

# Bezpečnost zásobníků na bioplyn

## The Safety of Biogas Gasholders

Ing. Petr Trávníček, Ph.D.<sup>1</sup>

Ing. Luboš Kotek, Ph.D.<sup>2</sup>

Ing. Bc. Petr Junga, Ph.D.<sup>1</sup>

doc. Ing. Tomáš Vítěz, Ph.D.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Mendelova univerzita v Brně, Agronomická fakulta  
Zemědělská 1, 613 00 Brno

<sup>2</sup> Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství  
Technická 2896/2, 616 69 Brno  
petr.travnicek@mendelu.cz, petr.junga@mendelu.cz,  
tomas.vitez@mendelu.cz, kotek.l@fme.vutbr.cz.

### Abstrakt

Příspěvek se zaměřuje na bezpečnost zásobníků bioplynu. V první části jsou vymezeny konstrukční typy zásobníků, které se využívají na bioplynových stanicích. Další část shrnuje nejčastější příčiny havárií na zásobnících plynných a kapalných uhlovodíků a uvádí je do souvislosti s havarijními situacemi na bioplynových stanicích. Poslední část upozorňuje na základní bezpečnostní zařízení, jimiž musí být tyto zásobníky vybaveny.

### Klíčová slova

Bioplyn, bezpečnost, zásobník.

### Abstract

The work is focused on safety of biogas gasholder. In the first part design types of gasholder utilizing on biogas stations are defined. The next part of work summarizes the most common causes of accidents on gasholders of gaseous and liquid hydrocarbons. These causes are given to relationship with emergency situations on biogas plants. The last part warns on elementary safety barriers, which must be included in gear of a gasholder.

### Keywords

Biogas, safety, gasholder.

### Úvod

Bioplynová stanice je technologie, která se skládá z několika základních prvků: typicky z příjmu vstupních surovin, fermentorů, dofermentorů a také ze skladu fermentačního zbytku, z plynového hospodářství vč. zásobníků, z hořáku zbytkového plynu a kogenerační jednotky.

Bioplyn produkovaný při procesu anaerobní fermentace má dvě základní nebezpečné vlastnosti, a to hořlavost (díky obsahu  $\text{CH}_4$ ) a také toxicitu (vlivem obsahu  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$ ). Při mimořádné události na některých z uvedených prvků může obecně dojít ke třem scénářům:

1. deflagrace bioplynu,
2. otrava bioplynem,
3. poškození životního prostředí vlivem úniku tekutého materiálu.

V současné době je na území České republiky v provozu celkem 554 bioplynových stanic [1], v Německu dosahuje jejich počet hodnoty až 9 000 (pro rok 2014) [2]. V Evropě jich je v provozu přibližně 14 000. Otázka bezpečnosti provozu tak vysokého počtu zařízení si proto bezesporu zaslouhuje naši pozornost.

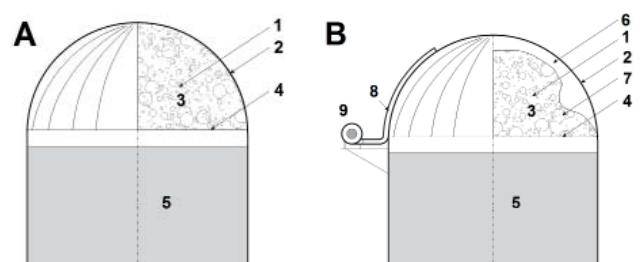
Příspěvek se věnuje především problematice bezpečnosti zásobníků (plynojemů) používaných na bioplynových stanicích. V případě mimořádné události na zásobníku a při následném úniku bioplynu do okolí hrozí především deflagrace nebo otrava bioplynem.

### Konstrukce zásobníků bioplynu

K dispozici jsou dnes různé typy zásobníků bioplynu, přičemž správný výběr a dimenzování zásobníkového systému významně přispívá k účinnosti a bezpečnosti zařízení. Mezi rozhodující kritéria pro volbu konstrukčního řešení patří pracovní tlak, skladovací objem, vnější zatížení a počet a velikost nádrží. Zásobníky bioplynu mohou být provozovány jako nízkotlaké (přetlak do 5 kPa) nebo vysokotlaké (přetlak 5–400 kPa). V každém případě ale musí být plynotěsné, odolné vůči UV záření, teplotním změnám a vlivu počasí. Objem zásobníků závisí na produkci bioplynu v bioplynové stanici a může dosahovat až 16 000 m<sup>3</sup>.

