

**ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA  
V PRAZE**

**TECHNICKÁ FAKULTA**

**KATEDRA TECHNOLOGICKÝCH ZAŘÍZENÍ STAVEB**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**Koncové využití bioplynu ze zemědělských  
bioplynových stanic**

Vedoucí: Ing. Zdeněk Pastorek, CSc., prof. h. c.

Vypracoval: Ondřej Havel

PRAHA 2012

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Katedra technologických zařízení staveb

Technická fakulta

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Havel Ondřej

Technika a technologie zpracování odpadů

Název práce

**Koncové využití bioplynu ze zemědělských bioplynových stanic**

Anglický název

**Limit the use of biogas from agricultural biogas plants**

### Cíle práce

Vyhodnotit možnosti koncového využití bioplynu ze zemědělských bioplynových stanic realizovatelné v podmínkách ČR

### Metodika

- prostudovat dostupnou literaturu a právní normy
- vypracovat literární rešerši na zadané téma
- vyhodnotit různé způsoby koncového využití bioplynu z hlediska realizovatelnosti v podmínkách ČR
- technické a ekonomické hodnocení různých způsobů koncového využití bioplynu
- vypracování závěru a doporučení pro praxi.

### Osnova práce

Úvod do problému (1-2 str.), současný stav a trendy v provozování bioplynových stanic v ČR a ve světě (15-20 str.), hodnocení způsobů koncového využití bioplynu a jejich realizovatelnost v podmínkách ČR (10-15 str.), technické a ekonomické hodnocení možností realizovatelných v podmínkách ČR (5-8 str.), závěr a doporučení pro praxi (2-3 str.).

**Rozsah textové části**

40 stran

**Klíčová slova**

bioplyn, koncové využití bioplynu, zemědělská bioplynová stanice

**Doporučené zdroje informací**

STRAKA F. a kol., 2003, Bioplyn, nakl. GAS Říčany  
SCHULZ H. EDER B., 2004, Bioplyn v praxi, nakl. HEL Ostrava  
PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P., 2004, Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakl. FCC Public Praha  
DOHLER H. a kol., 2009, Faustzahlen Biogas, 2. vyd., KTBL Darmstadt, D  
Firemní literatura (Vogelsang, Lipp, Wolf, Thoni, Tedom, GE Jenbacher,...)  
Sbírka zákonů ČR (dostupná na [www.mvcr.cz](http://www.mvcr.cz))  
Časopis OPADOVÉ FÓRUM ([www.odpadoveforum.cz](http://www.odpadoveforum.cz))  
Elektronický časopis WASTE FÓRUM ([www.wasteforum.cz](http://www.wasteforum.cz))

**Vedoucí práce**

Pastorek Zdeněk, Ing., CSc., prof.h.c.

**Termín zadání**

listopad 2010

**Termín odevzdání**

duben 2012

  
**doc. Ing. Miroslav Přikryl, CSc.**

Vedoucí katedry



  
**prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.**

Děkan fakulty

V Praze dne 10.2.2011

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „Koncové využití bioplynu ze zemědělských bioplynových stanic“ vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v příložené bibliografii.

V Hradci Králové, dne .....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Touto cestou bych velmi rád poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce panu Ing. Zdeňku Pastorkovi, CSc., prof. h. c., za korekturu, cenné rady a poskytnuté podklady. Dále děkuji Ing. Jaroslavu Károvi, CSc. za odborné konzultace a vstřícnost. Nakonec bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali a podporovali mě při zpracování bakalářské práce, zejména své ženě.

Ondřej Havel

**Abstrakt:** Cílem této bakalářské práce bylo zhodnocení možností využití bioplynu získaného ze zemědělských bioplynových stanic. Kapitola dvě se věnuje charakteristice bioplynu, popisuje stav výroby bioplynu v České Republice a Evropě, způsob jeho výroby a zařízení na jeho výrobu. Kapitola tři popisuje různé způsoby využití bioplynu. V kapitole čtyři jsou stručně hodnoceny možnosti realizace bioplynových stanic v České Republice z ekonomického hlediska. Kapitola pět shrnuje legislativní prostředí výroby bioplynu v České Republice.

**Klíčová slova:** bioplyn, koncové využití bioplynu, zemědělská bioplynová stanice

### **Limit the use of biogas from agricultural biogas plants**

**Summary:** The aim of this bachelor thesis was to evaluate options of end-use of biogas gained from agriculture biogas stations. Chapter two is pursuing a characteristic of biogas, describing state of production of biogas in the Czech Republic and Europe, the way of its production and production facilities. Chapter three is describing possibilities of end-use of biogas. There is a brief evaluation of possibilities of realization biogas plants in the Czech Republic considering economic aspects in chapter four. Chapter five is summarizing legislative environment of production of biogas in the Czech Republic.

**Key words:** biogas, end-use of biogas, agriculture biogas station

Obsah:

Obsah.....	6
1. Úvod.....	8
2. Současný stav a trendy v provozování bioplynových stanic v ČR a v Evropě.....	9
2.1 Bioplyn – druhy, složení, vlastnosti.....	9
2.1.1 Druhy bioplynu.....	9
2.1.2 Složení bioplynu.....	10
2.1.3 Vlastnosti bioplynu.....	11
2.2 Stav bioplynových stanic v Evropě.....	11
2.3 Stav bioplynových stanic v ČR.....	12
2.4 Výroba bioplynu v ČR a typy nejčastěji používaných zařízení.....	14
2.4.1 Anaerobní fermentace.....	14
2.4.2 Materiál využívaný pro anaerobní fermentaci – biomasa.....	21
2.4.3 Zemědělské bioplynové stanice.....	21
2.4.4 Výroba bioplynu v umělých nádržích ČOV.....	23
2.4.5 Skládkové plyny.....	25
2.4.6 Koncové výstupy bioplynových stanic.....	26
3. Koncové využití bioplynu.....	27
3.1 Skladování bioplynu.....	27
3.2 Úprava bioplynu.....	28
3.2.1 Metody úprav bioplynu.....	28
3.2.2 Zařízení na úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu.....	33
3.3 Napojení výrobců biometanu na distribuční síť.....	35
3.4 Spalování bioplynu.....	37
3.5 Kogenerace.....	38
3.6 Pohon mikroturbín.....	40
3.7 Pohon motorových vozidel.....	41

3.8 Výroba vodíku.....	42
4. Ekonomické hodnocení možností realizovatelných v ČR.....	44
5. Legislativní prostředí výroby a využití bioplynu v ČR – vybrané zákony.....	45
6. Závěr a doporučení pro praxi.....	49
7. Použitá literatura.....	50
8. Seznam obrázků.....	54
9. Seznam tabulek.....	55
10. Seznam zkratk.....	55



## **1. Úvod**

V současné době se jak ve světě, tak v České Republice čím dál tím víc dostávají do popředí tři problémy:

- Zvyšující se poptávka po energiích.
- Přibývání odpadů a nutnost nějak je zpracovávat.
- Tlak na ekologii jak ve výrobě energií, tak v nakládání s odpady.

V reakci na to se dnes stávají důležitými tzv. obnovitelné zdroje energie. Jedním z takovýchto obnovitelných zdrojů energie je pak i bioplyn. Výroba bioplynu se úzce dotýká všech tří zmiňovaných problémů a stává se součástí jejich řešení. Výroba je velmi šetrná k přírodě. Suroviny pro výrobu bioplynu jsou nejen obnovitelné, ale také snadno dosažitelné kdekoli, kde se dají pěstovat rostliny, kde fungují kanalizační systémy a kde lidé produkují odpad. Tedy v podstatě kdekoli na světě.

Jelikož se ale jedná o poměrně nový zdroj energie, je jeho výroba a využití v některých oblastech stále pouze předmětem výzkumu a technologie jsou ještě v některých případech příliš drahé a pro malé výrobce nedosažitelné.

Tato práce se zabývá zkoumáním možností využití bioplynu v ČR a to jak po stránce technologické, tak po stránce ekonomické. Zahnuje jednak technologie již běžně užívané v praxi (zemědělské bioplynové stanice, výroba bioplynu v čistírnách odpadních vod, jímání bioplynu na skládkách komunálního odpadu, apod.), tak technologie v ČR zatím nevyužívané (pohon motorových vozidel na bioplyn), ale také technologie a postupy existující i ve světě zatím pouze na poli teorie (výroba biovodíku).

## 2. Současný stav a trendy v provozování bioplynových stanic v ČR a ve světě

### 2.1 Bioplyn – druhy, složení, vlastnosti

Bioplyn vzniká jako produkt během složitého vícestupňového procesu biologického rozkladu organických látek působením metanogenních, autotrofních a hydrogenotrofních mikroorganismů. Anaerobní mikroorganismy produkující metan (metanogeny) jsou považovány za jedny z nejstarších živých organismů na naší planetě. Kyslík i v sebemenší koncentraci je pro ně jedovatý. Jejich přežití do dnešní doby jim zajistila jejich přizpůsobivost a těsná symbióza s jinými aerobními organismy, které jim zajišťují energii a anaerobní prostředí. Metanogenní kultury proto v přírodě nalézáme zásadně ve směsných kulturách.[6]

#### 2.1.1 Druhy bioplynu

Bioplyn můžeme rozdělit do několika kategorií v závislosti na jeho vzniku takto:

- |                |  |
|----------------|--|
| Zemní plyn     | - vznikl anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v dávných dobách, je energeticky nejhodnotnější, obsahuje 98% metanu. Je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie.  |
| Důlní plyn     | - původ jeho vzniku je obdobný jako u zemního plynu. Energetické využití má omezené jen na vhodné lokality, pro svoji výbušnost ve směsi se vzduchem resp. kyslíkem je velmi nebezpečnou příčinou důlních, ale i povrchových havárií.  |
| Kalový plyn    | - vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin v přírodních i umělých nádržích, uvolňuje se ze dna oceánů, moří, jezer, močálů, rybníků, které se pravidelně nečistí, ale i v biologickém stupni čistíren odpadních vod, rýžovištích, rašeliništích. Intenzita jeho vývinu i chemické složení jsou značně variabilní. Je to způsobeno variabilitou procesních podmínek, za kterých vzniká. |
| Skládkový plyn | - většina skládek komunálního odpadu obsahuje 20 ÷ 60%   |

organických materiálů, ze kterých může za vhodných podmínek anaerobní fermentací vznikat po mnoho let skládkový plyn s velmi proměnlivým složením. Jeho povrchové výrony jsou velmi nebezpečné, proto je žádoucí skládkové plyny získané při odplynění skládek komunálního odpadu využít k energetickým účelům nebo likvidovat bezpečnostním hořákem.

**Bioplyn** - obecně lze tento název použít pro všechny druhy plynných směsí, které vznikly činností mikroorganismů. Tím je vyjádřeno, že všechny druhy bioplynů anaerobního původu vznikají principiálně stejným způsobem ať probíhá metanogenní proces pod povrchem země, v zažívacím traktu živočichů, zvláště přežvýkavců, ve skládkách komunálních odpadů, v lagunách nebo v řízených anaerobních reaktorech. V technické praxi se ustálilo použití názvu bioplyn pro plynnou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technických zařízeních (reaktorech, digestorech, lagunách se zařízením na jímání bioplynu, atd.). [2]

### 2.1.2 Složení bioplynu

Majoritní složky bioplynu jsou v nejužším hodnocení u kvalitních plynů pouze dvě: methan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . U kvalitního bioplynu jsou všechny ostatní složky zahrnuty v úrovních do desetiny procenta. Bioplyn minoritně nejčastěji obsahuje tyto plyny: dusík  $\text{N}_2$ , argon Ar, kyslík  $\text{O}_2$ , vodík  $\text{H}_2$ , oxid dusný  $\text{N}_2\text{O}$ , sulfan  $\text{H}_2\text{S}$ , amoniak  $\text{NH}_3$  a chlorovodík HCl. [3]

V majoritních složkách je poměrně velký rozdíl mezi reaktorovým a skládkovým bioplynem. Skládkový plyn může na rozdíl od reaktorového obsahovat vzdušný dusík, argon (původem rovněž ze vzduchu) a nezreagovaný kyslík.[3]

Poměrné zastoupení obou hlavních složek bioplynu  $\text{CH}_4$  a  $\text{CO}_2$  můžeme v literatuře nalézt jako značně proměnné podle reagujícího substrátu v širokých mezích zjištěných obsahů

methanu od 50 do 85% obj. Různé prameny se obecně shodnou pouze v tom, že proteiny a lipidy poskytují vyšší výtěžky a vyšší koncentrace CH<sub>4</sub> oproti polysacharidům. Je zcela zjevné, že určení přesné hranice obsahů methanu a oxidu uhličitého v bioplynu podle použitého substrátu je dosti nereálné, neboť proces ovlivňuje mnoho dalších parametrů. U reaktorového bioplynu se objem metanu pohybuje okolo 60 ÷ 65% . Ve stabilizovaném procesu biomethanizace je objem metanu v bioplynu stabilní veličinou a jeho výrazné kolísání (nad 2%) je považováno za signál měnících se fermentačních podmínek.[3]

### 2.1.3 Vlastnosti bioplynu

Výhřevnost bioplynu je určena majoritním obsahem metanu (CH<sub>4</sub>). Ostatní minoritně zastoupené plyny mají zanedbatelný energetický význam. Spalné teplo suchého bioplynu má stejnou hodnotu jako výhřevnost. Hranice zápalnosti metanu ve směsi se vzduchem je 5 ÷ 15% objemu. Tato koncentrace metanu již tvoří výbušnou směs. Zápalná teplota bioplynu je určena stejnou hodnotou pro metan, tj.: 650°C až 750°C. Velmi důležitá je hodnota hustoty metanu a bioplynu s 60% podílem CH<sub>4</sub>, neboť bioplyn je těžší než vzduch a v prohlubních (např. u skládek) je smrtelně nebezpečný pro člověka i zvířata. [2,3]

## **2.2 Stav bioplynových stanic v Evropské Unii (EU)**

Bioplyn se dnes produkuje a využívá téměř ve všech zemích Evropské Unie. Největší množství bioplynu produkuje Německo (6669 ktoe v roce 2010). Mezi další největší evropské producenty bioplynu (nad 100 ktoe za rok 2010) patří Velká Británie, Itálie, Francie, Nizozemí, Španělsko, Česká Republika, Rakousko, Belgie, Polsko, Švédsko a Dánsko. V roce 2010 v Evropě velmi vzrostla produkce bioplynu, a to o 31,3%, přičemž největší část bioplynu byla využita k výrobě elektřiny. Výroba biometanu celkově vzrůstá, nejvíce např. ve Švédsku, Německu či Nizozemí.[35]

