

Bezpečnost bioplynových stanic

 11.01.2016

The safety of biogas plants

Petr Trávníček¹, Luboš Kotek², Petr Junga¹

¹Ústav zemědělské, potravinářské a environmentální techniky, Agronomická fakulta, Zemědělská 1, 613 00 Brno, e-mail: petr.travniczek@mendelu.cz , petr.junga@mendelu.cz

²Odbor kvality, spolehlivosti a bezpečnosti, Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky, Fakulta strojního inženýrství, Vysoké učení technické v Brně, Technická 2896/2, 616 69 Brno, e-mail: kotek.l@fme.vutbr.cz

bioplyn

bioplynová stanice

havárie

nebezpečí

Abstrakt

Článek se zabývá bezpečností bioplynových stanic. V úvodní části je představena situace a počty bioplynových stanic ve vybraných státech Evropy. Následně jsou popsána nebezpečí a obecné scénáře havárií, které na těchto zařízeních mohou nastat, a také příklady skutečných havárií, které se na bioplynových stanicích v České republice a v zahraničí již udály. Znalost nebezpečí a poučení se z havárií na obdobných zařízeních jsou důležitým předpokladem ke spolehlivému a bezpečnému provozu každé technologie.

Klíčová slova: bioplyn, havárie, nebezpečí, bioplynová stanice

Abstract

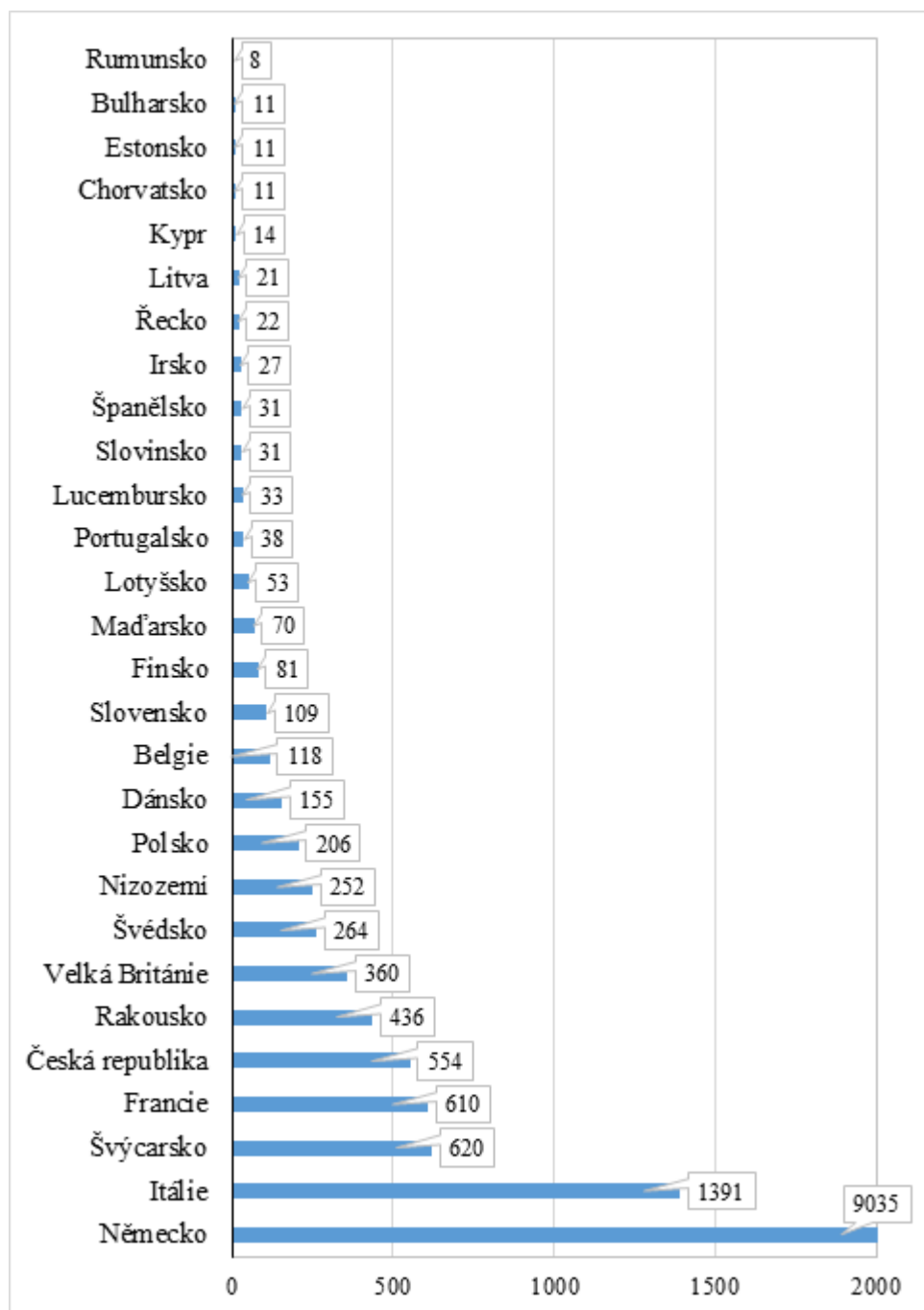
The article deals with safety of biogas plants. In the first part of the article is stated situation with number of biogas plants in selected of European countries. Subsequently hazards are described, which can occur on equipment of biogas plants. In next chapters general scenarios of accidents are stated, which can occur on biogas stations, and examples of real accidents, which occurred in Czech Republic and abroad. Knowledge about hazards and lessons from accidents are very important prerequisite for reliable and safety operation of every technology.