V Evropě se pro konstrukci zásobníků na bioplyn využívá v zásadě dvou základních řešení: integrovaný zásobník nebo samostatně stojící zásobník. Zásobník je ve většině případů tvořen jednovrstvou nebo dvouvrstvou polyesterovou membránou, jež je z obou stran pokryta vrstveným PVC. Někteří výrobci nabízejí i membránu třívrstvou.

Integrovaný zásobník bioplynu je nejjednodušším a velmi rozšířeným řešením. Zásobník se v tomto případě nachází na vrcholu fermentoru. Membrána je chráněna proti pádu do substrátu pomocí popruhů nebo pomocí dřevěného stropu, který je umístěn nad hladinou substrátu ve fermentoru. Před nadměrným přetlakem zásobník chrání kapalinová pojistka. Provedení integrovaného zásobníku jednomembránového a dvoumembránového je znázorněno na obrázku 1.



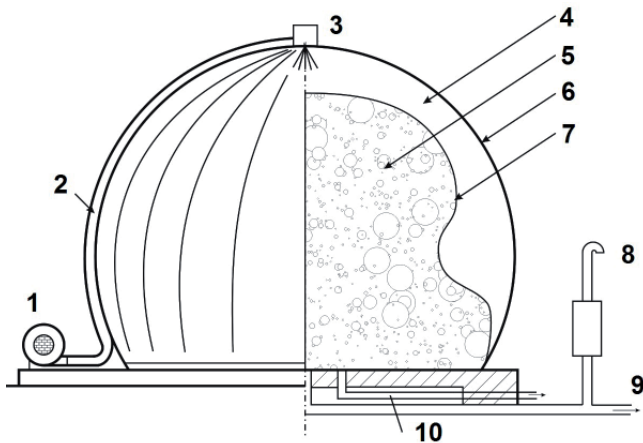
Obr. 1 Schéma jednomembránového (A) a dvoumembránového (B) integrovaného zásobníku bioplynu

1 – plynový prostor, 2 – vnější membrána, 3 – bioplyn, 4 – popruhy, strop, 5 – fermentovaný materiál, 6 – vzduchový prostor, 7 – vnitřní membrána, 8 – přívod vzduchu, 9 – ventilátor

Dvoumembránový zásobník bioplynu je tvořen vnější ochrannou membránou a vnitřní membránou, která slouží jako kryt fermentoru. Tlak bioplynu v zásobníku je regulován pomocí vzduchu, který je mezi obě membrány vháněn ventilátorem. Tento vzduch plní dvě funkce: jednak udržuje přetlak bioplynu a jednak drží neměnný tvar vnější membrány. Stabilní tvar zásobníku totiž významně přispívá ke snížení komplikací v případě nepříznivých povětrnostních podmínek (sníh a vítr). Měření hladiny naplnění zásobníku je zabezpečeno ultrazvukovým snímačem umístěným na vrcholu vzduchového prostoru. Před nadměrným přetlakem je zásobník chráněn kapalinovou pojistkou. Fermentory jsou také osazeny tlakovým regulačním ventilem.

Samostatně stojící kulové zásobníky bioplynu jsou tvořeny vnější, vnitřní a podlahovou membránou, které jsou kotevním prstencem upevněny k železobetonové základové desce. Podlahová membrána utěsňuje plynový prostor vůči železobetonovému základu. Vnější membrána má tvar kulového vrchlíku a je napínána přetlakem vzduchu z podpůrného ventilátoru. Pohyblivá vnitřní membrána vytváří s podlahovou membránou proměnný plynový

prostor a společně s napnutou vnější membránou tlakový regulační prostor. Podpurný ventilátor připojený vzduchovou hadicí k vnější membráně vyvolává tlakem vzduchu na vnitřní membránu potřebný přetlak bioplynu. Před nadměrným přetlakem je zásobník chráněn kapalinovou pojistkou. Je-li produkce plynu vyšší než spotřeba, zvětšuje se objem plynového prostoru na úkor tlakového regulačního prostoru a naopak. Přetlak v plynové soustavě je dán tlakem, který vytváří podpurný ventilátor. Pro kontrolu naplnění zásobníku bioplynu slouží ultrazvukový snímač polohy vnitřní membrány. Samostatně stojící zásobník je uveden na obrázku 2.