Každá členská země, která má ambice ve výrobě bioplynu, má vlastní Národní akční plán pro obnovitelné zdroje energie do roku 2020. A dle průzkumu Euobserv-er.cz se zdá, že

budou tyto členské země své plány ve výrobě elektrické i tepelné energie schopny naplnit. [35]

Tabulka č. 1 znázorňuje produkci bioplynu v toe ve vybraných zemích EU v letech 2009 a 2010, kde je patrný meziroční nárůst:

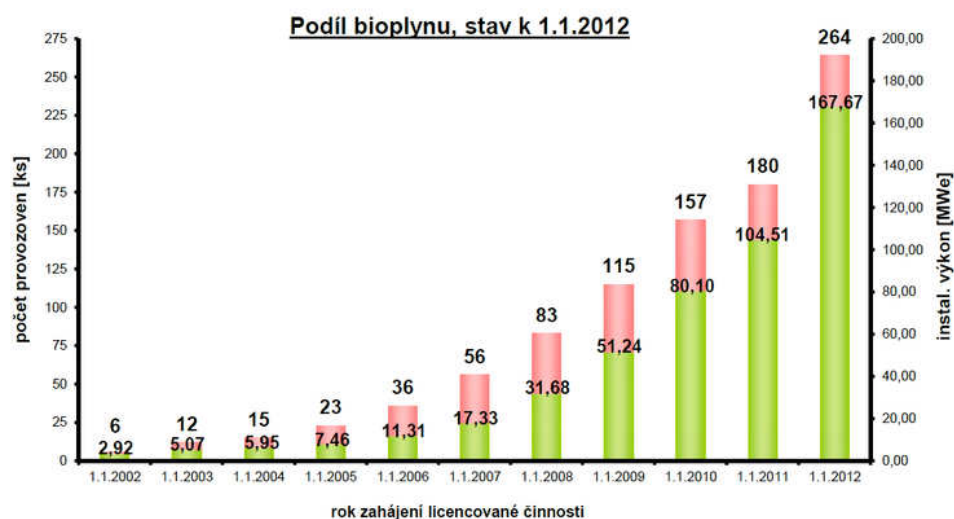
Země EU:	2009				2010			
	Skládkové plyny	Bioplyn z Čistíren odpadních vod	Ostatní bioplyn	celkem	Skládkové plyny	Bioplyn z Čistíren odpadních vod	Ostatní bioplyn	celkem
Německo	265,5	386,7	3561,2	4213,4	232,5	402,6	6034,5	6669,6
Velká Británie	1474,4	222,6	0,0	1697,0	1499,4	272,8	0,0	1772,2
Itálie	361,8	5,0	77,5	444,3	383,8	7,0	87,7	478,5
Francie	442,3	45,2	38,7	526,2	323,7	41,6	48,0	413,3
Nizozemí	39,2	48,9	179,8	267,9	36,7	50,2	206,5	293,4
Španělsko	140,9	10,0	32,9	183,7	119,6	12,4	66,7	198,7
Česká Republika	29,2	33,7	67,0	129,9	29,5	35,9	111,3	176,7
Rakousko	4,9	19,0	135,9	159,8	5,1	22,5	143,9	171,5
Belgie	42,7	2,1	80,5	125,3	41,9	14,6	70,9	127,4
Polsko	35,7	58,0	4,5	98,0	43,3	63,3	8,0	114,6
Švédsko	34,5	60,0	14,7	109,2	35,7	60,7	14,8	111,2
Dánsko	6,2	20,0	73,4	99,6	8,1	20,1	74,0	102,2
Řecko	46,3	9,5	0,2	56,0	51,7	15,0	1,0	67,7
Irsko	42,2	8,1	4,1	54,4	44,2	8,6	4,5	57,3
Finsko	26,0	12,6	2,8	41,4	22,7	13,2	4,5	40,4
Maďarsko	2,8	10,5	17,5	30,9	2,6	12,3	19,3	34,2
Portugalsko	21,3	1,5	1,0	23,8	28,2	1,7	0,8	30,7
Slovinsko	8,3	7,7	11,0	27,1	7,7	2,8	19,9	30,4
Lotyšsko	6,8	2,7	0,2	9,7	7,9	3,3	2,2	13,3
Lucembursko	0,0	1,4	11,0	12,4	0,1	1,2	11,7	13,0
Slovensko	0,8	14,8	0,7	16,3	0,8	9,5	1,8	12,2
Litva	1,3	2,1	1,2	4,7	2,0	3,0	5,0	10,0
Estonsko	1,6	1,0	0,0	2,5	2,7	1,1	0,0	3,7
Rumunsko	0,0	0,0	1,1	1,1	0,0	0,0	1,1	1,1
Kypr	0,0	0,0	0,2	0,2	0,0	0,0	0,2	0,2
<b>EU Celkem</b>	<b>3034,6</b>	<b>982,9</b>	<b>4317,1</b>	<b>8334,7</b>	<b>2929,8</b>	<b>1075,2</b>	<b>6938,3</b>	<b>10943,3</b>

Tabulka č. 1 – produkce bioplynu v EU v letech 2009 a 2010[35]

### 2.3 Stav bioplynových stanic v ČR

V ČR bylo na začátku listopadu 2011 v provozu 233 bioplynových stanic, zhruba o 60 více než v březnu stejného roku, což ilustruje jejich stoupající oblibu. Národní akční plán pro biomasu předpokládá, že v roce 2020 bude v ČR až 742 bioplynových stanic (BPS). Podle prezidenta agrární komory by pro energetické účely mohlo být využito až 900.000 hektarů zemědělské půdy, což představuje ve finančním vyjádření 10,8 miliardy Kč a také 20.000 pracovních míst. [4]

Možnost využívání bioplynu jakožto alternativního zdroje energie je díky stoupajícímu počtu bioplynových stanic velice aktuální. Proto je nyní projednávána její zákonná podoba. V současné době je ve schvalovacím procesu Zákon o podporovaných zdrojích energie. Senát jej vrátil 11. 12. 2012 do Poslanecké sněmovny, neboť výkupní ceny za biometan byly podle něj příliš vysoké. V původním návrhu zákona byla plánovaná maximální výše výkupní ceny biometanu Kč 4.000,-- za megawatthodinu spalného tepla. Senát ji snížil na Kč 1.700,-- za jednu MWh.[15] Cena elektřiny prodávané do veřejné sítě z obnovitelných zdrojů energie (OZE) je stanovena buď dle pevné výkupní ceny, nebo se skládá ze dvou složek, ceny tržní a tzv. zeleného bonusu. Výši zeleného bonusu stanovuje cenového rozhodnutí Energetického regulačního úřadu (ERÚ). K dnešnímu dni je platné cenové rozhodnutí č. 7/2011.[7]

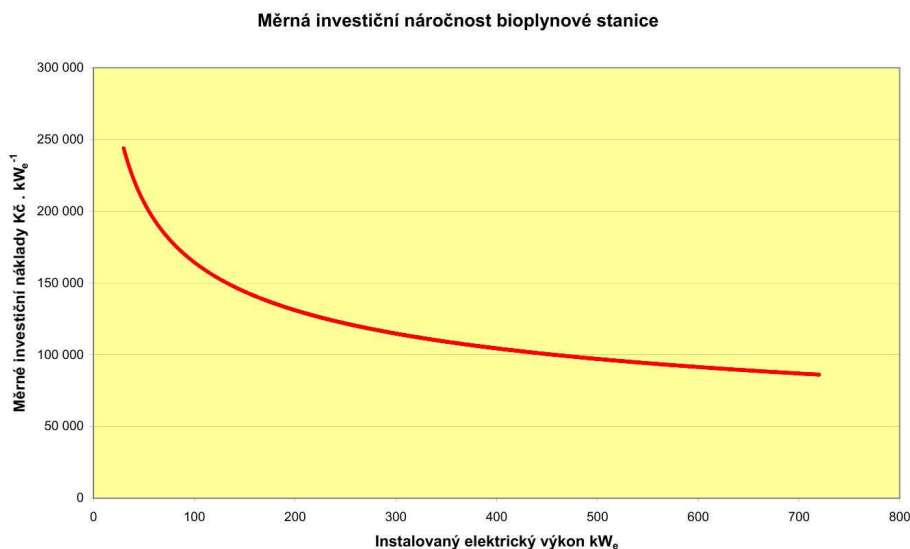


Obr. č. 1 - Počet bioplynových stanic v ČR a instalovaný el. výkon v roce 2011 [38]

Největší potenciál rozvoje BPS je vedle zemědělství, kde se nyní nejčastěji využívají, také komunální sféra. Zpracování biologicky rozložitelných komunálních odpadů (BRKO) v BPS je nadějnou formou jejich odstraňování u mnohých komunálních samospráv. [5]

Největší překážkou pro další rozvoj bioplynových technologií v ČR však nadále zůstávají jejich relativně vysoké investiční náklady a náročné bezpečnostní požadavky, které jsou především u malých bioplynových stanic velkým omezením. Z údajů ze zahraničí i z ČR však vyplývá, že měrné náklady na jednu kilowatu se s rostoucím instalovaným výkonem

snižují. Proto je ekonomicky rozumnější stavět BPS od instalovaného elektrického výkonu cca 400kWh. Od této hranice už měrné náklady klesají pouze pozvolně. [5]



Obr. č. 2 - Měrná investiční náročnost bioplynové stanice [5]

## 2.4 Výroba bioplynu v ČR a typy nejčastěji používaných zařízení.

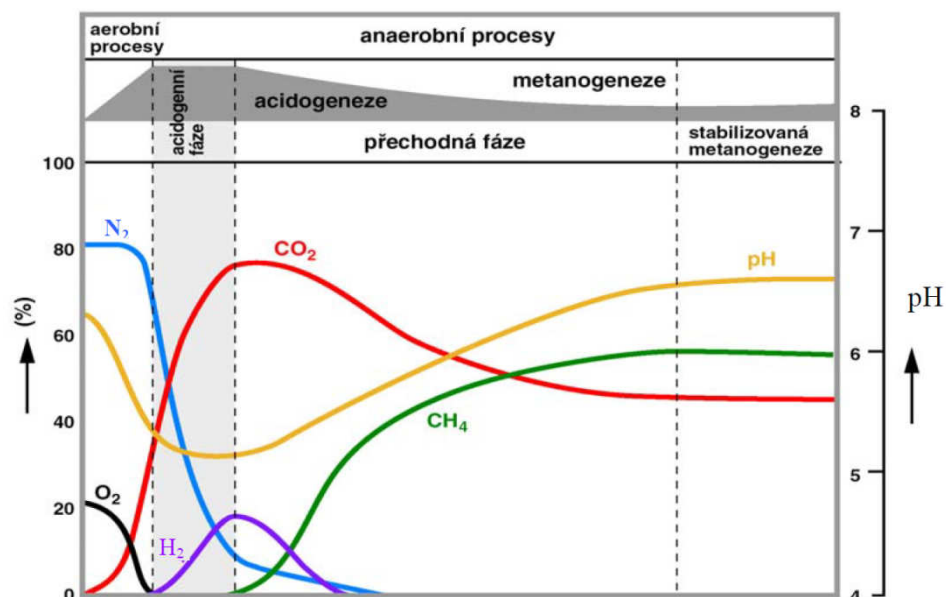
### 2.4.1. Anaerobní fermentace

Anaerobní fermentací rozumíme proces, při kterém probíhá přeměna tzv. biomasy na bioplyn za působení mikroorganismů. Proces anaerobní fermentace se dělí do čtyř fází:

- I. fáze - Hydrolýza - probíhá ještě za přítomnosti vzdušného kyslíku, dochází k enzymatickému rozkladu polymerů (bílkoviny, tuky, uhlovodíky ...) na jednodušší organické látky (jednoduché cukry, aminokyseliny, mastné kyseliny a vodu). Pro tuto fázi je důležitá dostatečná vlhkost biomasy, nejméně 50% hmotnostního podílu, jinak nedochází k nastartování celého procesu. Během této fáze se také spotřebuje téměř všechny vzdušný kyslík.

- II. fáze – Acidogeneze - dochází k vytvoření naprosto anaerobního prostředí. Acidofilní bakterie vytvářejí oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ , sulfan  $\text{H}_2\text{S}$ , a čpavek  $\text{NH}_3$ .
- III. fáze - Acetogeneze - též někdy nazývaná jako mezifáze. Specializované kmeny acidogenních bakterií tvoří z vyšších organických kyselin kyselinu octovou  $\text{CH}_3\text{COOH}$ , vodík  $\text{H}_2$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ .
- IV. fáze – Metanogeneze - v alkalickém prostředí rozkládají metanogenní acetotrofní bakterie kyselinu octovou  $\text{CH}_3\text{COOH}$  na metan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$  a hydrogenotrofní bakterie produkují metan  $\text{CH}_4$  z vodíku  $\text{H}_2$  a oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$ . Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné. Metanogenní fáze probíhá zhruba 5x pomaleji, než ostatní fáze, čemuž je třeba přizpůsobit konstrukci bioplynových technologických systémů a dávkování surového materiálu, aby nedošlo k přetížení fermentoru.[1,2]

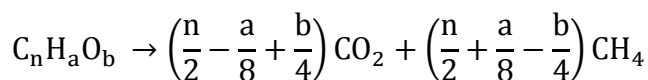
Průběh anaerobní fermentace je znázorněn na obr. č. 3:



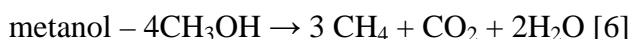
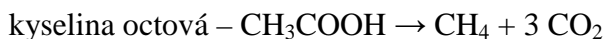
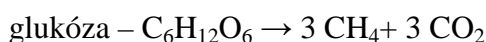
Obr. č. 3 - Anaerobní fermentace organických látek [6]



Obecně pro rozklad uhlovodanů platí:

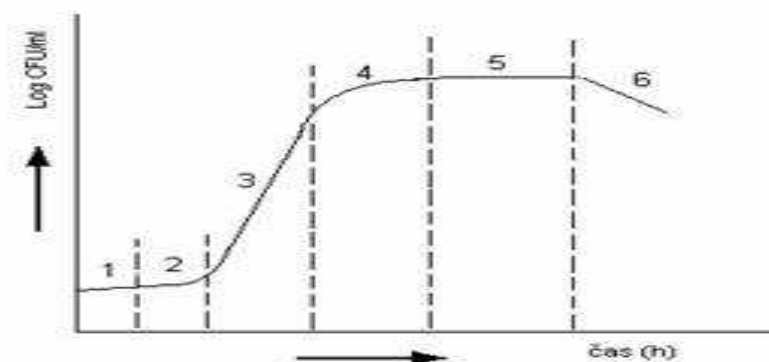


Zjednodušený popis metanového kvašení:



Podle složení substrátu se vytvářejí vhodné podmínky pro množení určitých kmenů bakterií způsobujících rozklad organické látky. Množství mikroorganismů odpovídá jejich růstové křivce, na níž lze sledovat 6 fází:

- |                                 |   |
|---------------------------------|---|
| I. Lagová fáze                  | – mikroorganismy se postupně adaptují na dané podmínky.   |
| II. Fáze zrychleného růstu      | – částečně přizpůsobené mikroorganismy se začínají množit.  |
| III. Fáze exponenciálního růstu | – zcela přizpůsobené mikroorganismy se silně množí, protože mají dostatečné množství živin.           |
| IV. Fáze zpomaleného růstu      | – rychlost růstu mikroorganismů se zpomaluje.   |
| V. Stacionární fáze             | – vlivem počínajícího nedostatku živin je počet vznikajících a umírajících mikroorganismů v rovnováze |
| VI. Fáze poklesu                | – absolutní nedostatek živin způsobuje postupné odumírání a rozklad mikroorganismů.                   |



Obr. č. 4 – Růstová křivka mikroorganismů [39]

Pro urychlení náběhu fermentačního procesu se využívá očkovací látka (inokulum) z fermentoru v ustáleném provozním stavu nebo se používají sušené stimulatory obsahující metanogeny v inaktivovaném stavu.[6]

### **Faktory ovlivňující průběh anaerobní fermentace:**

#### Teplota

Anaerobní fermentace může probíhat v teplotách mezi 3°C ÷ 70°C. Existují i mikroorganismy produkující bioplyn v 90°C (nalezeny u sirmých pramenů), ty se ovšem ve výrobě nepoužívají, ostatní kmeny při překročení teploty 60-70°C hynou. Pokud teplota naopak klesne pod 3°C, bakterie nehynou, nicméně přestávají pracovat. Závislost tvorby bioplynu je přímo úměrná teplotě. Čím je teplota vyšší, tím rychlejší je rozklad a tvorba bioplynu. Jeho kvalita však s teplotou klesá, neboť obsahuje méně metanu. Naopak při nižší teplotě je sice proces tvorby bioplynu pomalejší, nicméně jeho kvalita je díky vyššímu obsahu metanu vyšší. [1]

Teplotní pásma, při kterých probíhá metanogenní proces se dělí na tři oblasti:

- psychofilní 15 ÷ 20°C
- mezofilní 35 ÷ 40°C
- termofilní nad 55°C.

Pro anaerobní proces jsou nejčastěji využívány mezofilní a termofilní mikroorganismy.

#### Vlhkost

Metanové bakterie mohou pracovat a množit se jen tehdy, když jsou substráty dostatečně zalaty vodou (alespoň z 50%). Na rozdíl od aerobních bakterií, kvasinek a hub nemohou žít v pevném substrátu. [1]

## pH

Významným faktorem ovlivňujícím metanogenní fermentaci je číslo pH (kyselost nebo zásaditost) materiálu. Za optimální hodnotu pH na vstupu do procesu se považuje interval blízký neutrální hodnotě  $\text{pH} = 7 \div 7,8$ . V průběhu procesu se tento parametr mění. Na začátku převažuje aktivita acidogenů a číslo pH může poklesnout na  $4 \div 6$ . Při hodnotách pH substrátu menších než 5 se mohou začít objevovat inhibiční účinky na některé kmeny metanogenů. Dojde-li však za příznivých podmínek k jejich rozvoji, zvýší svojí aktivitou číslo pH substrátu až na neutrální hodnotu  $\text{pH} = 7$ . Některé kmeny metanogenů jsou schopny se rozvíjet i v silně alkalickém prostředí ( $\text{pH} = 8 \div 9$ ). V praxi se optimální hodnota pH materiálu na vstupu do procesu upravuje homogenizací směsných materiálů nebo alkalickými přísadami. [2]

## Inhibitory

Je-li výroba plynu popřípadě průběh procesu inhibován (zpomalen či zastaven), může to mít rozdílné důvody, např. provozně – technické. Inhibující látky mohou též zpomalovat průběh procesu, podle okolností působí už v nepatrných množstvích na bakterie toxicky a brání rozkladnému procesu. Chceme-li tyto látky popsat, musíme rozlišovat mezi inhibujícími, které se do biofermentoru dostaly s přidavkem substrátu, a takovými, které vycházejí jako meziprodukty z jednotlivých rozkladných kroků. [10]

- Inhibující látky dostávající se do procesu spolu se substrátem:

Organické kyseliny, antibiotika chemoterapeutika a desinfekční prostředky mohou proces vyhnívání brzdít, nebo úplně zastavit, zvláště při vyšších koncentracích. K tomu může dojít, když jsou najednou ošetřována všechna zvířata, nebo se desinfikují stáje. Dále soli, těžké kovy či rozpouštědla. Také esenciální stopové prvky mohou být ve vysokých koncentracích pro bakterie jedovaté. Je těžké určit, která látka v jaké koncentraci bakteriím škodí i s ohledem na určitou míru jejich přizpůsobivosti. [1,10]

- Inhibující látky vznikající v průběhu procesu:

Během fermentačního procesu vznikají látky, které ho mohou inhibovat. Obzvláště amoniak ( $\text{NH}_3$ ) působí na bakterie škodlivě už v nepatrných koncentracích. Jiný produkt fermentačního procesu je sulfan ( $\text{H}_2\text{S}$ ), který v rozpuštěné formě může celý rozkladný proces inhibovat – jako buněčný jed – už při koncentraci cca 50 mg/l.

### **Dělení technologií anaerobní fermentace:**

Podle dávkování surového materiálu dělíme technologie:

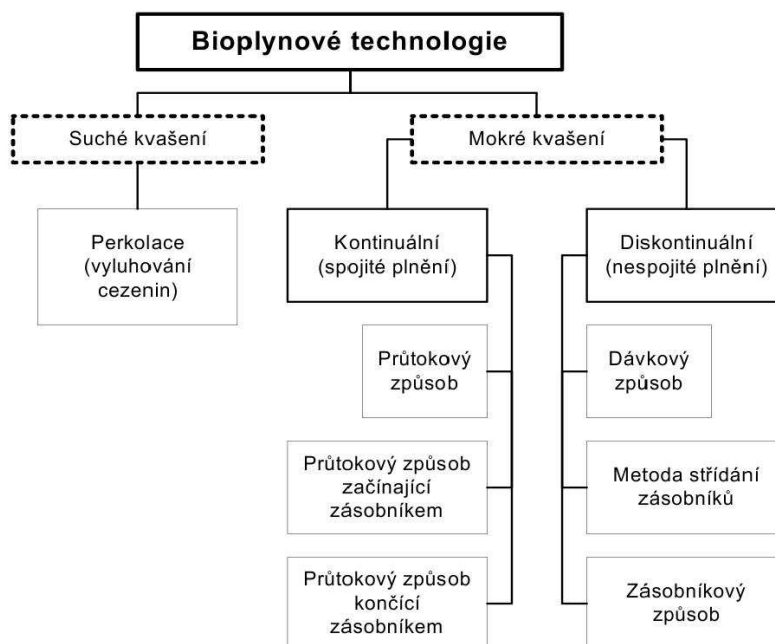
- Diskontinuální (s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové atd.) – doba jednoho pracovního cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru; používá se zvláště při suché fermentaci tuhých organických materiálů. Způsob manipulace s materiálem je náročný na obsluhu.
- Semikontinuální – doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru; je to nejpoužívanější způsob plnění fermentorů při zpracování tekutých organických materiálů; materiál se dává 1 ÷ 4 i vícekrát za den; materiál vstupující semikontinuálně do fermentoru má malý vliv na změnu pracovních parametrů fermentoru (teplota, homogenita); technologický proces lze snadno automatizovat; proces není náročný na obsluhu.
- Kontinuální – používá se při plnění fermentorů, které jsou určeny pro zpracování tekutých organických odpadů s velmi malým obsahem sušiny. [6]

Z hlediska obsahu sušiny ve zpracovávaném vstupním substrátu známe dvě základní technologie BPS, které jsou nazývány mokrá fermentace a suchá fermentace.

- Mokrá fermentace využívá obvykle fermentoru s vertikální osou a materiál ve fermentoru má sušinu 6 ÷ 12 % v závislosti na procesu míchání. V praxi to znamená, že materiály s vyšším obsahem sušiny (hnůj, podestýlka, různé druhy siláží a senáží) se

před vstupem do fermentoru ředí na odpovídající podíl sušiny kejdou nebo procesní vodou, vyseparovanou z již zfermenovaného kalu. Nadměrný obsah slámy (byť rozdrčené) nebo dokonce podestýlka na bázi pilin může u mokrých technologií působit vážné provozní problémy (poruchy míchacího systému, tvorba krust, ucpávání čerpadel, apod.). Je tedy nutné pečlivě vážit použitou technologii, systémy míchání, přípravu suroviny tak, aby celý proces mohl bezproblémově fungovat. Většina aplikací je v současnosti založena na mokré technologii.

- Suchá fermentace je vývojově mladší než mokrá fermentace, nicméně některé její typy již našly perspektivní uplatnění v praxi. Suchou fermentaci lze navíc dle obsahu sušiny substrátu rozdělit na:
  - suchý proces ( 25 – 45 % sušiny)
  - vysokosušinový proces ( nad 40 % sušiny). [16]



Obr. č. 5 – Schéma bioplynových technologií [1]

### 2.4.2 Materiál používaný pro anaerobní fermentaci - Biomasa

Biomasa je obecný pojem pro materiál vhodný pro využití k energetickým účelům formou metanogenní fermentace. Je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni. [2,6]

Biomasu využitelnou k energetickým účelům dělíme do pěti základních skupin:

- Fytomasa s vysokým obsahem lignocelulózy.
- Fytomasa olejnatých plodin.
- Fytomasa s vysokým obsahem škrobu a cukru.
- Organické odpady a vedlejší produkty živočišného původu.
- Směsi různých organických odpadů. [6]

### 2.4.3. Zemědělské bioplynové stanice

Zemědělské bioplynové stanice slouží ke zpracování zelené biomasy a kejdy hospodářských zvířat. U takového typu bioplynové stanice si suroviny dodává zemědělský podnik sám, není závislý na dodavatelích. Základním pravidlem hospodárného provozu bioplynové stanice a předpokladem dobré návratnosti vynaložených investic je využití tepla a elektřiny produkovaných kogenerační jednotkou. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb. o odpadech, ani jiné materiály spadající pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009, o vedlejších živočišných produktech. [2,17]

Na zemědělských bioplynových stanicích je možno zpracovávat zejména následující materiály:

- Živočišné suroviny: kejda prasat, hnůj prasat se stelivem, kejda skotu, hnůj skotu se stelivem, hnůj a stelivo z chovu koní, koz, králíků, drůbeží exkrementy, včetně steliva atd.
- Rostlinné suroviny: sláma všech typů obilovin i olejnin, plevy a odpad z čištění obilovin, bramborová nať i slupky z brambor, řepná nať z krmné i cukrové řepy, kukuřičná sláma i jádro kukuřice, travní biomasa nebo seno (senáže), nezkrmitelné rostlinné materiály (siláže, obiloviny, kukuřice) atd.
- Pěstovaná biomasa: obiloviny v mléčné zralosti čerstvé i silážované, kukuřice ve voskové zralosti čerstvá i silážovaná, krmná kapusta čerstvá i silážovaná, „prutová“ biomasa (štěpky nebo řezanka z listnatých dřevin) atd.[17]

Zemědělské bioplynové stanice se vyvíjely tak, jak se postupně vyvíjela potřeba zpracovávání určitých typů organických materiálů, které jsou na venkově k dispozici. V první fázi se na nich zpracovávala pouze kejda hospodářských zvířat, vyrábělo se kvalitní hnojivo a navíc se získávala elektrická energie a teplo. Postupně k nim přibyl jateční a kuchyňský odpad a biomasa ze záměrně pěstovaných energetických plodin. To byl typ nejrozšířenější bioplynové stanice do doby, než vešlo v platnost „Nařízení EC 1069/2009 O zpracování vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny k lidské spotřebě“. Poté bylo nutno zakoupit zařízení na úpravu jatečního a kuchyňského odpadu. Nicméně snížená cena výkupu energií, kontroly hygienických a veterinárních orgánů a ekonomická nákladnost byly příčinou, že pasterizační jednotky na zemědělských bioplynových stanicích byly zrušeny, nebo odstaveny. V současnosti nejrozšířenějším typem je tak zemědělská bioplynová stanice zpracovávající kejdu hospodářských zvířat a biomasu ze záměrně pěstovaných energetických plodin. [2]

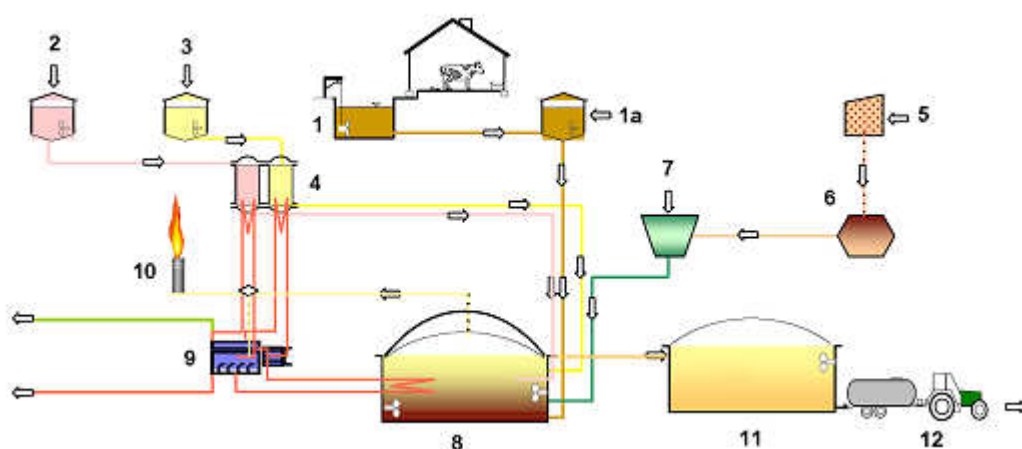
Jednotlivé technologické celky v malé zemědělské bioplynové stanici :

- Skladování a příprava materiálu – drcení, třídění, doprava
- Fermentor
- Plynové hospodářství – zásobník, úprava plynu – obvykle hlavně odstranění síry
- Kogenerační jednotka – el. energie a systém využití odpadního tepla

- Manipulace s fermentovanou biomasou (digestátem) - případně zahuštění – odvodnění – příprava ke kompostování [8]

U zemědělských stanic je velkou výhodou, že je možno počítat s možností využití některých stávajících zemědělských objektů, jako jsou - silážní žlaby, nádrže, zásobníky, budovy, objekty pro kompostování atd.[8]

Schéma na Obr. 6. zobrazuje typ zemědělské bioplynové stanice zpracovávající kejdu, zelenou biomasu, kuchyňské odpady a jateční odpady.