Keywords: biogas, accidents, hazard, biogas station

Úvod

Bioplynové stanice jsou technologie, které v Evropě během posledních dvaceti let prošly prudkým rozvojem. Počet zemědělských a komunitních bioplynových stanic například v Německu narostl ze 139 v roce 1992 na hodnotu

přibližně 8 000 stanic v roce 2014 [1]. V České republice bylo v roce 2002 v provozu celkem 6 zemědělských bioplynových stanic, v roce 2015 je jich již 352 [2]. Celkem je u nás 554 bioplynových stanic. Do této sumy jsou vedle zmíněných zemědělských bioplynových stanic započítány také bioplynové stanice komunální (7 stanic), průmyslové (11 stanic), bioplynové stanice na uzavřených skládkách odpadů (56 stanic) a také bioplynové stanice na čistírnách odpadních vod (98 stanic) [2]. Přehled celkového počtu bioplynových stanic ve vybraných státech Evropské unie za rok 2014 je uveden na obrázku 1.



Obrázek 1: Celkový počet bioplynových stanic v roce 2014 ve vybraných státech Evropské unie a ve Švýcarsku podle European Biogas Association [3]

Počet bioplynových stanic v Evropě se stále zvyšuje, nicméně je nutné podotknout, že tento nárůst v některých zemích již není tak dramatický jako v minulých letech. Například v Německu nebo v České republice se v příštích letech

očekává spíše stagnace. Naopak země jako Rumunsko, Bulharsko a Polsko mají stále vysoký potenciál a lze v nich v následujících letech očekávat další růst počtu těchto zařízení.