Obr. 2 Samostatně stojící kulový zásobník bioplynu  
1 – ventilátor, 2 – tlaková hadice, 3 – ultrazvukový snímač naplnění, 4 – vzduchový prostor, 5 – plynový prostor, 6 – vnější membrána, 7 – vnitřní membrána, 8 – kapalinová pojistka, 9 – odvod bioplynu, 10 – odvod kondenzátu

Dalším řešením skladování bioplynu mohou být plynové vaky, které jsou zavěšeny na ocelové konstrukci. Ty pak mají ve své čelní stěně připojena potrubí pro přívod a odvod bioplynu. V nejnižším místě vaku je vývod kondenzátu. V horní části jsou umístěna vhodná závaží napomáhající vyprazdňování vaku. Pro ochranu zásobníku před nepřipustným přetlakem musí být přívodní potrubí opatřeno kapalinovou pojistkou. Vak na bioplyn se obvykle umísťuje do přístřešku, který ho chrání před povětrnostními vlivy a mechanickým poškozením, nebo bývá zavěšen přímo v objektu bioplynové stanice.

Bioplyn může být skladován také v ocelových atmosférických zásobnících. Tento druh zásobníků je využíván především na bioplynových stanicích umístěných na čistírnách odpadních vod.

### Bezpečnost zásobníků na bioplyn

V současné době nejsou k dispozici data, jež by se vztahovala přímo k haváriím na zásobnících bioplynových stanic. Pro účely bezpečnostní analýzy těchto zařízení lze však využít data z rozboru nehod, které se udály na zásobnících v rafinériích a chemickém průmyslu. V tomto ohledu je zajímavá práce Jamese Changa, která mapuje celkem 242 havárií zásobníků, které se odehrály během 40 let [3]. Chang uvádí následující příčiny havárií na zásobnících:

- blesk,
- chyba údržby,
- provozní chyba,
- sabotáž,
- selhání zařízení,
- trhlina a následné prasknutí,
- statická elektřina,
- otevřený oheň,
- přírodní pohromy,
- neřízená reakce.

### Blesk

Obecně platí, že úder blesku patří mezi nejčastější příčiny havárií na zásobnících. Například podle studie J. Changa bylo celkem 33 % havárií na zásobnících způsobeno bleskem, čímž blesk zaujal první místo mezi všemi příčinami sledovaných havárií [3]. Ochrana zásobníků před bleskem patří tedy mezi základní bezpečnostní požadavky. Je řešena buď pomocí jimače Franklinova typu, nebo jimače ESE (Early Streamer Emission – urychlené vyvolání vstřičného výboje).

Havárie na zásobníku bioplynu způsobená atmosférickým výbojem se v České republice odehrála například v roce 2011. Vlivem fyzikálního účinku blesku vznikl požár a následně nastal dílčí výbuch na technologickém zařízení. Incident se obešel bez obětí na lidských životech, hmotná škoda činila 5 000 000 Kč [4]. Při havárii došlo k protržení membrány integrovaného zásobníku a k následnému pádu do fermentovaného materiálu. Konstrukce fermentoru byla železobetonová, ke zjevnému poškození železobetonového fermentoru při havárii nedošlo.

Zajímavostí při této havárii bylo, že bioplynová stanice byla vybavena jimačem ESE. Je nutno podotknout, že některé studie poukazují na fakt, že aktivní jimače ESE nemají oproti klasickému jimači Franklinova typu vyšší účinnost [4], [5]. Z tohoto důvodu se požadavky některých státních orgánů na instalace aktivních jimačů, které jsou několikanásobně dražší nežli jimače Franklinova typu, zdají být poněkud diskutabilní.

### Chyba údržby

Chyba údržby je druhou nejčastější příčinou požáru či exploze na bioplynových zásobnících. Pochybení údržby je přičítáno přibližně 13 % ze sledovaných havárií [3]. K iniciaci dochází při svařování, při tvorbě tepla v důsledku mechanického tření nebo při elektrickém jiskření.