Obr. č. 6 - Schéma bioplynové stanice

Legenda:

1-kejda ze stáje, 1a-kejda přivážená z okolních zemědělských podniků, 2-příjem jatečních odpadů, 3-příjem kuchyňských odpadů, 4-tepelná úprava rizikových substrátů 2 a 3, 5-příjmové místo zrnin, 6-mechanická úprava zrnin (mačkání, drcení, šrotování), 7-příjem a úprava zelené biomasy, 8-fermentor se střešním plynojemem, 9-kogenerační jednotka, 10-hořák zbytkového plynu, 11-zásobní jímka na digestát, 12-odvoz digestátu jako hnojiva.[5]

#### 2.4.4. Výroba bioplynu v umělých nádržích ČOV

Charakteristickým rysem průmyslových odpadních vod je vysoká koncentrace organického znečištění a často vyšší teplota, což jsou dva parametry, které velmi zvýhodňují použití anaerobní technologie pro čištění takových vod. Organické znečištění odpadních vod v sobě nese energii, která je při jejich čištění nějakým způsobem transformována.

Mimořádnou předností anaerobního čištění odpadních vod je, že zhruba 90 % této energie

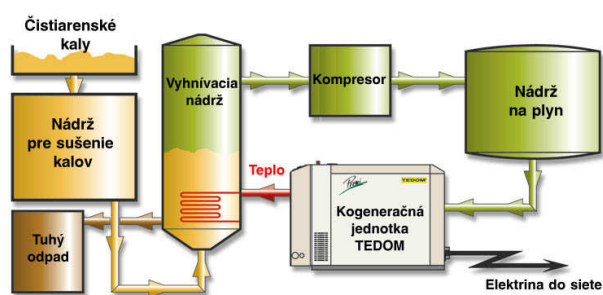


se přeměňuje na bioplyn. Z tohoto energetického pohledu mají anaerobní technologie výsadní postavení mezi čistírenskými procesy, protože jsou schopné produkovat energii. [9]

Anaerobní reaktory pro čištění odpadních vod dělíme podle způsobu kultivace na dvě hlavní skupiny, a to s kultivací v suspenzi a s kultivací určitým způsobem imobilizované biomasy. Jejich výkonnost ovlivňuje několik faktorů:

- množství biomasy, která zůstává v reaktoru i při vysokých zatíženích.
- kontakt biomasy s přiváděným substrátem (odpadní vodou).
- specifická aktivita biomasy vůči danému substrátu.

První dvě kritéria jsou přímo závislá na konstrukci reaktoru a způsobu kultivace biomasy. Aktivita biomasy závisí na její historii, tj. původu, stupni adaptace, morfologii apod. a na reakčních podmínkách (teplotě, koncentraci a charakteru substrátu, inhibici atd.) [3]



Obr. č. 7 – Schéma tvorby bioplynu na ČOV [39]

Kvalita bioplynu získaného anaerobní fermentací při čištění odpadních vod je závislá na kvalitě fermentovaného materiálu. Díky acidifikaci vod, která probíhá již před samotným fermentováním, bývá bioplyn bohatý na metan (a to až podílem 80%). U odpadních vod, které obsahují vyšší podíl síranů se však také můžeme setkat s vyšší koncentrací sulfanu.

Reaktory na výrobu bioplynu čištěním odpadních vod jsou velmi specifické. Je to důsledek specifických vlastností těchto odpadních vod, v nichž převažují rozpuštěné organické látky. Z toho důvodu je zde první stupeň anaerobního rozkladu organických látek – hydrolyza, která obvykle limituje celkovou rychlost rozkladu, podstatně rychlejší, případně úplně chybí. Rozkladný proces je proto rychlejší a potřebná doba zdržení odpadní vody v

reaktoru kratší. Díky vyššímu hydraulickému zatížení a nižší viskozitě odpadních vod oproti kalům a podobným „hustějším“ materiálům zpravidla není nutné v moderních reaktorech pro čištění odpadních vod intenzivní míchání, tak jak jej známe u reaktorů pro zpracování čistírenských kalů, živočišných odpadů, fytobiomasy apod.). [9]

V řadě průmyslových odvětví je již dnes anaerobní rozklad organického znečištění uznávaný jako nezastupitelná součást optimální čistírenské linky (cukrovarny, pivovary, škrobárny, lihovary apod.) [9]

#### 2.4.5. Skládkové plyny

Na skládkách s produkcí plynu se instalují již při jejich zakládání odplynovací systémy, které se dělí na vertikální, horizontální a kombinované. Při pasivním způsobu jímání plynu uniká ze skládky vlastním tlakem, při aktivním způsobu je plyn odsáván dmychadly pod tlakem asi 50 kPa. Nikdy se však nedaří využívat veškerý produkovaný skládkový plyn. V praxi to bývá pouze 20 ÷ 70% plynu. [6]

Bioplyn vznikající na skládkách je kvalitní zdroj energie, kdy hodnoty metanu v plynné směsi se pohybují okolo 55 ÷ 65%. Objem metanu je závislý jak na složení skládky, které bývá proměnlivé, tak na jejím stáří. Rozvoj methanogenních procesů rozhodně není zcela samozřejmý, i když je zcela samovolný. K tomu, aby se ve skládce započal vyvíjet bioplyn, je nutno, aby byly splněny veškeré následující podmínky bez výjimek:

- Do skládky nesmí mít přístup kyslík.

Skládka tedy musí být dostatečně hluboká, hutněná a vzduch do ní nesmí vnikat ani žádnými drenážemi.

- Odpad musí být dostatečně vlhký.

Požadavek vlhkosti (tj. přítomnost vody) je minimálně stejně důležitý jako nepřítomnost kyslíku. V prostředích s nedostatečnou vlhkostí nemohou anaerobní rozkladné procesy vůbec probíhat a dokonce i započaté methanizační pochody se při ztrátě vlhkosti zastavují.

- Odpad nesmí obsahovat žádné baktericidní ani jiné, pro bakterie toxické anebo inhibující látky.

Například dřevní odpad z výroby ošetřujících materiálů proti plísním a hnilobě je jen velmi obtížně rozložitelný. [3]

Pokud jsou tedy splněny tyto tři základní podmínky a jsou příznivé i další faktory, jako teplota, hodnota pH apod., vzniká ve skládkách bioplyn, který je následně jímán v zařízeních k tomu určených. Při odčerpávání bioplynu se nesmí překročit hranice produkce bioplynu, neboť při přečerpání hrozí zavzdušnění. Také zařízení na jímání plynu nesmí mít konec otevřený do atmosféry, aby tudíž nemohl vnikat vzduch a zpomalovat, či zcela zastavit proces. Při jímání skládkových plynů hrozí nebezpečí vytvoření výbušné směsi metanu s kyslíkem. Je proto třeba na skládkách hlídat hodnoty a přerušit čerpání, když obsah kyslíku v plynu stoupne nad 3%. Doba, po kterou je možné bioplyn ze skládky jímat, činí až 30 let. [3]

#### 2.4.6 Koncové výstupy bioplynových stanic

##### Bioplynová koncovka

Bioplynová koncovka obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník (plynojem), regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu (čištění od H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, mechanických nečistot atd.), zařízení na konečné využití bioplynu (kogenerační jednotka), hořák zbytkového plynu. [17]

##### Kalová koncovka

Kalová koncovka se používá tam, kde nemůžeme substrát použít jako hnojivo, ale kde je nutné chemické čištění s biologickým stupněm, kdy odvod tekutých frakcí končí v blízké vodoteči, neboť její pořizovací hodnota je poměrně vysoká. Kalová koncovka sestává z

armatur, dopravních čerpadel, homogenizátorů, skladů, separačních zařízení (spádové síto, šnekový lis, dekantér, rotační síto, pásový lis). [17]

### **3. Koncové využití bioplynu**

#### **3.1. Skladování bioplynu**

Bioplynové stanice mohou být buď s vyrovnávacím zásobníkem, nebo bez vyrovnávacího zásobníku v závislosti na produkci a spotřebě bioplynu. Který typ bioplynové stanice bude použit se pak určuje na základě výpočtu předpokládané výroby a spotřeby.

Bioplynová stanice bez vyrovnávacího zásobníku:

Vyznačuje se tím, že spotřebiče jsou zapínány nepravidelně podle množství vyrobeného bioplynu (hrozí nebezpečí nutnosti spalování přebytků bioplynu bezpečnostním hořákem). Energie vyrobeného bioplynu je přeměněna na teplo a akumulována např. do zásobníku vody (získá se tak pouze nízkopotenciální zdroj energie).[6]

Bioplynová stanice s vyrovnávacím zásobníkem:

Vyžaduje vyšší pořizovací náklady. Velikost vyrovnávacího zásobníku bioplynových stanic je podle zkušeností z experimentálních provozů doporučována alespoň na úrovni jednodenní produkce bioplynu. Pokud přebytky bioplynu přesáhnou 30% objemu výroby, nelze počítat s přijatelnou ekonomickou efektivností provozu bioplynové stanice.

Plynojemy používané u bioplynových stanic můžeme rozdělit:

I. Podle konstrukčního materiálu:

- kovové,
- plastové,
- gumotextilní,
- kombinované.

II. Podle provozního tlaku:

- nízkotlaké (< 50 kPa),
- středotlaké (1 až 2 MPa),

- vysokotlaké 15 až 35 MPa).[6]

U současných zemědělských bioplynových stanic se nejčastěji používají integrované plynojemy na reaktoru, plynojemy kovové válcové s vodorovnou osou, mokré plovoucí plastové plynojemy, gumotextilní dvouplášťové plynojemy a suché kovové plynojemy s gumotextilní membránou.[6]



Obr. č. 8 – Fermentační reaktor s gumotextilní membránou MT-Energie [37]

## 3.2 Úprava bioplynu

### 3.2.1 Metody úpravy bioplynu:

#### Odsiřování bioplynu

Jednou z látek, které je nutné z bioplynu odstranit je sulfan ( $H_2S$ ). Jedná se o jedovatý a zápachající plyn, který ve spojení s vodní párou, taktéž obsaženou v surovém bioplynu, tvoří kyselinu sírovou, která naleptává motory, rozvody plynu apod. Sulfan se z bioplynu odstraňuje odsiřením. Rozlišujeme dvě metody odsiřování, biologické a chemické:

- Biologické odsiřování (mikroaerace)

Biologické odsiřování může probíhat buď ve fermentoru, nebo mimo něj. Ve fermentoru se k odsiřování používá bakterie *Sulfobacter Oxydans*, která mění sulfan za

přístupu kyslíku na čistou síru. Tato metoda má však několik nedostatků, a to především nemožnost přesného zjištění vznikajícího sulfanu, zajištění přesných podmínek pro odsíření nebo koroze částí plynojemu. Tomu se dá zabránit použitím odsíření mimo plynojem, kdy se dají pořídit přímo odsiřovací kolony. V nich se pak dají podmínky pro odsíření (např. přívod vzduchu) lépe sledovat. Nicméně odsiřovací kolona znamená investici navíc.

#### - Chemické odsiřování

Pokud nestačí biologické odsiřování, používá se odsiřování chemické. Chemické odsiřování probíhá taktéž buď ve fermentoru, nebo mimo něj. Ve fermentoru probíhá tak, že se do směsi přidá chemická látka, zpravidla chlorid železnatý, nebo chlorid železitý, příp. železná ruda. Ovšem při tomto způsobu je opět nevýhodou nepřesnost stanovení optimálních hodnot příměsí vzhledem k množství sulfanu. Při použití odsiřovacího zařízení se používá buď louh sodný, nebo hydroxid železa. [10]

#### Chemická absorpce

Principem chemické absorpce je odstraňování nežádoucích látek (sulfan, amoniak, oxid uhličitý) vhodnými pracími roztoky. Tato metoda je vhodná pro všechny velikosti bioplynových stanic, záleží pouze na použitém absorpčním roztoku. Jako prací kapaliny se používají např. louh NaOH, Metyldi-ethanolamin či Alkazid.

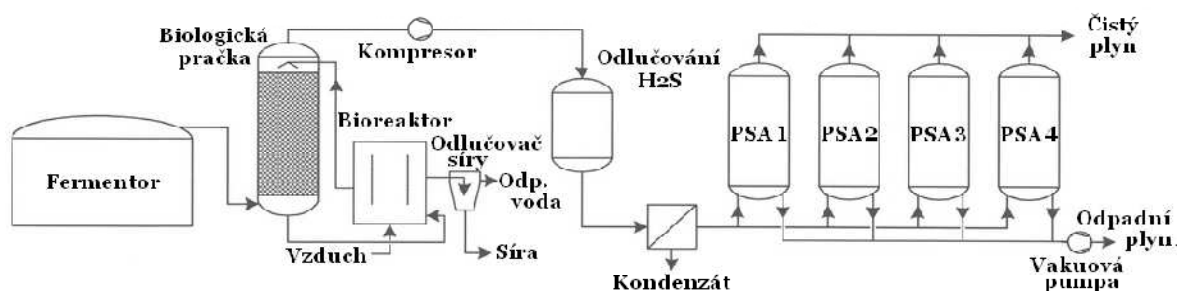
#### Adsorpce

Pro nasazení metody adsorpce v praxi je důležité najít vhodný typ adsorpčního materiálu, který bude schopen za tlaku do 15 bar a za různých podmínek účinně zachycovat CO<sub>2</sub> v dostatečném množství, ale i vhodný způsob regenerace nasyceného adsorbentu, který umožní za přijatelných podmínek získat zpět zachycený CO<sub>2</sub> ve vysoké koncentraci a s co možná nejmenšími ztrátami methanu a zregenerovaný adsorbent opět použít v adsorpčním procesu.