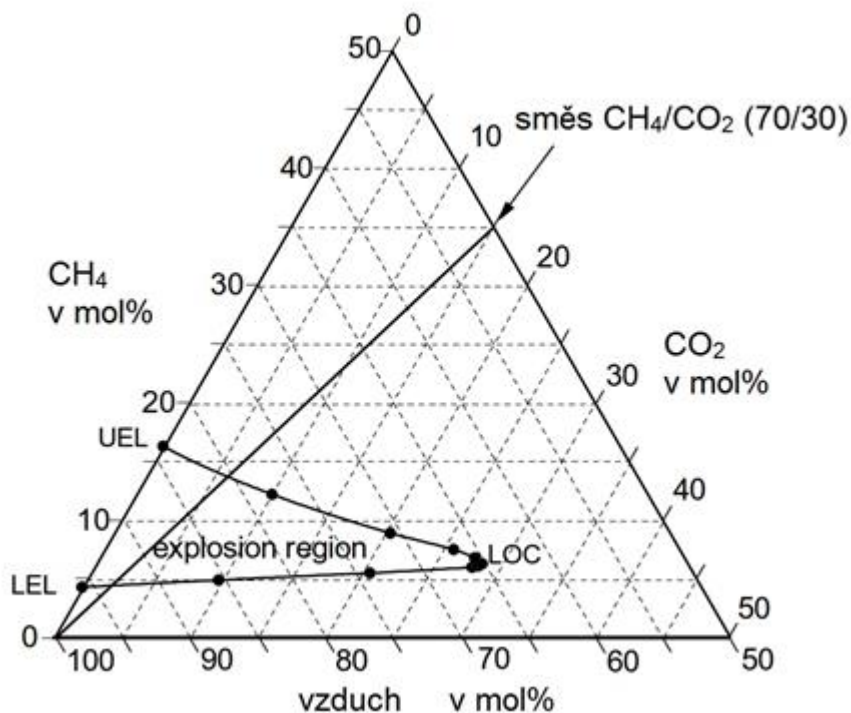
Rostoucí počet jednotek zvyšuje pravděpodobnost, že na některé z nich dojde k mimořádné události. Bezpečnosti zařízení musí být tedy věnována náležitá pozornost. V zásadě na bioplynové stanici existují čtyři hlavní rizika [4]:

- deflagrace bioplynu,
- otrava,
- udušení,
- poškození životního prostředí vlivem úniku tekutého materiálu.

Deflagrace bioplynu

Bioplyn je tvořen plynou směsí dvou základních majoritních plynů, a to oxidu uhličitého (CO_2) a metanu (CH_4). Nicméně bioplyn obsahuje i další plyny, jako např. vodík (H_2), oxid uhelnatý (CO), dusík (N_2), vodní páru (H_2O), sirovodík (H_2S) nebo amoniak (NH_3) [18]. Konečné složení bioplynu závisí na technologii bioplynové stanice a především na materiálu, který je v ní zpracováván. U zemědělských bioplynových stanic se koncentrace metanu pohybuje kolem 60 %, koncentrace oxidu uhličitého kolem 40 %, koncentrace vodíku kolem 5 % a koncentrace dusíku mezi 1 a 2 % [19]. Z hlediska nebezpečí deflagrace bioplynu je důležitá především koncentrace metanu.

Jak bylo uvedeno výše, bioplyn je směsí několika plynů s dominancí metanu a oxidu uhličitého. Oblast výbušných koncentrací ternární směsi pak může být dána tak zvaným „trojúhelníkovým diagramem“. Tento diagram pro směs metanu, oxidu uhličitého a vzduchu znázorňuje obrázek 2 [4]. Jak je z diagramu patrné, oblast výbuchu (explosion region) je vymezena celkem třemi body, které reprezentují UEL (upper explosion limit – horní mez výbušnosti), LEL (lower explosion limit – dolní mez výbušnosti) a LOC (limiting oxygen concentration – mezní koncentrace kyslíku).



Obrázek 2: Oblast výbušné směsi CH_4 , CO_2 a vzduchu (podle DIN 51649, 20 °C, atmosférický tlak) [4]

V tabulce 2 jsou potom uvedeny vybrané fyzikální vlastnosti bioplynu, plyných uhlovodíků a vodíku. Srovnání je provedeno pro bioplyn o složení: metan 60 %, oxid uhličitý 38 %, ostatní plyny 2 %. Z tabulky je patrné, že meze

výbušnosti bioplynu o uvedeném složení se pohybují v intervalu 6–12 %, naproti tomu meze výbušnosti zemního plynu jsou v rozmezí 4,4–15 %.