K výbuchu zbytkového bioplynu při svařovacích operacích došlo roku 1997 v Itálii. Jednalo se o tragickou událost, při níž zemřeli dva lidé a jeden člověk byl zraněn [6]. Tragédie se odehrála na bioplynové stanici umístěné na čistírně odpadních vod při údržbě v betonovém silu reaktoru. Svařečské práce měly v roce 2009 na svědomí explozi bioplynu také v Německu [7]. Téhož roku došlo při neopatrném sváření k masivní explozi i v Indii, kde zemřeli čtyři lidé a tři byli zraněni [6].

### Provozní chyby

Mezi provozní chyby lze řadit například přeplnění zásobníku nebo jeho přetlakování. Většina zásobníků na bioplyn je provozována v nízkotlakém režimu (do přetlaku 5 kPa). Zásobníky jsou osazeny ultrazvukovým snímačem naplnění a chráněny kapalinovou pojistkou. Dvoumembranové zásobníky jsou navíc osazeny také tlakovým regulačním ventilem. Z dostupných zdrojů není známa situace, kdy by vlivem přetlakování zásobníku došlo k úniku bioplynu a následně iniciaci nebo k otravě personálu.

### Sabotáž

Bioplynové stanice nejsou typickým cílem sabotáží nebo teroristických činů a útoky na ně jsou velmi nepravděpodobné. Určitě riziko úmyslného poškození či zapálení některých prvků plynového hospodářství zde však existuje. Z tohoto ohledu by měla být samozřejmostí vnější ochrana objektu (např. oplocení).

### Selhání zařízení

Zásobníky bioplynových stanic obsahují hned několik zařízení, při jejichž selhání může dojít k mimořádnému provoznímu stavu. Jedná se například o ventilátor, regulační tlakový ventil, případně kapalinovou pojistku. Z dostupných dat ovšem není znám případ, kdy by vlivem selhání technického zařízení na zásobníku bioplynové stanice došlo k hoření nebo k explozi bioplynu.

### Trhlina a následné prasknutí

Trhliny se mohou vyskytnout především ve svařovaných částech zásobníků nebo na zkorodovaných místech. Vliv na pevnost mohou mít i skryté vady použitého materiálu. V České republice, potažmo v Evropě, je většina bioplynových stanic ve stáří do 20 let. Pravděpodobnost, že dojde k úniku bioplynu z výše uvedených příčin, je tedy při běžném provozu relativně nízká. K poškození zásobníků (např. k jejich protřžení) dochází spíše působením vnějších vlivů či z mechanických příčin (vlivem extrémních povětrnostních podmínek nebo např. při neopatrné jízdě s manipulační technikou).

### Statická elektřina

Minimální iniciační energie čistého metanu činí 0,33 mJ, pro srovnání minimální iniciační energie propanu je 0,30 mJ a acetylenu 0,030 mJ [8]. Koncentrace bioplynu v metanu je u různých typů bioplynových stanic variabilní a pohybuje se přibližně v rozmezí 45–60 %, zbytek plynu tvoří převážně inertní CO<sub>2</sub>. Minimální iniciační energie této směsi bude tedy vyšší. Ke vznícení směsi vlivem elektrostatické elektřiny dochází nejčastěji při přepravě tekutin potrubím, kdy se může náboj kumulovat, nebo když jsou při přečerpávání používány nevhodné nástroje, apod. V dostupných datech nenacházíme případ, kdy by vlivem statické elektřiny došlo k iniciaci bioplynu a následnému zahoření nebo explozi.

### Otevřený oheň

Dalším iniciátorem výbuchu může být otevřený oheň – například hořák zbytkového bioplynu nebo zapálená cigareta. Hořák zbytkového bioplynu inicioval výbušnou směs na bioplynové stanici například roku 1999 na čistírně odpadních vod umístěné v jedné francouzské papírně [6].

### Přírodní pohromy

Podle zprávy JRC (Joint Research Centre) o snížení rizika přírodních katastrof na technologická zařízení v zemích Evropské unie [9] může být havárie obecně způsobena následujícími přírodními jevy (řazeno sestupně od nejčastějších po nejméně časté): blesk, povodně, nízké teploty, déšť, prudký vítr, sesuv půdy, vysoké teploty, zemětřesení. Havárie způsobená atmosférickým výbojem byla popsána výše. Povodněmi jsou ohroženy bioplynové stanice v blízkosti vodních toků, převážně tedy bioplynové stanice na čistírnách odpadních vod. S růstem extrémních klimatických projevů budou mít přírodní pohromy jako příčina havárií v analýze bezpečnosti bioplynových stanic do budoucna jistě vzrůstající význam.