Využití adsorpčních materiálů je vhodné díky jejich jednoduchosti, možnosti aplikace při různých tlacích, snadné regulaci procesu a jednoduché regeneraci adsorbentů.[11]

### Metoda PSA

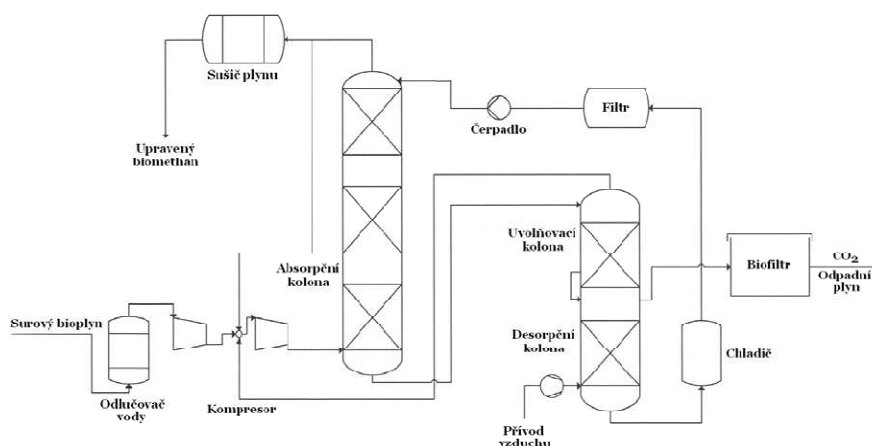
V současnosti se často používá metoda PSA – pressure swing adsorption. Principem této metody je využití selektivních sorbentů, které při zvýšeném tlaku adsorbují oxid uhličitý, který je pak uvolněn snížením tlaku. Ztráty metanu jsou použitím této metody menší než 2%. Schéma této metody pro malé průtoky bioplynu je znázorněno na obr. 9[19]



Obr. č. 9 - Schéma úpravy bioplynu metodou PSA pro malé průtoky plynu  
( $250 \div 500 \text{ m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$ )[19]

### Vodní tlaková vypírka

Vodní tlaková vypírka (také se používá zkratka PWA) je jednou z nejpoužívanějších metod k úpravě bioplynu, vhodná především k odstranění oxidu uhličitého. Princip této metody je založen na rozdílné rozpustnosti metanu a oxidu uhličitého. Na základě amfoterního charakteru prací kapaliny se uvolňují kyselé složky ( $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$ ), ale také basicke komponenty (amoniak) rychleji než nepolární, hydrofobní částice (uhlovodíky). Předností této metody je vysoká flexibilita (množství proleklého plynu, vody, obsah  $\text{CO}_2$ ), kontinuální a automatický provoz, lehká údržba a jako odpadní vodu lze použít odpadní vodu z ČOV. Nevýhodou je vysoká spotřeba energie na uvedení velkého množství vody do oběhu. Schéma vodní tlakové vypírky je uvedeno na obrázku 10.[19]



Obr. č. 10 - Schéma vodní tlakové vypírky [19]

### Membránové separace

Membránové separace jsou důležitou separační technikou, která nachází uplatnění v řadě chemických a biochemických procesů. Zejména pro biotechnologie je tato metoda nepostradatelná, protože umožňuje separace látek za běžných teplot.

Separací membránou rozumíme hmotnou bariéru, působící řízeným způsobem jako překážka průchodu vybraných částic hmoty. Metodou membránových procesů pak je selektivní transport složek systému přes membrány působením *gradientu elektrochemického potenciálu*. Výhodou membránové separace je vysoká účinnost (nad 99%). Jsou energeticky úsporné, provozně levné a prostorově nenáročné. K nevýhodám patří jejich omezená stabilita a citlivost na znečištění.[18]

V současné době se využívají dva základní systémy čištění membránami. Za prvé je to vysokotlaké oddělení plynu s plynnou fází na obou stranách membrány, přičemž vysoký poměr tlaků usnadňuje postup látek přes membránu. Tento postup se především využívá u plynu, který obsahuje 20 – 50 % oddělovaných částic. Druhým způsobem je nízkotlaké kapalně absorpční oddělení plynu. Přes mikroporézní hydrofobní membránu difundují  $\text{CO}_2$  a  $\text{H}_2\text{S}$  z oblasti atmosférického tlaku do vakua, kde jsou absorbovány protiproudě proudící kapalinou. Jako absorpční kapalina pro jímání  $\text{H}_2\text{S}$  se používá hydroxid sodný, pro  $\text{CO}_2$  roztok amínů. Při teplotě 25 – 35 °C je koncentrace sulfanu v surovém plynu z 2 % snížena



na méně než 250 ppm. Tato metoda se používá při nízkých koncentracích oddělovaných částic plynu.[19]

#### Odstraňování vodní páry – sušení bioplynu

Abychom chránili agregáty zhodnocující plyny před vysokým opotřebením a zničením, musí být z bioplynu odstraněna vodní pára. Množství vody, popřípadě vodní páry, které bioplyn může pojmout, je závislé na teplotě plynu. Relativní vlhkost bioplynu činí ve fermentoru 100%, bioplyn je tedy nasycen vodní parou. Ochlazením plynu se oddělí část vodní páry jako kondenzát.

Chlazení bioplynu je často prováděno v plynovodu. Patřičným sklonem (spádem) při pokládání plynovodu je kondenzát sbírán odlučovačem kondenzátu, který je vestaven v jeho nejhlubším bodu. Je-li plynovod veden pod zemí, je chladicí efekt vyšší, předpokladem pro chlazení bioplynu v plynovodu je ovšem jeho dostatečná délka. Při podzemním vedení plynovodu musí být nutně dbáno na to, aby se například poklesem potrubí nevytvořil sifon, který by bránil průchodu bioplynu. Předpokladem je proto dostatečné zhutnění výkopu plynového vedení.

U některých BPS je sušení bioplynu provedeno chlazením v elektricky poháněných plynových chladičích. K minimalizování relativní vlhkosti, avšak ne absolutní vlhkosti, může být plyn po zchlazení opět ohřátý, čímž může být zabráněno tvoření kondenzátu v dalším průběhu plynovodu. [10]

#### Odstranění Siloxanů

Problematika siloxanů v bioplynu se začíná objevovat v posledních deseti letech v souvislosti se stále častějším používáním silanizačních prostředků. Při spalování bioplynu v motorech kogeneračních jednotek se  $\text{SiO}_2$  vylučuje na vnitřních kovových plochách spalovacích prostor, např. na stěnách pístů, hlav válců, na zapalovacích svíčkách, ventilech a na dalších kritických místech. Zajištění dlouhodobého spolehlivého provozu kogeneračních jednotek na bioplyn obsahující siloxany je možné jedině tehdy, jsou-li

siloxany před spálením z bioplynu odstraněny na koncentrace pod  $1 \text{ mg}\cdot\text{m}^{-3}$ . Při spalování bioplynu ve spalovacích motorech kogeneračních jednotek vzniká oxidací siloxanů oxid křemičitý v podobě velmi jemného prášku, který se usazuje na stěnách spalovacích prostor motorů a dostává se také do mazacího oleje a tím zhoršuje jeho mazací vlastnosti. Po určité době provozu může dojít k zadření některého z válců motoru s možnými nepříjemnými důsledky vedoucími až ke zničení motoru vlivem mechanického poškození bloku. [11]

Možným způsobem odstraňování organokřemičitých sloučenin křemíku z bioplynu je adsorpce na vhodných adsorpčních materiálech, jako např. aktivní uhlí či podobné uhlíkaté absorbenty. Výhodou u použití aktivního uhlí je současné odstraňování sulfanu. [20]

skupina	chemické typy látek	stabilita	možnost nálezu v BP
A	silany, alkylsilany, dialkylsilany, silylether (disiloxan)	velmi nízká (pyroforické a explozivní látky)	prakticky nulová
B	trialkylsilany, tetraalkylsilany, estery křemičitých kyselin, alkoxyasilany, Si-heterocykly bezkyslíkaté	střední až vysoká	velmi malá, zatím nejsou prokázány ani zdroje, ani prekurzory, ani reakční mechanismy
C	siloxany lineární, spiroxiloxany Si-O cykly, siloxany cyklické	střední až vysoká	reálná, ale dosud výskyt neprokázán, existují prekurzory, zdroje i možné reakční mechanismy
D	siloxany cyklické $n = 3-5$ , siloxany lineární $n = 2$	vysoká	nalezeny a analyticky potvrzeny

Tab. č. 2 - Rozdělení organokřemičitých látek podle možného výskytu v bioplynu [3]

### 3.2.2 Zařízení na úpravu bioplynu na kvalitu zemního plynu (biometanu)

Ve většině bioplynových stanic, které využívají bioplyn v kogeneračních jednotkách, dochází ke ztrátám až dvou třetin energie obsažené v bioplynu, vznikajících tím, že odpadní teplo z kogeneračních jednotek není značnou část roku využito. Jednou z možností lepšího energetického využití bioplynu je jeho vyčištění na kvalitu zemního plynu a jeho další využití jako pohonu motorových vozidel, nebo jeho vtlačování do distribuční sítě.

Odseparovaný plyn s obsahem metanu vyšším než 95 % je komprimován a dnes je v Evropě využíván např. k pohonu více než 10.000 nákladních automobilů a autobusů spolu s fosilním zemním plynem.[27]

### **Zařízení na úpravu bioplynu na kvalitu paliva typu zemního plynu – patent VÚZT**

V ČR tuto problematiku řešil Výzkumný ústav zemědělské techniky (VÚZT) pod vedením Ing. Jaroslava Káry CSc. a Ing. Jaroslava Kouďi. V r. 2010 získal patent č. 21505 na zařízení, které řeší úpravu surových plynů na kvalitu motorového paliva pro zážehové motory (typ H) ve smyslu požadavků ČSN 65 6514 a zabezpečuje v případě požadavku uživatele i další doplňkové funkce jako:

- zkapalňování vyčištěného plynu,
- skladování vyčištěného plynu,
- plnění plynu do motorových vozidel a mobilních přepravníků,
- regulování tlaku plynu pro jeho spotřebu v rámci (jako součást) spotřeby zemního plynu.

Zařízení zvyšuje objem  $\text{CH}_4$ , snižuje objem  $\text{CO}_2$ , vlhkost ( $\text{H}_2\text{O}$ ), obsah příměsí síry ( $\text{H}_2\text{S}$ ),  $\text{N}_2$  ( $\text{NH}_3$ ) popř.  $\text{O}_2$ , na požadované parametry paliv pro zážehové motory.

Objem  $\text{CH}_4$  se zvyšuje a  $\text{CO}_2$  snižuje tlakováním, vlhkost ( $\text{H}_2\text{O}$ ) je odstraňována adsorpcí v náplni krystalického  $\text{CaCl}_2$ , obsah příměsí síry ( $\text{H}_2\text{S}$ ) se odlučuje hydratovaným oxidem železitým  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{N}_2$  ( $\text{NH}_3$ ) a zbytky  $\text{CO}_2$  jsou odstraňovány v náplni zeolitu.

Výsledný produkt je plyn natlakovaný na 20 MPa (200 bar), popř. zkapalněný plyn. [29]

Tabulka č. 3 udává vstupní a výstupní hodnoty v zařízení na úpravu bioplynu.

Obsah/vlastnost	Před úpravou	Po úpravě	
	Průměrné hodnoty dle průzkumu BPS	Průměrné hodnoty po úpravě dle ČSN 65 6514 (Typ H)	
CH <sub>4</sub>	55 (40) %	min. 95 %	
CO <sub>2</sub>	33 (55) %	2.5 %	
H <sub>2</sub> S	1500 až 3000 mg·m <sup>-3</sup>	10 mg·m <sup>-3</sup>	
Vodní pára	7 (10) %	32 mg H <sub>2</sub> O·m <sup>-3</sup>	
N <sub>2</sub> (NH <sub>3</sub> )	0.85 (1.8) %	max. 20 mg·kg <sup>-1</sup>	
O <sub>2</sub>	0.3 %	max. 1 %	
CO <sub>2</sub> +N <sub>2</sub> +O <sub>2</sub>		max. 5 %	
		min.	max.
Výhřevnost		43.9 MJ·m <sup>-3</sup>	47.3 MJ·m <sup>-3</sup>
		95% (V/V)	99% (V/V)
Oktanové číslo		130	

Tab. č. 3 – Hodnoty upraveného bioplynu [29]

### 3.3 Napojení výrobců biometanu na distribuční síť

V současné době není v ČR vzhledem k finanční náročnosti technologie čištění bioplynu na kvalitu zemního plynu žádná bioplynová stanice napojena na distribuční síť zemního plynu. Nicméně po technické stránce jsou již dnes distributoři zemního plynu připraveni na připojení za předpokladu dodržení následujících požadavků na dodavatele biometanu:

- pořízení napájecího zařízení pro připojení výroby biometanu na distribuční soustavu, obsahující dálkově ovládaný uzávěr, jistící prvky, plynoměr a odorizační zařízení. Dále ústřednu telemetrie pro příjem a předávání údajů o kvalitě biometanu získaných od výrobce, množství vtlačného plynu a dalších údajů z napájecího zařízení potřebných pro provoz dispečinku,
- odpovědnost za provoz technologie je odvozována od jejího vlastnictví. Dělicím místem je výstupní příruba armatury nebo první obvodový svar za armaturou ve směru toku plynu. Napájecí zařízení je provozováno dle *TPG 905 01, část VI*
- výrobce biometanu má oznamovací povinnost ohledně odstávek a obnovení dodávek biometanu do napájecího zařízení,
- požadavky na „standardní biometan“ – obecně je možné připojit výrobu biometanu k distribuční soustavě, musí však být dodrženy kvalitativní parametry biometanu ve

smyslu *TPG 902 02, Změna 1, Tab. 3b*. Za kvalitu biometanu dodávaného do napájecího zařízení odpovídá výrobce biometanu. Výrobce je povinen dodat do napájecího zařízení pouze biometan, který fyzikálně i chemicky odpovídá požadavkům stanoveným tímto předpisem. Chemické složení standardního biometanu je kontrolováno měřením na plynovém chromatografu on-line ve vzorkových intervalech po 15 minutách,