		BIOPLYN	ZEMNÍ PLYN	PROPAN	METAN	VODÍK
Hustota	[kg·m ⁻³]	1,2	0,7	2,01	0,72	0,09
Teplota vznícení	[°C]	700	650	470	595	585
Meze výbušnosti	[% _{vol}]	6–12	4,4–15	1,7–10,9	4,4–16,5	4–77

Tabulka 2: Vybrané fyzikální vlastnosti bioplynu a dalších hořlavých plynů [6]

Otrava

Většina otrav při provozu bioplynových stanic byla dosud způsobena vdechnutím sirovodíku (H₂S). Sirovodík je bezbarvý plyn s vysoce toxickým účinkem zvláště pro terestrické organismy. Jeho případný únik může být nebezpečný ale i pro lidi v bezprostředním okolí úniku. Tento fakt dokazují i některé tragické incidenty, jež se na bioplynových stanicích odehrály. Následky působení sirovodíku na organismus vždy závisí na mnoha faktorech (např. vlhkost, teplota, pohlaví jedince, aktuální zdravotní stav jedince atd.) [7]:

- Při expozici vysokým koncentracím (1 000 – 2 000 ppm nebo vyšším, některé zdroje uvádí již 500 – 1 000 ppm) může dojít ke kolapsu organismu v řádech sekund. Při těchto koncentracích dochází k selhání dýchacích center a k zástavě dýchání. Může následovat smrt v několika minutách.
- Byly však zaznamenány i případy fatálních následků při expozici sirovodíku v koncentraci již 700 ppm.
- K plicnímu edému může dojít při expozici sirovodíku v koncentraci 250–600 ppm.
- Při koncentraci 50–150 ppm může dojít ke ztrátě čichu (některé zdroje uvádí 100–200 ppm).
- Dlouhodobá expozice sirovodíku v koncentraci 50 ppm může vyvolat také plicní edém.
- Expozice sirovodíku v koncentraci 50–100 ppm po dobu jedné hodiny může vyvolat silné podráždění očí a dýchacích cest.
- Expozice sirovodíku v koncentraci 14–25 ppm může způsobit pálení očí, bolest hlavy, ztrátu chuti k jídlu, úbytek na váze a závratě.
- Po vystavení sirovodíku v koncentraci 10–14 ppm byly zaznamenány případy zánětů spojivek.

Straka a kol. ve své knize [18] potom uvádí následující účinky sirovodíku (H₂S) na lidské zdraví (viz Tabulka 3). Účinky sirovodíku (H₂S) jsou zde srovnány s účinky kyanovodíku (HCN) na lidské zdraví.

LÁTKA	PRVÉ PŘÍZNAKY OTRAVY	TĚŽKÁ OTRAVA	RYCHLÁ SMRT	LIMIT PRO POBYT	ČICHOVÝ PRÁH	ZÁPACH
	[MG·M ⁻³]	[MG·M ⁻³]	[MG·M ⁻³]	[MG·M ⁻³]	[MG·M ⁻³]	
H₂S	100	280	1400	10	0,4	shnilé vejce

HCN	55	110	330	3	5,5	hořké mandle
------------	----	-----	-----	---	-----	-----------------

Tabulka 3: Porovnání toxicity H₂S a HCN [18]

Toxicita sirovodíku je vysoká. Obsah sirovodíku v bioplynu je však relativně nízký a do značné míry závislý na materiálu, který je v bioplynové stanici zpracováván. V tabulce 4 jsou představeny koncentrace sirovodíku v bioplynu, jenž pochází z různých bioplynových stanic a z různého zpracovávaného materiálu. Obecně lze říci, že vyšší koncentraci sirovodíku vykazuje bioplyn, který vzniká zpracováním materiálu živočišného původu, nicméně síra se přirozeně vyskytuje i v tělech rostlin (například v energetické kukuřici).