### Neřízená reakce

Bioplyn vzniká na základě biologických procesů organismů. Na rozdíl od reakcí, jež probíhají v chemických zařízeních, však nebývají biochemické procesy principiálně tak rychlé, aby mohlo dojít k prudkému vývinu tepla a následné explozi nebo zahoření bioplynu.

### Bezpečnostní zařízení pro skladování bioplynu

V České republice se bezpečnostními prvky zásobníků bioplynových stanic zabývá technické doporučení TDG 983 02: Plynové hospodářství bioplynových stanic, které v roce 2013 vydal Český plynárenský svaz. Pro navrhování rozvodů surového bioplynu platí potom technická norma TPG 703 01, část IV: Plynovody bioplynu. Zásobníkům na bioplyn se také částečně věnuje technická norma ČSN 75 6415: Plynové hospodářství čistíren odpadních vod.

Výběr nejdůležitějších bezpečnostních prvků nebo opatření uvádíme níže:

#### Zajištění proti přetlaku a podtlaku

Každý sklad bioplynu musí být zajištěn pomocí pojistek proti

přetlaku a podtlaku. Pro tento účel se využívají kapalinové pojistky, mechanické pojistné klapky se závažím nebo průtržné membrány. Vyústění pojistek musí být umístěno mimo potenciální zdroje iniciace (nemůže tedy být například v blízkosti hořáku zbytkového bioplynu nebo v těsné blízkosti kogenerační jednotky) a zároveň tak, aby k němu byl snadný přístup. Stav hladiny kapaliny v pojistce je totiž třeba pravidelně kontrolovat pomocí stavoznaku a případně kapalinu doplňovat, a celou pojistku také pohodlně servisovat. Pojistný průtok musí být minimálně vyšší než měrný výkon bioplynové stanice. Pokud není kapalinová pojistka vyhřívána, musí být naplněna nemrznoucí směsí.

Pojistky proti podtlaku a přetlaku je třeba chápat jako koncový prvek, neboť volný únik metanu do ovzduší je z hlediska právních předpisů nežádoucí. Před spuštěním pojistky musí tedy zafungovat jiný způsob k zajištění snížení tlaku v zásobníku, např. hořák zbytkového bioplynu.

#### Hořák zbytkového bioplynu

Hořák zbytkového bioplynu je povinnou výbavou každé bioplynové stanice. Je ovšem žádoucí, aby dokázal spálit více než 100 % jejího měrného výkonu. Musí být také schopen spálit bioplyn v širokém rozmezí koncentrací metanu.

Hořák se umísťuje nejméně 15 m od objektů bioplynové stanice. Pokud nelze tento požadavek splnit nebo jestliže z technologického řešení bioplynové stanice vyplývá umístění hořáku na střeše objektu, je nutné tuto skutečnost posoudit v požárně bezpečnostním řešení stavby a doložit výpočet radiačního toku tepla. Je také vhodné, aby byl hořák osazen nezávislým dmýchadlem pro kvalitní hoření zbytkového bioplynu.

#### Bezpečnostní zařízení proti překročení maximálního objemu

Zásobníky musí být osazeny také pojistným prvkem, který již před dosažením maximálního možného objemu zásobníku nebo povoleného přetlaku zajistí odvod bioplynu – nejčastěji do hořáku zbytkového bioplynu. Musí být také zajištěno sledování stavu naplnění zásobníku.

#### Další bezpečnostní zařízení a opatření

- V případě použití membránových zásobníků musí být použitý materiál odolný proti UV záření, tlaku, teplotě (termofilní vs. mezofilní proces) a povětrnostním vlivům.
- Před uvedením do provozu musí být zásobník vždy podroben zkoušce těsnosti.
- Prostory, kde hrozí únik bioplynu (např. uzavřené prostory s vákem na uskladnění bioplynu), musí být odvětrávány. Velikosti otvorů pro odvětrávání podle německé organizace Sozialversicherung für Landwirtschaft, Forsten und Gartenbau (SVLFG) uvádí následující tabulka.