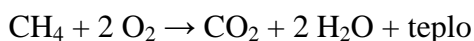
- měření objemu standardního biometanu je prováděno v napájecím zařízení stanoveným měřidlem ve správě a provozu distribuční soustavy,
- minimální hodnota tlaku na vstupu do napájecího zařízení je stanovena individuálně tak, aby tento přetlak překonal tlakovou ztrátu napájecího zařízení (cca 100 kPa) a aby zajistil tlakový spád na vstupu do distribuční soustavy alespoň 200 kPa. Maximální tlak na vstupu do napájecího zařízení je minimální tlak +300 kPa,
- dimenzování těžebního plynovodu je závislé na výkonu výroby biometanu. Pro účel dimenzování je důležitý údaj rychlosti proudění v plynovodu, která by neměla překročit  $7 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ ,
- teplota vstupujícího biometanu je smluvně stanovena mezi výrobcem biometanu a provozovatelem distribuční sítě a musí se pohybovat mezi  $+3^{\circ}\text{C} \div +30^{\circ}\text{C}$ ,
- na vstupu do napájecího zařízení je požadována filtrace mechanických nečistot (filtr s odlučivostí alespoň 1 mikron),
- při přípravě smluvního zajištění jsou řešeny otázky zásobování napájecího zařízení el. energií. Pro případ typového zařízení je odhadována el. přípojka s potřebným příkonem do 2 kW. Dále možnost připojení napájecího zařízení na zemnicí soustavu výrobce biometanu a propojení bleskosvodu. Předpokládané rozměry napájecího zařízení jsou  $2 \times 4 \text{ m}^2$ . Výrobce biometanu umožní umístění napájecího zařízení mezi výrobnou biometanu a těžebním plynovodem. Výrobce biometanu zajistí přístupovou komunikaci pro příjezd pracovníků distribuční sítě. Výrobce biometanu umožní pracovníkům distribuční sítě a jejich dodavatelům neomezený přístup k napájecímu zařízení. [28]

### 3.4 Spalování bioplynu

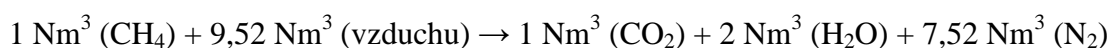
Bioplyn je možné využívat jako palivo ve všech plynových spotřebičích přizpůsobených bioplynu. Přímé spalování bioplynu tak slouží k vaření, svícení, ohřevu vody, chlazení, topení, sušení apod. Téměř všichni výrobci hořáků nabízejí modifikace určené na spalování bioplynu. Běžné typy kotlů žádné speciální úpravy nepotřebují.

Pokud bioplyn obsahuje vysoký obsah sirnatých sloučenin, především sulfan  $\text{H}_2\text{S}$ , je třeba je odstranit nebo provádět častější kontrolu a čištění teplosměnných ploch kotle a komínů.

Stechiometrická rovnice úplného spálení  $1\text{Nm}^3$  metanu ( $\text{CH}_4$ ):



To znamená, že hořením směsi metanu se vzduchem se vytváří nová směs plynů:



(Jednotka  $\text{Nm}^3$  znamená normální krychlový metr, tj.  $1 \text{ m}^3$  plynu při teplotě  $15^\circ\text{C}$  a tlaku  $101,325 \text{ kPa}$ .)

Pro hoření metanu z bioplynu, jehož podíl je  $\alpha$ , platí:



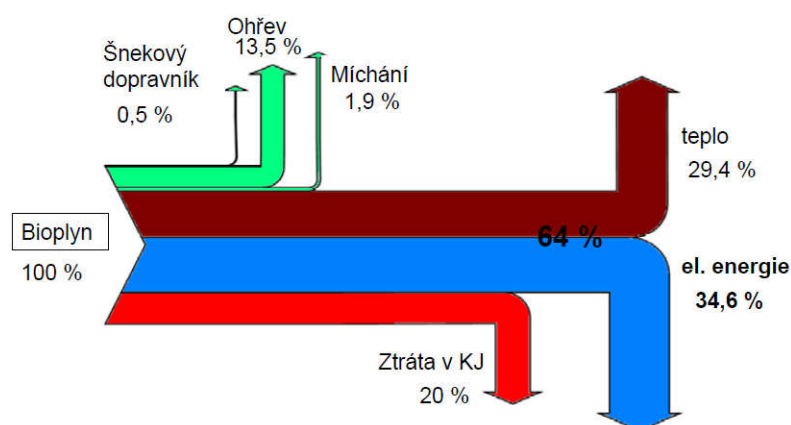
Konečné množství oxidu uhličitého  $\text{CO}_2$  bude větší a podíl, který se do směsi plynů dostane jako druhá majoritní složka bioplynu je  $(1 - \alpha) \text{ Nm}^3 \text{ BP}$ .

Ve skutečnosti plynu hoří ve směsích s mírným přebytkem kyslíku  $\text{O}_2$ , respektive vzduchu, a to přibližně asi o 10%.

Největším problémem při spalování bioplynu je jeho kvalita a stálost energetických parametrů, které mohou ovlivnit funkci spotřebiče.[6]

### 3.5 Kogenerace a trigenerace

Kogenerace, neboli kombinovaná výroba energií je společná produkce energií přeměněných z primární formy v transformačních řetězcích a připravených k využití u spotřebitele. Nejčastěji se jedná o energii elektrickou a tepelnou. Společná transformace primárních energií na energii elektrickou a tepelnou probíhá v energetických výrobnách – kogeneračních jednotkách (KJ).



Obr. č. 11 – Energetické toky při využití bioplynu v KJ [40]

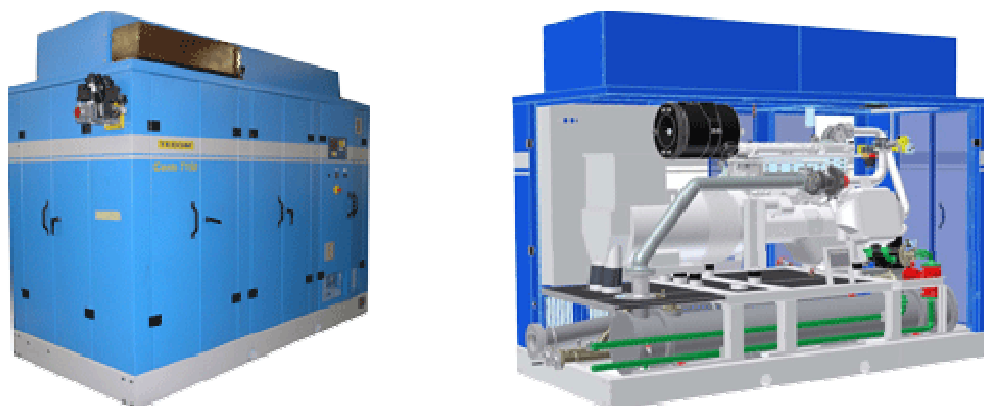
Kogenerační jednotka se skládá ze čtyř částí:

- zařízení pro úpravu primárního zdroje energie (paliva), které upravuje parametry vstupní formy energie na hodnoty, se kterými následně pracuje primární jednotka,
- primární jednotky (primárního motoru), která je nejdůležitější částí kogenerační jednotky. V ní dochází k přeměně energie obsažené v palivu na ušlechtlejší formu energie, a to buď elektrickou, nebo mechanickou (může se jednat o tepelný motor, nebo palivový článek),
- zařízení pro výrobu a úpravu elektrické energie - to může být dvojího druhu, jednak elektrický generátor, přeměňující mechanickou energii vyrobenou tepelným motorem na elektrickou a jednak elektrický kondicionér, který se používá v případě, kdy je nutné změnit frekvence el. proudu, nebo provést transformaci střídavého proudu na stejnosměrný,
- zařízení pro rekuperaci tepelné energie, které transformuje odváděný tepelný výkon z kogenerační jednotky na požadované parametry a formu. Nejběžnějšími teplonosnými

médii vystupujícími z rekuperačních výměníků jsou nízkoteplotní voda o teplotě do 100°C, vysokoteplotní voda o teplotě 150°C ÷ 200°C, vodní pára a teplý vzduch. [32]

Na výrobu 1kW·h<sub>e</sub> je třeba přivést do kogenerační jednotky 0,6 ÷ 0,7 m<sup>3</sup> bioplynu s průměrným obsahem metanu CH<sub>4</sub> ≈60%. V provozu v praxi je dle hrubého výpočtu zapotřebí zhruba 5 až 7 kg biomasy, 5 až 15 kg komunálního odpadu, 8 až 12 kg chlévské mrvy nebo 4 až 7 m<sup>3</sup> tekutých komunálních odpadů k výrobě 1kW·h<sub>e</sub>. [6]

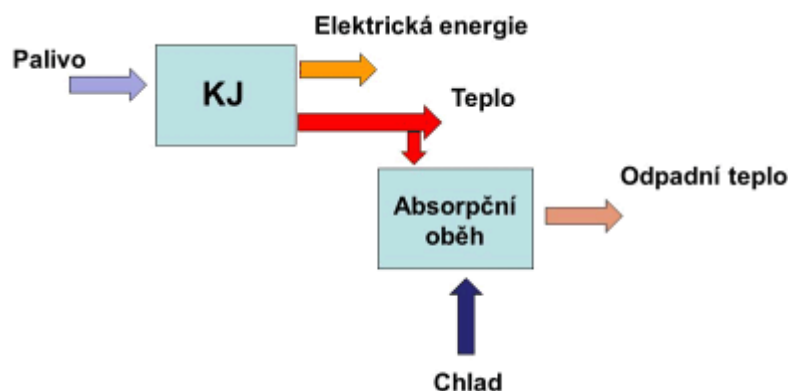
V ČR se na trhu kogeneračních jednotek vyskytuje hned několik firem zabývajících se jejich vývojem, výrobou či prodejem, a to jak zahraničních (GE Jenbacher, Dreyer & Kraftwerke GmbH, Motorgas), tak českých (TEDOM). Firma TEDOM se zabývá jak prodejem kogeneračních jednotek na zemní plyn, tak i na bioplyn ze zemědělské výroby, skládkový plyn, kalový plyn, ale i důlní plyn.



Obr. č. 12 – Kogenerační jednotka TEDOM [36]

Trigenerace je pak kombinovaná výroba elektřiny, tepla a chladu, tedy spojení kogenerační jednotky s absorpční chladicí jednotkou. Toto spojení je výhodné např. z pohledu ekonomiky provozu kogenerační jednotky, kdy se snažíme o její max. roční využití a v letních měsících namísto často nepotřebné výroby tepla vyrábíme chlad. Kogenerační jednotka tedy může naplno pracovat i přes léto a vyrobený chlad lze použít nejčastěji pro klimatizaci budov. [33]





Obr. č. 13 – Zobrazení energetických toků v trigenerační jednotce [33]

### 3.6 Mikroturbíny

Jednou z možností, jak přeměnit bioplyn vznikající při skládkových procesech nebo při řízené fermentaci biologického odpadu v elektrickou energii a teplo, je použití mikroturbín místo klasických kogeneračních jednotek sestavených ze soustrojí spalovacího pístového motoru a generátoru. V USA či Evropě se používají např. na čističkách odpadních vod, skládkách odpadů či v zemědělských provozech. V ČR jsou podobně využívány zatím především spalovací motory.

Oproti spalovacím plynovým motorům mají mikroturbíny několik výhod. Jsou prakticky bezúdržbové, tedy nevyžadují vysoké náklady na provoz. Jejich emise jsou proti plynovým motorům mnohem nižší. Je to dáno stabilním spalovacím procesem, který může trvat nepřetržitě několik měsíců. Turbíny jsou méně hlučné, nevibrují a jejich hlukové spektrum obsahuje převážně vysoké kmitočty, které se snadněji odstraňují pomocí akustických podhledů, stropů a podobně. Jsou mechanicky neporovnatelně jednodušší, mají zpravidla jen jeden pohyblivý díl – rotor, na němž jsou jak lopatková kola spalovací části, tak i vzduchového kompresoru, jakož i vysokorychlostní generátor. S tím souvisí jednak nižší váha i menší rozměry a jednak menší potřeba náhradních dílů.

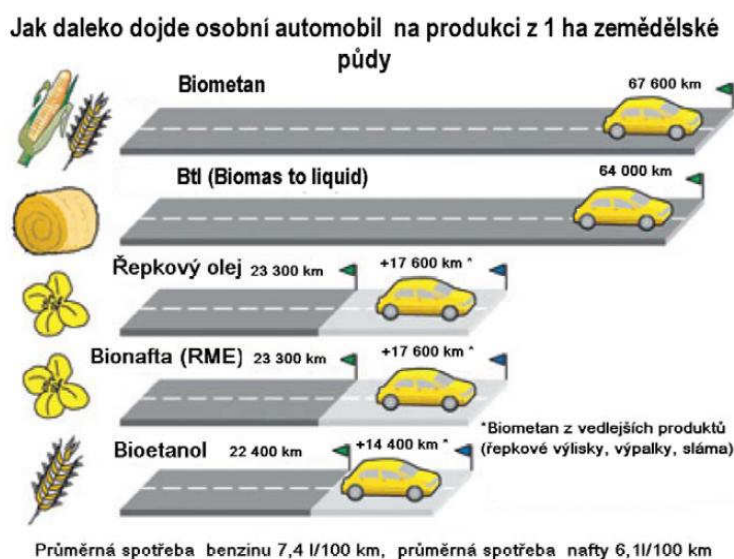
Jejich nevýhodou však zatím zůstává vyšší pořizovací cena, která by ale měla s postupným širším uplatňováním a využíváním mikroturbín ve světě i v Evropě klesat. [32]

### 3.7 Pohon motorových vozidel

Mezi hlavní argumenty používání biometanu jako pohonné látky pro motorová vozidla patří především ekologické důvody. Alternativní plynná paliva představují obecně proti klasickým palivům na ropné bázi - benzínu či naftě menší zátěž pro ovzduší. A to jak z hlediska hodnot GHG emisí, tak i dalších anorganických a organických škodlivin obsažených ve výfukových plynech spalovacích motorů - oxidu uhelnatého (CO), oxidu dusíku (NO<sub>x</sub>), celkových uhlovodíků (HC), částic (PM) a minoritních organických sloučenin s vysokým rizikovým potenciálem (např. polyaromatické uhlovodíky, aldehydy, alkeny). Výhodou plyných paliv je také skutečnost, že v případě jejich úniku nepředstavují zátěž pro vodní zdroje a půdu. [30]

V Evropě používá pohon na biometan několik zemí, např. Švédsko, Švýcarsko, Německo, Rakousko a Španělsko. Mezi velká města v Evropě, která využívají biometan jako palivo v městské hromadné dopravě patří např. Lille, Stockholm či Bern. Limitované kapacity čistírenských provozů a rostoucí počet motorových vozidel jezdících na stlačený (zemní) plyn nicméně vedou k využívání dalších vhodných surovin pro výrobu biometanu, jako jsou nejrůznější bioodpady či i záměrně pěstované suroviny. Takto jsou řešeny nedávno dokončené projekty na využití bioplynu v dopravě v německém Berlíně, španělském Madridu či rakouském Margarethen am Moos. Ve švédském Linköpingu na biometan funguje motorový vlak. [31]

V České republice se však zatím bioplyn v dopravě nevyužívá. Jako palivo se používá pouze zemní plyn, a to buď jako stlačený plyn – CNG, nebo zkapalněný plyn – LNG. Jistou bariérou vzniku prvních zařízení na výrobu biometanu (pro jeho dodávku do plynovodní sítě zemního plynu) jsou v české legislativě zatím nevyjasněné vlastnické vztahy k zařízení připojovacího místa a financování nákladů na jeho instalaci a provoz. Kvalita biometanu by se pak měla řídit nařízením TPG 902 02 a normou ČSN 65 6514. [31] Na obrázku č. 9 je zdokumentováno, kolik motorových paliv nahradí 1 Nm<sup>3</sup>.