MATERIÁL	KONCENTRACE	AUTOR	POZNÁMKA
Čistírenský kal	25–75 ppm	[8]	
Vepřová kejda	2 400 ppm	[9]	
Vepřová kejda	1 200 ppm	[10]	
Čistírenský kal	< 10 ppm	[11]	Jedním z důvodů nízké koncentrace sirovodíku v bioplynu může být přítomnost síranu železnatého (FeSO ₄) v čistírenském kalu.
Kejda	200 – 1 200 ppm	[12]	
Potravinářské odpady	500 – 6 000 ppm	[5]	

Tabulka 4: Obsah sirovodíku ve vstupním materiálu pro anaerobní fermentaci

Častou snahou provozovatelů bioplynových stanic je však koncentraci sirovodíku v bioplynu snižovat. Primárním důvodem zavádění různých metod snižování koncentrace sirovodíku v bioplynu je, že sirovodík má negativní vliv na strojní části kogenerační jednotky a další části bioplynové stanice (např. armatury, plynovod apod.). Snižování koncentrace sirovodíku v bioplynu se provádí dvěma základními způsoby. První způsob je přímý, kdy se do reaktoru dávkuje látka jako například chlorid železitý nebo se vhání do prostoru mezi reaktorem a plynojemem vzduch. Druhý způsob, nepřímý, využívá následného čištění bioplynu, a to pomocí různých fyzikálních procesů jako například adsorpce, absorpce, membránové separace, biologické separace atd.

Dalším plynem obsaženým v bioplynu, který může zapříčinit otravu, je oxid uhličitý. Oxid uhličitý je těžší než vzduch a může se shromažďovat například v kondenzačních šachtách, případně ve fermentorech, jejichž obsah byl vypuštěn (např. z důvodu oprav či údržby), aniž by ovšem došlo k dostatečnému odvětrání. Jak uvádí Evropská asociace průmyslových plynů (European Industrial Gases Association, EIGA), intoxikace oxidem uhličitým nelze zaměnit s udušením. Měření kyslíku (např. osobami při servisních úkonech) není ukazatelem nebezpečí smrti. Například, důsledkem uvolnění oxidu uhličitého do ovzduší může dojít k mírnému snížení koncentrace kyslíku na 19 %. Tato hodnota není sama o sobě nijak škodlivá. Pokud se ale zvýší koncentrace oxidu uhličitého na 9,5 %, je to vážné ohrožení zdraví pro přítomné osoby [13]. Zdravotní účinky zvýšené koncentrace CO₂ jsou uvedeny v tabulce 5.

KONCENTRACE CO ₂	ÚČINEK
1-1,5 %	Po několikahodinové expozici nastupují mírné účinky na chemický metabolismus.
3 %	Plyn je v této koncentraci slabě omamný, vyvolává hluboké dýchání, zhoršení sluchu a bolesti hlavy, zvýšení krevního tlaku a zrychlení tepové frekvence.
4-5 %	Dochází ke stimulaci dýchacího centra, což vede ke zrychlenému, hlubokému dýchání. Známky otravy začnou být zjevné po 30 minutách expozice.
5-10 %	Dýchání je namáhavější, postižený má bolesti hlavy a ztrácí schopnost úsudku.
≥10 %	Pokud je koncentrace oxidu uhličitého vyšší než 10 %, do jedné minuty nastává bezvědomí, a pokud nedojde k okamžitému zásahu, vede další expozice takto vysokým koncentracím k úmrtí.

Tabulka 5: Zdravotní účinky oxidu uhličitého [13]

Udušení

Jedná se o nedostatek kyslíku v lidském těle, který je transportován k orgánům, případně tkáním organismu. Tato situace je spíše nepravděpodobná, protože jak je uvedeno výše, většinou bývá kyslík vytlačen CO₂ (případně ve směsi s CH₄, H₂S a dalšími plyny) a dochází k otravě. Evropská asociace průmyslových plynů (EIGA) uvádí následující účinky snižující se koncentrace kyslíku v atmosféře:

KONCENTRACE O ₂	ÚČINEK
18-21%	U osob nelze zjistit žádné rozpoznatelné symptomy.
11-18 %	Snížení fyzické a duševní výkonnosti, aniž by o tom postižený věděl.
8-11 %	Možnost mdlob po několika minutách bez předchozího varování. Riziko úmrtí pod koncentrací 11 %.
6-8 %	Ke mdlobě dojde po krátké době. Oživení je možné, je-li provedeno okamžitě.
0-6 %	Mdloby téměř okamžitě. Poškození mozku i v případě záchrany.

