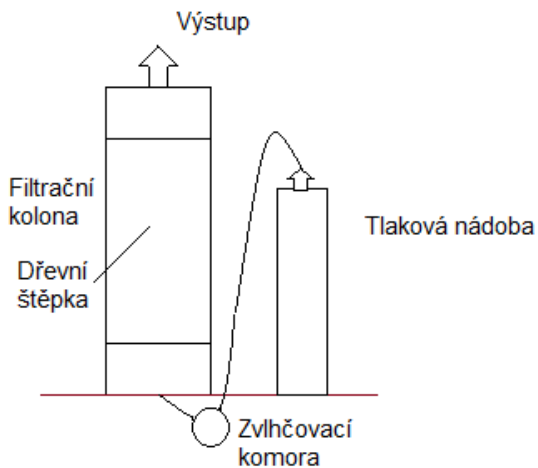
### **2.1 Laboratorní testy**

Testy na laboratorní koloně měly za cíl prověřit účinnost svrchní vrstvy laboratorního filtru a děje, ke kterým v této vrstvě dochází. Kvůli bezpečnostnímu hlediska byla zvolena směs methan-vzduch, kde methan byl na dolní mezi výbušnosti, tj. 2,2 %.

Sestava filtrační kolony:

- skleněné kolony o výšce 1,0 m a objemu 0,02 m<sup>3</sup> s výplní materiálu
- tlakové nádoby
- zvlhčovací komory
- methanometru Sewerin Multitec 540, vyrobené společností Hermann Sewerin GmbH
- průtokoměru Sensidyne, TSI model 4199, vyrobeno firmou TSI Incorporated.

Obr 4: Schéma laboratorní kolony



Filtrační kolna byla naplněna testovaným materiálem. Průtok byl zvolen okolo 100 ml/min. Methan byl do ní vpouštěn po dobu 8 hodin. Během testů nebyla pozorována tvorba EPS, nedošlo tedy k vyschnutí testovaného materiálu.

## 2.2 Měření na provozním biofiltru

Měřená skládka TKO je vybavena jedním biofiltrem, kontrolním bodem a dvěma plynosběrnými věžemi. Celá odplyňovací soustava je uložena pod povrchem, nad rekultivovaný terén vystupuje pouze těleso biofiltru, plynový uzávěr a kontrolní bod.

Biofiltr je situován na nejvyšší místo skládky. Má rozměry 5 x 10 m, objem je cca 30m<sup>2</sup> a je naplněn směsí dřevní štěpky a kompostu v poměru 10:1. Na skládce je dále 2 věží, které slouží pro měření skladby vnitřního skládkového plynu. Poslední kontrolní bod je před vstupem do biofiltru (viz obr.). Biofiltr je udržován a měřen, jeho svrchní vrstva je pravidelně měněna za novou. Od pohledu je tato vrstva dobře promíchaná, homogenizovaná a kyprá.

Měření biofiltru bylo na těchto místech:

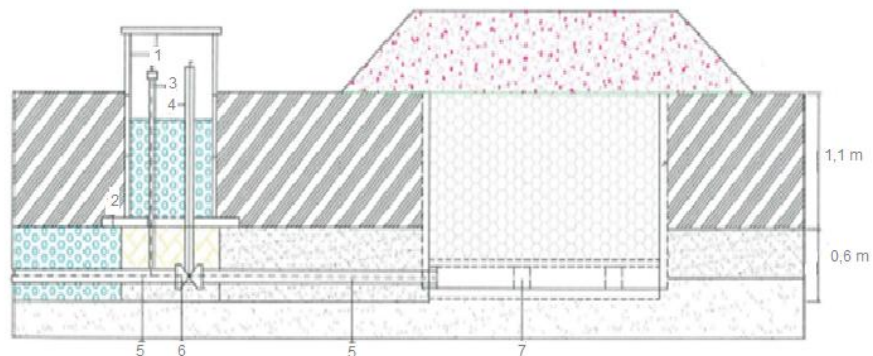
- těsně nad povrchem biooxidačního filtru
- složení plynu v hloubkách 10 a 50 cm
- hloubkové teploty

Měření na skládce:

- kontrolní bod
- dvě plynosběrné věže

Biooxidační filtr jako emisní zdroj má povinnost mít měřeny úniky methanu. V současné době je stanoveno, že povrchové koncentrace methanu v těsném kontaktu materiálu filtru mají být za bezvětrí nejvýše do 0,3 % objemového (1). Bližší požadavky ani metodika na měření biooxidačních filtrů však neexistují.