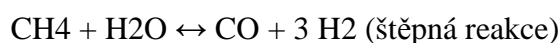
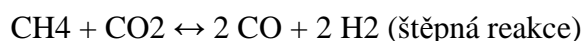
Obr. č. 14 – Dojezd osobního automobilu na produkci z 1ha zemědělské půdy [2]

### 3.8 Výroba biovodíku

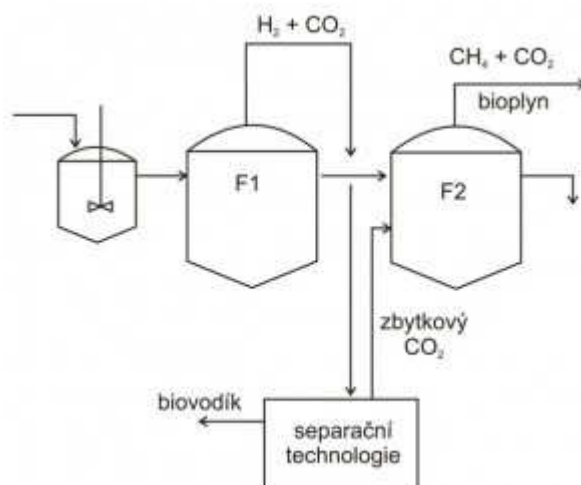
Vodík je ideálním ekologickým palivem pro všechny druhy použití, jeho spalováním vzniká pouze voda a není emitován žádný oxid uhličitý. Zvláště důležitou je aplikace vodíku v palivových článcích, které m.j. umožňují i provoz naprosto „bezemisních“ vozidel (ZEV – Zero Emission Vehicles), poháněných systémem vodíkový zásobník – palivový článek – trakční pohon elektromotorem. Všeobecně skýtá vodík jako palivo dvě hlavní výhody:

- při jeho využití nevznikají skleníkové plyny ani jiné škodlivé produkty
- vyznačuje se vysokým obsahem energie ( $120 \text{ kJ} \cdot \text{g}^{-1}$ ).

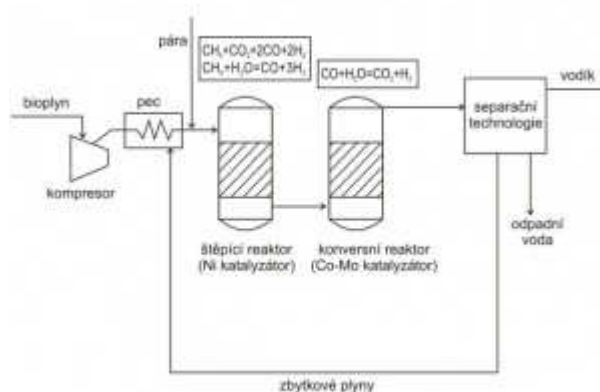
Biovodík by bylo možno vyrábět z bioplynu i chemickými postupy:



Tento postup je ale technologicky náročný a mohl by se uplatnit jen u velkých jednotek. V konečném stavu však tyto reakce vždy produkují zbytkový  $\text{CO}_2$ , který je nutno z vodíku odstranit. [12]



Obr. č. 15 - Výroba vodíku v anaerobní fermentaci [12]



Obr. č. 16 - Chemická konverze bioplynu na vodík [12]

Jednou z možností, jak vyrábět ekologicky přijatelný tzv. „bezemisní“ vodík, která však v dnešní době ještě prochází výzkumně vývojovým stadiem, jsou biotechnologické procesy zajišťující výrobu vodíku buď v postupech využívajících fotosyntézu („světelné“ postupy), anebo v postupech acidogenních biochemických rozkladů. [3]

Výzkum a vývoj v oboru biotechnologií zabývajících se výrobou vodíku sleduje dvě základní cesty i jejich kombinace. Jedna z cest je oddělená anaerobní fermentace v tzv. acidogenních procesech, což je vlastně jen procesně oddělený primární krok, vedoucí jinak k výrobě methanem bohatého bioplynu. Druhá cesta je orientována na rozklad vody, uskutečňovaný některými fotosyntetizujícími mikroorganismy. Metody využívající mikroorganismy pak jsou buď světelné, nebo nesvětelné. Nejvíce studií se pak věnuje světelným metodám, konkrétně ftoheterotrofickým fermentacím, u nichž bylo nejlepších

výsledků dosaženo s pomocí bakterií rodu *Rhodopseudomonas* a *Rhodobacter*. Nevýhoda světelných procesů však tkívá právě v nutnosti dodávat světlo. Pro příznivý průběh procesu je pak vhodný vysoký obsah sacharidů.[3]

Dnes se předpokládá, že se budou v budoucnu ve velkém množství využívat palivové články fungující právě na vodík. V palivovém článku se generuje elektrický proud způsobem, který se podobá opačnému průběhu elektrolýzy, proto je i polarita u palivového článku obrácená. V případě, že není k dispozici čistý  $H_2$ , jako tomu je u bioplynu, který je směsí majoritních plynů (oxidu uhličitého  $CO_2$ , metanu  $CH_4$ , vodní páry  $H_2O$ ), oddělí se procesem zvaným reformíng bioplynu bioplynu vodík ( $H_2$ ) a oxid uhličitý ( $CO_2$ ) ke katodám, které jsou umístěny v elektrolytu. Proud elektronů chemicky vázaných ( $CO_3^{2-}$ )( $CO_3^{2-}$ ) putuje elektrolytem palivového článku od katody k anodě a po jejich uvolnění vodičem z anody zpět ke katodě jako elektrický proud. V tomto chemickém procesu se z 1kg vodíku ( $H_2$ ) vytvoří 9kg vodní páry ( $H_2O$ ) vypouštěné do atmosféry. [6]

#### **4. Ekonomické hodnocení možností realizovatelných v ČR**

Investiční náklady běžné bioplynové stanice (BPS) zemědělského typu v technologii mokré fermentace střední velikosti lze odhadnout na cca 100.000,- Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu.

Při realizaci komunální BPS zpracovávající BRKO a jiné bioodpady je však třeba uvažovat se zařazením následujících celků nezbytně nutných pro provoz zařízení:

- hala pro příjem odpadů vybavená vzduchotechnikou a biofiltrem
- linka příjmu a separace bioodpadů
- linka hygienizace
- separace digestátu a řešení jeho skladování

Investiční náročnost takto vybavené technologie mokré anaerobní fermentace proti klasické zemědělské bioplynové stanici může být i více než dvojnásobná a pohybovat se v řádu 200.000,- až 250.000,- Kč na 1 kW instalovaného elektrického výkonu. Obecně platí, že čím nižší velikost stanice, tím měrné investiční náklady rostou. Důvodem je především

vysoká cena zařízení na zpracování a třídění bioodpadů, náročnější separace a skladování či zpracování výstupů.

Příjmy z provozu BPS jsou tvořeny především poplatkem za využití/zpracování bioodpadů, prodejem elektřiny a prodejem tepla. U prodeje elektřiny je třeba uvážit možnosti uplatnění tzv. garantované výkupní ceny či režimu tzv. zelených bonusů dle platné legislativy (v současnosti dle rozhodnutí ERÚ č. 7/2011). V případě výroby tepla je dále možné požádat o podporu tzv. kombinované výroby u Ministerstva průmyslu a obchodu ČR. [41]

Obecně pro bioplynové stanice platí, že doba návratnosti investice do 5 let je velmi dobrá a do 10 let přijatelná. Po 15 letech provozu dosáhne většina hlavních prvků bioplynové stanice své životnosti a je potřeba počítat s vyššími náklady na opravy a údržbu.

Při vhodném materiálovém složení vsázky, odpovídající skladbě technického vybavení bioplynové stanice a především při možnosti využití obou produktů procesu může být anaerobní digesce ekonomicky efektivním způsobem zpracování zbytkové biomasy s pozitivními dopady pro životní prostředí. Obzvláště přínosné může být spojení této technologie se zemědělstvím, kde vzniká velké množství vedlejší produkce biologického původu a zároveň poskytuje možnosti využití tuhého zbytku po fermentaci jako organického hnojiva. [42]

## **5. Legislativní prostředí výroby a využití bioplynu v ČR – vybrané zákony**

- Zákon č. 458/2000 Sb., energetický zákon v platném znění  
Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství, zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Evropských společenství a upravuje podmínky podnikání, výkon státní správy a regulaci v energetických odvětvích, kterými jsou elektroenergetika, plynárenství a teplárenství, jakož i práva a povinnosti fyzických a právnických osob s tím spojené.[21]

- Zákon 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů energie v platném znění  
Upravuje v souladu s právem EU způsob podpor v závislosti na druhu technologie a v případě projektů energetického využití biomasy i v závislosti na druhu zpracovávané biomasy. Tento zákon je upravován vyhláškami č. 475/2005 Sb., kterou se provádějí některá ustanovení zákona o podpoře a využívání obnovitelných zdrojů, Vyhláškou 482/2005 Sb., o stanovení druhů, způsobů využití a parametrů biomasy při podpoře výroby elektřiny z biomasy, ve znění Vyhlášky 5/2007 Sb. a Vyhláškou 502/2005 Sb., o stanovení způsobu vykazování množství elektřiny při společném spalování biomasy a neobnovitelného zdroje. [13]
- Zákon č. 183/2006 Sb., stavební zákon v platném znění  
Podle §83 tohoto zákona je možné požádat stavební úřad o vyhlášení ochranného pásma, s návrhem na vydání územního rozhodnutí (ochrana provozovatele).  
Doporučená vzdálenost pro BPS je 300 – 800 m s ohledem na územní plánování rodinné výstavby. [13]
- Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí v platném znění  
Zákon v souladu s právem Evropských společenství upravuje posuzování vlivů na životní prostředí a veřejné zdraví (dále jen „posuzování vlivů na životní prostředí“) a postup fyzických osob, právnických osob, správních úřadů a územních samosprávných celků (obcí a krajů) při tomto posuzování.  
Posuzování vlivů na životní prostředí podléhá v tomto zákoně vymezené záměry a koncepce, jejichž provedení by mohlo závažně ovlivnit životní prostředí.  
Účelem posuzování vlivů na životní prostředí je získat objektivní odborný podklad pro vydání rozhodnutí, popřípadě opatření podle zvláštních právních předpisů, a přispět tak k udržitelnému rozvoji společnosti. [22]
- Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů v platném znění  
Účelem tohoto zákona je chránit povrchové a podzemní vody, stanovit podmínky pro hospodárné využívání vodních zdrojů a pro zachování i zlepšení jakosti

povrchových a podzemních vod, vytvořit podmínky pro snižování nepříznivých účinků povodní a sucha a zajistit bezpečnost vodních děl v souladu s právem Evropských společenství. Účelem tohoto zákona je též přispívat k zajištění zásobování obyvatelstva pitnou vodou a k ochraně vodních ekosystémů a na nich přímo závislých suchozemských ekosystémů.

Zákon upravuje právní vztahy k povrchovým a podzemním vodám, vztahy fyzických a právnických osob k využívání povrchových a podzemních vod, jakož i vztahy k pozemkům a stavbám, s nimiž výskyt těchto vod přímo souvisí, a to v zájmu zajištění trvale udržitelného užívání těchto vod, bezpečnosti vodních děl a ochrany před účinky povodní a sucha. V rámci vztahů upravených tímto zákonem se bere v úvahu zásada návratnosti nákladů na vodohospodářské služby, včetně nákladů na související ochranu životního prostředí a nákladů na využívané zdroje, v souladu se zásadou, že znečišťovatel platí.[23]

- Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších předpisů novelizován jako 180/2007 Sb. v platném znění

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství 1), zároveň navazuje na přímo použitelné předpisy Evropských společenství 1a), 1b) a upravuje

a) práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně vnějšího ovzduší před vnášením znečišťujících látek lidskou činností,

b) podmínky pro další snižování množství vypouštěných znečišťujících látek působících nepříznivým účinkem na život a zdraví lidí a zvířat, na životní prostředí nebo na hmotný majetek,

c) práva a povinnosti osob a působnost správních úřadů při ochraně ozonové vrstvy Země před nepříznivými účinky regulovaných látek a při ochraně klimatického systému Země před nepříznivými účinky fluorovaných skleníkových plynů a další nástroje ke snižování množství látek ovlivňujících klimatický systém Země.[24]

- Zákon 185/2001 Sb. o odpadech v platném znění

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství a upravuje:

a) pravidla pro předcházení vzniku odpadů a pro nakládání s nimi při dodržování ochrany životního prostředí, ochrany lidského zdraví a trvale udržitelného rozvoje a



při omezování nepříznivých dopadů využívání přírodních zdrojů a zlepšování účinnosti tohoto využívání,

b) práva a povinnosti osob v odpadovém hospodářství a

c) působnost orgánů veřejné správy v odpadovém hospodářství [14]

- Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech v platném znění

Tento zákon stanoví podmínky pro uvádění do oběhu a pro používání hnojiv, statkových hnojiv, pomocných půdních látek, pomocných rostlinných přípravků a substrátů, pro agrochemické zkoušení zemědělských půd, zjišťování půdních vlastností lesních pozemků, jakož i působnost orgánů odborného dozoru nad dodržováním povinností stanovených tímto zákonem včetně oprávnění ukládat sankce.