Tabulka 6: Vznik nedýchatelné atmosféry [13]

Poškození životního prostředí

Toto riziko může být způsobeno materiálem, který je obsažen ve fermentorech nebo skladech na zbytky po anaerobní fermentaci. Jedná se například o kejdu hospodářských zvířat, čistírenské kaly, tuky, potravinářské odpady, biologicky rozložitelné komunální odpady a další. Tyto materiály jsou také často spolu kofermentovány. To znamená, že jejich chemické složení může být při vstupu velmi variabilní. Uvedené materiály nejsou jistě toxické, explozivní nebo hořlavé,

uniknou-li však v masivním množství, mohou svými vysokými koncentracemi některých biogenních elementů (dusík, fosfor) způsobit úhyn živých organismů, především těch vodních.

Někteří autoři uvádějí také riziko přenosu virových onemocnění, případně mikrobiální kontaminace [14].

Mimořádné události na bioplynových stanicích

Při mimořádné události na bioplynové stanici mohou být ohroženy lidské životy, životní prostředí nebo i majetek. Mezi typické mimořádné události patří [14]:

- únik bioplynu z plynojemu nebo distribuční sítě (např. po zásahu při údržbě zařízení),
- havarijný únik bioplynu s vysokou koncentrací H_2S ,
- znečištění povrchové/podzemní vody v důsledku havarijního úniku vstupního materiálu,
- nefunkčnost řídicích zařízení v důsledku masivního přívodu hasicí vody při hašení požáru na bioplynové stanici,
- přeplnění stokové sítě a následné zaplavení areálu bioplynové stanice v případě mimořádných dešťových srážek,
- přítomnost nebezpečných produktů v surovém materiálu určeném ke zpracování v bioplynových stanicích,
- zamrznutí armatur a jejich následná nefunkčnost či poškození,
- vysoký tlak uvnitř fermentoru.

V roce 2009 došlo v Německu na bioplynových stanicích k 140 nehodám, v roce 2010 přibližně k 115 nehodám [14]. V převážné míře se jednalo o nehody bez obětí na životech. Fatální nehody, při kterých dochází k úmrtím, jsou nejčastěji spojeny s únikem bioplynu a následnou otravou. Jako příklad lze uvést událost, která se odehrála v Německu v roce 2005 a při níž na následky otravy zemřeli 4 lidé a 13 jich bylo zraněno [4]. Podobný incident se nevyhnul ani České republice. V roce 2013 zemřel pracovník bioplynové stanice při provádění servisního úkonu v kondenzační šachtě, kam vstoupil bez dýchacího přístroje a bez asistence dalších spolupracovníků.

Z dostupných popisů havárií [15] se smrtelnými následky vyplývá, že jsou často spojeny s nedbalostí personálu (viz např. zmíněný případ, který se stal v České republice) nebo s nedbalostí spojenou s technickou závadou (případ v Německu). Společným a nejčastějším jmenovatelem těchto úmrtí je však otrava bioplynem při jeho úniku nebo jeho vysokými zbytkovými koncentracemi v různých částech bioplynové stanice. To je patrné i z dalších dostupných zdrojů. Například Jenkins, Gornall a Cripps [16] ve svém výběrovém popisu havárií s fatálními následky, které se na světě udály během let 2003–2010, uvádějí celkem čtyři havárie s fatálními následky, z nichž tři byly způsobeny otravou plynem.

Lidské oběti si může vyžádat i výbuch na bioplynové stanici. Příkladem toho může být havárie v Itálii roku 1997 [17]. I zde došlo k výbuchu vlivem nedbalosti při opravách na bioplynové stanici. Z uvedeného tedy vyplývá, že důraz na bezpečnost musí být kladen především v průběhu oprav či údržbářských prací.

Havárie spojené s technickou závadou na bioplynové stanici se v Evropě většinou obejdou bez obětí na lidských životech. Důvodem je fakt, že při samotném provozu bioplynové stanice je frekvence pohybu osob v blízkosti kritických prvků (plynojem, reaktor, prostor kogenerační jednotky apod.) velmi nízká. Proto také vedou havárie způsobené technickou závadou v převážné míře „jen“ ke škodám na životním prostředí nebo na majetku.