Tab. 1 Minimální velikosti otvorů pro přívod a odvod vzduchu [10]

Objem zásobníku	Velikost otvoru
do 100 m <sup>3</sup>	700 cm <sup>2</sup>
do 200 m <sup>3</sup>	1000 cm <sup>2</sup>
nad 200 m <sup>3</sup>	2000 cm <sup>2</sup>

- Pokud dojde k poruše v dodávce elektrické energie, musí dojít k bezpečnému odstavení zařízení.

#### Závěr

Výčet uvedených bezpečnostních opatření není vyčerpávající. Při návrhu a provozu zásobníku na bioplyn se vždy vychází z příslušných technických norem a právních předpisů, případně ze zkušeností projektantů a provozovatelů. Je také možné vyjít ze zkušeností z provozu a konstrukce zásobníků ostatních plynů uhlovodíků, byť vždy s vědomím specifík bioplynu, která jsou dána

jeho složením nebo fyzikálními vlastnostmi (kvůli svému složení může bioplyn například působit na některé prvky více korozivně než klasické plynné uhlovodíky jako metan, propan a další.).

Z hlediska bezpečnosti zásobníků na bioplyn je dále vhodné poučit se z havárií, které se udály v minulosti na zásobnících v chemickém nebo petrochemickém průmyslu, u nichž je historie záznamů dat o haváriích podstatně bohatší než v případě zásobníků bioplynových stanic.

#### Poděkování

Příprava tohoto článku byla podpořena v rámci programu specifického výzkumu č. FSI-S-14-2401 „Green production – Production machines and equipment“.

#### Reference:

- [1] Mapa bioplynových stanic. Dostupné z: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>.
- [2] European biogas association: *EBA biogas report 2014*. Dostupné z: <http://european-biogas.eu/2014/12/16/4331/>
- [3] Chang, J., I., Lin, C., A.: Study of storage tank accidents, *Journal of Loss Prevention in the Process Industries*, 19, pp. 51–59, 2006, DOI: 10.1016/j.jlp.2005.05.015.
- [4] Kutáč, J., Martínek, Z., Mikeš, J.: *Mimořádná událost v areálu bioplynové stanice v Malšvicích*. Elektrotechnická praxe, 11, pp. 23–26, 2011.
- [5] Test report No. 43427: *The results of test of ESE & franklin terminals*. University of Manchester, Institut of Science and Technology. In Kutáč, J., Martínek, Z., Mikeš, J. *Mimořádná událost v areálu bioplynové stanice v Malšvicích*, Elektrotechnická praxe, 11, pp 23–26, 2011.
- [6] Development of Organic Waste Treatment Facilities, Phase 2: *Environmental Impact Assessment Report*. (2013). Dostupné z: [http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia\\_2182013/EMAM/EMAM.pdf](http://www.epd.gov.hk/eia/register/report/eiareport/eia_2182013/EMAM/EMAM.pdf)
- [7] Stehle, R. (2010).: *Biogasplant Riedlingen (South Germany). A Contribution to the clarification of the cause of the accident. 2010*. Dostupné z: [http://arivem.free.fr/cariboost\\_files/Explosion\\_on\\_biogasplant.pdf](http://arivem.free.fr/cariboost_files/Explosion_on_biogasplant.pdf).
- [8] Kondo, K., Takahashi, A., Tokuhashi, K. Calculation of minimum ignition energy of premixed gases, *Journal of Hazardous Materials A103*, pp. 11–23, 2003, DOI: 10.1016/S0304-3894(03)00226-7.
- [9] Krausmann, E. (2010). *Analysis of Natech risk reduction in EU Member States using a questionnaire survey*. JRC-IPSC. Luxembourg: Publications Office of the European Union ISBN 978-92-79-18927-2.
- [10] German Agricultural Occupational Health and Safety Agency. *Safety Rules for Biogas Systems* (2008). Dostupné z: [http://www.biogaspro.com/assets/3rd\\_party/safety-rules-for-biogas-systems-2008.pdf](http://www.biogaspro.com/assets/3rd_party/safety-rules-for-biogas-systems-2008.pdf)
- [11] TDG 983 02. (2013) *Plynné hospodářství bioplynových stanic*. GAS, Praha.