Obr. 5: Konstrukce kokso-kompostového filtru s kontrolním bodem



Legenda:

- |                          |                         |
|--------------------------|-------------------------|
| 1. Betonové skruže       | 5. PE roura DN 160      |
| 2. Betonové desky        | 6. Zemní souprava DN160 |
| 3. Vzorkovací místo      | 7. Biooxidační filtr    |
| 4. Uzávěr zemní soupravy |                         |

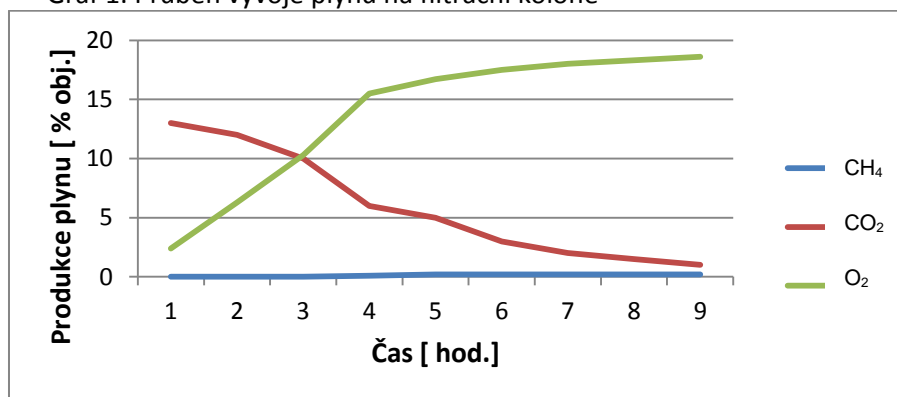
### 3. Výsledky

#### 3.1 Laboratorní část

Po 15 minutách od začátku experimentu došlo k průniku methanu do výstupního proudu z kolony. Po 3 hodinách při ustáleném stavu dosahovala koncentrace methanu na výstupu počátečních 0,1 % obj., v další hodině na 0,2 % obj., kde se tato hodnota ustálila. Během průchodu kolonou došlo ke snížení z 2,2 % obj. na 0,2 % obj., neboli o 90 %.

Výsledky měření prokázaly, že přítomné methanotrofní bakterie jsou na testovaném materiálu schopny odbourávat methan, a to s účinností 90 % během 8 hodin od začátku nájezdu kolony. Teplota v koloně byla pouze o jeden stupeň vyšší než teplota okolí.

Graf 1: Průběh vývoje plynů na filtrační koloně



Na Grafu 1 je znázorněna závislost koncentrací CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub> a O<sub>2</sub> na výstupu z kolony v čase při nájezdu kolony. Oxidu uhličitý je zde dvojího původu. Jednak vzniká z methanu a dále rozkladem dalších organických látek dřevní štěpky. Tím je daná vysoká koncentrace CO<sub>2</sub> na začátku nájezdu kolony.

Jako následující rozšíření laboratorních experimentů by bylo vhodné testovat různé biologické substráty a jejich účinnost. Mezi vhodné by bylo měření na materiálech málo oživených methanotrofními bakteriemi (např. drcené brikety), přes středně oživené (např. hobliny) až po vzorky, u kterých se předpokládá vysoká účinnost (jako byl námi testovaný mix dřevní štěpky a kompostu). Toto bude též zájmem našeho dalšího měření na filtrační koloně.

### 3.2. Závěry z měření na filtru

Povrchové úniky methanu nebyly nikde zjištěny, tedy ani těsně nad povrchem biooxidačního filtru, jak vyžaduje Česká státní norma. Výsledky měření samotného biofiltru, kontrolního bodu, plynosběrných věží jsou uvedeny níže.