Byť je zabezpečení bioplynových stanic v Evropě na relativně vysoké úrovni, k nehodám různého rozsahu na nich i tak dochází. V Německu organizace Kommission für Anlagensicherheit (KAS) v důsledku vysokého počtu nehod prověřila v letech 2001–2006 celkem 115 bioplynových stanic. V 80 % případů byly nalezeny závady, a to především v oblasti ochrany proti výbuchu [4]. Jednalo se například o tyto závady:

- špatná klasifikace ATEX zón,

- ▣ absence bezpečnostního systému hořáku zbytkového plynu nebo jeho poškození,
- ▣ neadekvátní bezpečná vzdálenost mezi plynojemem a provozem kogeneračních jednotek,
- ▣ nevyhovující vzduchotechnika a protivýbuchová ochrana elektrických zařízení,
- ▣ absence havarijního plánování pro hasičský záchranný sbor a chybějící informace pro zaměstnance.

V současné době bioplynové stanice před uvedením do provozu musejí splnit celou řadu požadavků implementovaných evropských nebo českých technických norem. Samozřejmostí jsou provedené revize elektrických a plynových zařízení, které se předkládají ke schválení příslušným úřadům. Odborný dozor nad bezpečností vyhrazených technických zařízení, kam se řadí mimo jiné také zařízení plynová a elektrická, zajišťuje v České republice Technická inspekce ČR. Tyto mechanismy by měli zabránit nedostatkům na bioplynových stanicích, které jsou uvedeny výše. Bohužel provozní praxe ukazuje, že uplatňování předepsaných preventivních opatření u některých provozovatelů nebo zhotovitelů je pouze na formální úrovni a reálný dopad na zvýšení bezpečnosti provozu těchto zařízení může být malý. Z tohoto důvodu je výše uvedený seznam závad vhodným vodítkem pro bezpečnostní techniky provádějící pravidelnou kontrolu zařízení bioplynové stanice.

Závěr

Bioplyn produkovaný bioplynovými stanicemi je nebezpečný hořlavý a toxický plyn. Jeho hořlavost je dána přítomností metanu, toxicitu způsobuje obsah sirovodíku, případně oxidu uhličitého. Materiál umístěný v reaktorech nebo skladech materiálu po anaerobní fermentaci je zdrojem rizik pro životní prostředí, a to především pro vodní organismy.

Je třeba zdůraznit, že bioplynové stanice nepředstavují tak vysoké riziko jako například chemické závody. Dopad nehod na těchto zařízeních je spíše lokálního charakteru. Nicméně jak je patrné z příkladů uvedených v tomto článku, také při obsluze bioplynových stanic může dojít k obětem na životech. Z tohoto důvodu je nutné věnovat zvýšenou pozornost bezpečnosti těchto zařízení a vhodnými opatřeními (technickými a organizačními) snížit míru jejich rizika a předcházet tak škodám na životech, životním prostředí i na majetku.

Poděkování

Výsledky prezentované v tomto článku byly podpořeny finančními prostředky z projektu NETME Centre – Nové technologie pro strojírenství, registrační číslo projektu CZ.1.05/2.1.00/01.0002, financovaného z Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci operačního programu Výzkum a vývoj pro inovace za přispění Evropské unie a Evropského fondu pro regionální rozvoj. Navazující fáze udržitelnosti centra je podporována projektem NETME CENTRE PLUS (LO1202) za finančního přispění Ministerstva školství, mládeže a tělovýchovy v rámci účelové podpory programu „Národní program udržitelnosti I“.