Tento zákon se nevztahuje na

a) hnojiva, pomocné půdní látky, pomocné rostlinné přípravky a substráty, které jsou určeny výhradně pro vývoz a jsou takto zřetelně označeny,

b) hnojiva, pomocné půdní látky, pomocné rostlinné přípravky a substráty poskytované v množství nezbytném pro účely výzkumu, vývoje a pokusnictví,

c) hnojiva určená k použití jako suroviny k dalšímu zpracování,

d) směsi hnojiv.

Ustanovení tohoto zákona se použijí na statková hnojiva jen tehdy, je-li to v nich výslovně uvedeno a v rozsahu jimi stanoveném.[25]

- Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů v platném znění

Tento zákon zpracovává příslušné předpisy Evropských společenství 1) a upravuje

a) požadavky na složení a jakost pohonných hmot a sledování a monitorování složení a jakosti prodávaných pohonných hmot,

b) prodej a výdej pohonných hmot,

c) evidenci čerpacích stanic pohonných hmot.[26]

## **6. Závěr**

Výroba a využití bioplynu v ČR se ukazuje jako dynamicky se rozvíjející odvětví jak v průmyslu, tak ve výzkumu. Je jasné, že energie, ať již tepelná či elektrická, vyrobená z bioplynu bude mít do budoucna stále větší podíl na celkové spotřebě energie, spolu s energií vyrobenou z fosilních paliv a energií atomovou.

Ve srovnání s členskými státy EU je Česká Republika jak v produkci bioplynu, tak ve výrobě energie z něj naprosto konkurenceschopná. Bohužel se ještě veškerý potenciál bioplynu v ČR nedá využít, nikoli z technologických důvodů, ale spíše z důvodů finančních. V nejbližších letech by měl být vyčištěný bioplyn využíván nejen jako alternativní palivo pro pohon motorových vozidel, ale také vtlačěn do veřejné distribuční plynové sítě. Obě možnosti jsou již odzkoušeny a připraveny, jakmile to bude ekonomicky možné.

Celkově se tedy dá říci, že výroba a využití bioplynu v ČR je na velmi dobré úrovni s potenciálem se dále rozvíjet, zlepšovat tak životní prostředí, usnadňovat nakládání s odpady a s ohledem na vyčerpatelnost fosilních paliv je částečně, či úplně nahradit.

## **7. Použitá literatura:**

- 1 Schulz H., Eder B.; Bioplyn v praxi; 2004; 1. Vyd.; Ostrava-Plesná; ISBN 80-86167-21-6.
- 2 Kára J., Pastorek Z., Příbyl E. a kol.; Výroba a využití bioplynu v zemědělství; 2007; 1. vyd.; Praha; ISBN 978-80-86884-28-8.
- 3 Straka F. a kol.; Bioplyn; 2006; II. rozšířené vydání; Praha; ISBN 80-7328-090-6.
- 4 V Česku přibývá bioplynových stanic, je jich přes 230; Enviweb.cz [online]; 14.12.2011; (CIT 21. 1. 2012); dostupné z <http://www.enviweb.cz/clanek/bioplynky/89437/v-cesku-pribyva-bioplynovych-stanic-je-jich-pres-230>.
- 5 Kára J., Mužík O.; Rozvoj bioplynových technologií v podmínkách ČR; 2010; Praha.
- 6 Pastorek Z., Kára J., Jevič P.; Biomasa obnovitelný zdroj energie; 2004; FCC PUBLIC; ISBN 80-86534-06-5.
- 7 Eru.cz; [online]; [cit. 2012-02-03]; dostupné z [http://www.eru.cz/dias-read\\_article.php?articleId=1077&highlight=bioplyn](http://www.eru.cz/dias-read_article.php?articleId=1077&highlight=bioplyn) .
- 8 Jelínek M.; Malé zemědělské stanice – možnost uplatnění ATEKA a.s.; 2007.
- 9 Jeníček P.; Produkce bioplynu z průmyslových odpadních vod; Biom.cz; 5. 9. 2005 [cit. 18. 1. 2012]; dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/produkce-bioplynu-z-prumyslovych-odpadnich-vod>; ISSN: 1801-2655.
- 10 Kolektiv autorů; Průvodce výrobou a využitím bioplynu; 2009; Praha; ISBN 978-80-903777-5-2.
- 11 Vrbová V., Procházková A., Ciahotný K.; Separace nežádoucích látek z bioplynu; 2010; sborník Bioplyn 2010; ISBN 978-80-7328-224-0.
- 12 Straka F., Doucha J.; Nové možnosti energetického využití bioplynu; Biom.cz; [online]; 11. 7. 2011 [cit. 31. 1. 2012]; dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nove-moznosti-energetickeho-vyuziti-bioplynu>; ISSN: 1801-2655.
- 13 Tluka P., Šafařík M., Habart J.; Expertní systém pro bioplyn : Legislativa založení a provozu bioplynových stanic; Biom.cz; [online]; 10. 6. 2008; [cit. 24. 1. 2012]; dostupné z: <http://expert.biom.cz/bioplyn.stm>>; ISSN: 1801-2655.

- 14 Zákon č. 185/2001, o odpadech a změně některých dalších zákonů; Mzp.cz; [online]; [CIT 24. 1. 2012], dostupné z:  
[http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/\\$file/185-01%20-%20odpady.pdf](http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8FC3E5C15334AB9DC125727B00339581/$file/185-01%20-%20odpady.pdf).
- 15 Senát poslal „zelený“ metan zpět poslancům. Byl moc drahý; Membrain.cz; [online]; článek MF Dnes; 12. 1. 2012; [CIT 2. 2. 2012]; dostupné z:  
[http://www.membrain.cz/files/iDNES\\_12.1.2012\\_biometan.pdf](http://www.membrain.cz/files/iDNES_12.1.2012_biometan.pdf).
- 16 Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice; Biom.cz; [online]; 18. 12. 2012; [cit. 4. 2. 2012]; dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-cilanky/spolehliva-a-overena-technologie-bioplynove-stanice>; ISSN: 1801-2655.
- 17 Kazda R.; Projekt bioplynové stanice; 2009; Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“; VUT v Brně; ISBN 978-80-214-4027-2.
- 18 Kaštánek F.; Bioinženýrství; 2001; 1. vyd.; Praha; ISBN 80-200-0768-7.
- 19 Čermáková J., Tenkrát D., Prokeš O.; Výroba a využití biometanu; VŠCHT Praha; Petroleum.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012]; dostupné z:  
[http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008\\_ap\\_08.pdf](http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008_ap_08.pdf).
- 20 Procházková A., Ciahotný K., Vrbová V., Pospěch L.; Testování absorbentů pro odstraňování siloxanů z bioplynu; Paliva.vscht.cz; [online]; časopis Paliva 1/2011; [CIT: 9. 2. 2012] dostupné z: <http://paliva.vscht.cz/cz/archiv-clanku/detail/10>.
- 21 Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích; Mvcr.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012]; dostupné z:  
<http://www.mvcr.cz/soubor/sb095-09-pdf.aspx>.
- 22 Zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů; Mzp.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012]; dostupné z:  
<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/8a12b8f25817a234c125729d0039d956?OpenDocument>.
- 23 Zákon č. 254/2001 Sb., o vodách a o změně některých zákonů; Mzp.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012], dostupné z:  
<http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/2a434831dcbe8c3fc12564e900675b1b/20f9c15060cad3aec1256ae30038d05c?OpenDocument>.
- 24 Zákon č. 86/2002 Sb., o ochraně ovzduší a o změně některých dalších zákonů; Mzp.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012], dostupné z:

- <http://www.mzp.cz/www/platnalegislativa.nsf/d79c09c54250df0dc1256e8900296e32/ed2986242760af40c125754b003bb44a?OpenDocument>.
- 25 Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech, pomocných půdních látkách, pomocných rostlinných přípravcích a substrátech a o agrochemickém zkoušení zemědělských půd; Sagit.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012], dostupné z: <http://www.sagit.cz/pages/sbirkatxt.asp?zdroj=sb98156&cd=76&typ=r>.
- 26 Zákon č. 311/2006 Sb. o pohonných hmotách a čerpacích stanicích pohonných hmot a o změně některých souvisejících zákonů; Download.mpo.cz; [online]; [CIT 9. 2. 2012], dostupné z: <http://download.mpo.cz/get/28942/34585/371725/priloha001.rtf>.
- 27 Kára J.; Úprava bioplynu na kvalitu zemního plynu; Biom.cz; [online]; 19. 8. 2009 [cit. 12. 2. 2012]. dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/uprava-bioplynu-na-kvalitu-zemniho-plynu>; ISSN: 1801-2655.
- 28 Humhal F.; Technické podmínky vtláčení biometanu do DS a připojování bioplynových stanic, DSO\_TX\_B03\_07\_01; 2010; skupina RWE DSO.
- 29 Kára J., Koudřa J.; Zařízení na úpravu bioplynu na kvalitu paliva typu zemního plynu; Úřad průmyslového vlastnictví; 2010; Užitečný vzor č. 21505.
- 30 Šebor G., Pospíšil M., Žákovec J.; Technicko – ekonomická analýza vhodných alternativních paliv v dopravě; 2. část revidovaná; 2006; VŠCHT Praha.
- 31 Využití bioplynu v dopravě; Cngcompany.cz; [online]; [CIT 12. 2. 2012], dostupné z: <http://www.cngcompany.cz/gallery/bioplyn.pdf>.
- 32 Dvorský E., Hejtmánková P.; Kombinovaná výroba elektrické a tepelné energie; 2005; 1. Vydání; Praha; ISBN 80-7300-118-7.
- 33 Stupavský V.; Mikrokogenerace a trigenerace; Biom.cz; [online]; 9. 8. 210 [CIT 25. 2. 2012]; dostupné z: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/mikrokogenerace-a-trigenerace>; ISSN: 1801-2655.
- 34 Výkupní ceny elektřiny z bioplynu ve vybraných zemích EU; Oze.tzb-info.cz; [online]; 12. 9. 2011; [cit. 2012-02-25]; dostupné z <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/7815-vykupni-ceny-elekriny-z-bioplynu-ve-vybranych-zemich-eu>.
- 35 The state of renewable energies in Europe; 11th EurObserv'ER Report; Euroobserver.org; [online]; [CIT 2012-02-25]; Dostupné z <http://www.euroobserver.org/pdf/barobilan11.pdf>.

- 36 Kogenerační jednotky; Tenergobno.cz; [online]; [CIT 1. 3. 2012], dostupné z:  
<http://www.tenergobno.cz/cz/kogeneracni-jednotky>.
- 37 Panorama 360° Ansicht einer Biogasanlage von MT-Energie; Mt-energie.com;  
[online]; [cit. 1. 3. 2012], dostupné z  
<http://www.mt-energie.com/de/panorama.html>.
- 38 Podpora biometanu snížena; Tzb-info.cz; [online]; 6. 2. 2012  
[CIT 1. 3. 2012]; dostupné z:  
<http://www.tzb-info.cz/109377-podpora-biometanu-snizena>.
- 39 Růst a množení v podmínkách statické kultivace; Sci.muni.cz; [online];  
[CIT 1. 3. 2012]; dostupné z:  
<http://www.sci.muni.cz/mikrob/mikrofloraGIT/odk4.htm>.
- 39 Bioplyn; Intechenergo.sk; [online]; [CIT 1. 3. 2012]; dostupné z:  
<http://www.intechenergo.sk/sekcie/energia-z-biomasy/palivo/bioplyn>.
- 40 Čermáková J., Tenkrát D., Holovčák V.; Bioplyn, Biomethan a CNG; 2010;  
VŠCHT Praha; sborník Bioplyn 2010; ISBN 978-80-7328-224-0.
- 41 Dvořáček T.; Ekonomika bioplynových stanic pro zpracování BRO; Biom.cz;  
[online]; 19. 7. 2010; [CIT 2. 3. 2012]; dostupné z:  
<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/ekonomika-bioplynovych-stanic-pro-zpracovani-bro>>. ISSN: 1801-2655.
- 42 Mužík O., Abrham Z.; Využití a ekonomika bioplynových stanic v zemědělském  
podniku; Svt.pi.gin.cz; [online]; [CIT 2. 3. 2012]; dostupné z:  
[http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/ekonomika/BP\\_kejda\\_PDF.pdf?menuid=482](http://svt.pi.gin.cz/vuztweb/doc/ekonomika/BP_kejda_PDF.pdf?menuid=482)

**8. Seznam obrázků:**

Obr. č. 1 – Počet bioplynových stanic v ČR a instalovaný el. výkon v roce 2011

Obr. č. 2 – Měrná investiční náročnost bioplynové stanice

Obr. č. 3 – Anaerobní fermentace organických látek

Obr. č. 4 – Růstová křivka mikroorganismů

Obr. č. 5 – Schéma bioplynových technologií

Obr. č. 6 – Schéma bioplynové stanice

Obr. č. 7 – Schéma tvorby bioplynu na ČOV

Obr. č. 8 – Fermentační reaktor s gumotextilní membránou MT-Energie

Obr. č. 9 – Schéma úpravy bioplynu metodou PSA pro malé průtoky plynu  
(250÷500m<sup>3</sup>·h<sup>-1</sup>)

Obr. č. 10 – Schéma vodní tlakové vypírky

Obr. č. 11 – Energetické toky při využití bioplynu v KJ

Obr. č. 12 – Kogenerační jednotka TEDOM

Obr. č. 13 – Zobrazení energetických toků v trigenerační jednotce

Obr. č. 14 – Dojezd osobního automobilu na produkci z 1ha zemědělské půdy

Obr. č. 15 – Výroba vodíku v anaerobní fermentaci

Obr. č. 16 – Chemická konverse bioplynu na vodík

## **9. Seznam tabulek:**

Tab. č. 1 – Produkce bioplynu v EU v letech 2009 a 2010

Tab. č. 2 – Rozdělení organokřemičitých látek podle možného výskytu v bioplynu

Tab. č. 3 – Hodnoty upraveného bioplynu

## **10. Seznam zkratk:**

ČR	Česká Republika
EU	Evropská Unie
BPS	Bioplynová stanice
ERÚ	Energetický regulační úřad
OZE	Obnovitelný zdroj energie
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
ES	Evropské společenství
ČOV	Čistírna odpadních vod
PSA	Tlaková adsorpce
PWA	Vodní tlaková vypírka
VÚZT	Výzkumný ústav zemědělské techniky
ČSN	Česká státní norma
KJ	Kogenerační jednotka
USA	Spojené státy americké
CNG	Stlačený zemní plyn
LNG	Zkapalněný zemní plyn
ZEV	Vozidla s nulovými emisemi