Tab. 1: Složení plynu v biooxidačním filtru

Sonda	Hloubka cm	CH <sub>4</sub> (% obj.)	CO <sub>2</sub> (% obj.)	O <sub>2</sub> (% obj.)	N <sub>2</sub> (% obj.)
1.	10	0,0	2,9	17,1	80,0
	50	0,0	8,6	16,6	74,8
2	10	0,0	3,2	17,4	79,4
	50	0,0	3,5	15,9	80,6
3.	10	0,0	2,7	17,0	80,3
	50	0,0	3,0	16,2	80,8

Tab. 2: Teploty ve filtru

Sonda	Hloubka 10 cm	Hloubka 50 cm
1	12,0	21,6
2	14,1	20,7
3	13,7	22,9

Tab. 3: Složení plynu v kontrolním bodu a v plynosběrných věžích

Věž č.	CH <sub>4</sub> (% obj.)	CO <sub>2</sub> (% obj.)	O <sub>2</sub> (% obj.)	N <sub>2</sub> (% obj.)
Kontrolní bod	58,8	30,6	2,0	8,6
V1	52,0	32,3	0,0	15,7
V2	50,9	32,9	0,0	16,2

Na kontrolním bodě bylo naměřeno klasické složení skládkového plynu, kde se methan pohybuje od 50 – 58% obj.. Nad filtrem již žádný methan nebyl naměřen. Biofiltr tedy splňuje svoji funkci, methan je plně odbouráván.

#### 4. Závěr

Když v období následné péče množství i kvalita skládkového plynu klesne, nedá se již tento plyn využívat k energetickým účelům. Avšak vzhledem k jeho nebezpečnému složení je nutné jej odstraňovat. Jednou z technologických možností je biooxidační filtr. Jde o pasivní systém, který je řízen methanotrofními bakteriemi. Oxidace methanu probíhá ve svrchní vrstvě biofiltru. Dobrým indikátorem účinnosti biofiltru je teplota. Vlhkost biofiltru by se měla hlídat. Podmínky barometrického tlaku jsou v dlouhodobém výhledu příznivé.

Měření na provozním biofiltru prokázalo účinnost této technologie. V České republice se nejvíce užívá tzv. kokso-kompostového biofiltru, který má svrchní vrstvu tvořenou dřevní štěpkou smíchanou s kompostem v poměru 7-10:1.

Laboratorní měření také prokázalo, že biofiltry jsou dobře fungující jednotkou při přeměně methanu na oxid uhličitý.

#### Použité zdroje

- (1) Česká Technická Norma (ČSN) 83 8034, Skládkování odpadů – Odplynění skládek, Český normalizační institut, prosinec 2000.
- (2) Dever S. A., 2008. Passive Drainage and Biofiltration of Landfill Gas: Behaviour and Performance in a Temperate Climate. PhD. Thesis. University of New South Wales.
- (3) Gebert J., Singh B.K., Pan Y. and Bodrossy L. 2009. Activity and structure of Methanotrophic communities in landfill cover soils, *Environmental Microbiology Reports* (2009) 1(5), str. 414 – 423.
- (4) Handbook for the design, construction, operation, monitoring and maintenance of a passive landfill gas drainage and biofiltration system, Department of Environment, Climate Change and Water NSW 59-61 Goulbourn Street, Sydney, 2010.
- (5) Handson and Handson. 1996. Methanotrophic Bacteria. *Microbiological reviews*, June 1996, str. 439–471.
- (6) Humer, M.H., Gebert J., Hilger H., 2008. Biotic systems to mitigate landfill methane emissions. *Waste Management & Research* 26, 33 – 46.
- (7) Humer, M.H., Roder, S., Lechner, P., 2009. Approaches to assess biocover performance on landfills. *Waste Management* 29, 2092 – 2104.
- (8) IPCC (2014) Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change Working Group III. Contribution to the Fifth Assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Endehofer O., Pichs-Madruga R., Sokona Y., Minx J.C., Farahani E., Kadner S., Seyboth K., et al.. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA. [http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc\\_wg3\\_ar5\\_full.pdf](http://ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg3/ipcc_wg3_ar5_full.pdf) , str. 360.
- (9) Scheutz, C., and Kjeldsen, P., 2001. Methane oxidation and Biodegradation of Halogenated Organic Compounds in Landfill Soil Covers. *Proceedings of Sardinia 2001, Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, Cagliari, Italy.*
- (10) Straka František, Bioplyn, Praha 2006, str. 544 – 549.
- (11) Streesse J., Stegmann R., Microbial oxidation of methane from old landfills in biofilters, *Waste management*, Volume 23, Issue 7, 2003, str. 573 – 580.