Reference

- [1] *Fachverband Biogas e.V. Branchenzahlen : Prognose 2013/2014* [online]. Fachverband biogas e.V., 2013 [cit 2015-06-02]. Dostupné z WWW <http://www.biogas.org/edcom/webfwb.nsf/id/DE_Branchenzahlen>.
- [2] *Česká bioplynová asociace* [online]. CZBA, 2014 [cit 2015-06-02]. Dostupné z WWW <<http://www.czba.cz>>.
- [3] *European Biogas Association. Biogas Report 2014* [online]. EBA, 2015 [cit. 2015-06-02]. Retrieved July 2, 2014. Dostupné z WWW <<http://european-biogas.eu/2014/12/16/4331>>.
- [4] SCHROEDER, V.; SCHALAU, B.; MOLNARNE, M. Explosion protection in biogas and hybrid power plants. *Procedia Engineering*, 2014, 84, pp. 259-272.
- [5] PASTOREK, Z.; KÁRA, J.; JEVIČ, P. *Biomasa : obnovitelný zdroj energie*. Praha : FCC Public, 2004. ISBN 80-86534-06-

5.

- [6] *Safety rules for biogas systems* [online]. Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau, 2008 [cit 2015-7-7]. Dostupné z WWW: <http://www.biogaspro.com/assets/3rd_party/safety-rules-for-biogas-systems-2008.pdf>
- [7] WEXLER, P. ...[et al.]. *Encyclopedia of Toxicology*. Academic Press, 2005. ISBN 0-12-745353-7.
- [8] VESELÁ, K. ...[et al.]. Odstraňování sulfanu z bioplynu. *Paliva*, 2010, č. 2, s. 21-25.
- [9] PIPATMANOMAI, S.; KAEWLUANA, S.; VITIDSANT, T. Economic assessment of biogas-to-electricity generation system with H₂S removal by activated carbon in small pig farm. *Applied Energy*, 2009, 86, pp. 669-674.
- [10] SILVA, M.L.B. da ...[et al.]. Sulfide removal from livestock biogas by Azospirillum-like anaerobic phototrophic bacteria consortium. *International Biodeterioration & Biodegradation*, 2014, č. 86, pp. 248-251.
- [11] KYMÄLÄINEN, M. ...[et al.]. Biogasification of biowaste and sewage sludge and measurement of biogas quality. *Journal of Environmental Management*, 2012, vol. 95, pp. 122-127.
- [12] URBAN, W.; GIROD, K.; LOHMANN, H. *Technologien und Kosten der Biogasaufbereitung und Einspeisung in das Erdgasnetz. Ergebnisse der Markterhebung 2007-2008* [online]. Available at Rapport von Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik, 2008 [cit. 2015-06-02]. Dostupné z WWW: <<http://www.biogaseinspeisung.de/aktuelles/>>.
- [13] *European Industrial Gases Association* [online]. EIGA, 2015 [cit 2015-06-02]. Dostupné z WWW <<http://www.eiga.eu>>.
- [14] SALVI, O.; CHAUBET, C; EVANNO, S. Improving the Safety of Biogas Production in Europe. *Revista de Ingeniería*, 2012, pp. 57-65.
- [15] TRÁVNÍČEK, P.; KOTEK, L. Risks Associated with the Production of Biogas in Europe. *Process Safety Progress*, 2015, vol. 34, no. 2, pp. 172-178.
- [16] JENKINS, A.; GORNALL, L.; CRIPPS, H. Lessons for safe design and operation of anaerobic digesters. *Loss Prevention Bulletin*, 2013, no. 229, pp. 19-24.
- [17] *Development of Organic Waste Treatment Facilities, Phase 2: Environmental Impact Assessment Report* [online]. The Government of the Hong Kong, Environmental Protection Department, 2013 [cit 2015-06-07]. Dostupné z WWW: <http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_2182013/EMAM/EMAM.pdf>
- [18] STRAKA, F. *Bioplyn*. Praha: GAS, 2006. ISBN 80-7328-090-6.
- [19] MOHAMMADI M., M. ...[et al.]. Potential of biogas production in Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013, no. 28, pp. 702-714.

Vzorová citace

TRÁVNÍČEK, Petr; KOTEK, Luboš; JUNGA, Petr. Bezpečnost bioplynových stanic. *Časopis výzkumu a aplikací v profesionální bezpečnosti* [online], 2015, roč. 8, č. 4. Dostupný z WWW: <<http://www.bozpinfo.cz/josra/josra-04-2015/bezpecnost-bioplynovych-stanic.html>>. ISSN 1803-3687.

Autor článku:

Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.

