

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

**Zhodnocení současných technických zařízení pro energetické
využití bioplynu z provozů bioplynových stanic**

bakalářská práce

Autor práce: **Tomáš Coubal**

Vedoucí práce: **doc. Ing. Jan Malat'ák, Ph.D.**

PRAHA 2017

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Technická fakulta

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Tomáš Coubal

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Zhodnocení současných technických zařízení pro energetické využití bioplynu z provozů bioplynových stanic

Název anglicky

Assessment of current technical equipment for energy utilization of biogas from biogas plants

Cíle práce

Cílem bakalářské práce je seznámit se současnou problematikou technických zařízení pro energetické využití bioplynu z provozů bioplynových stanic. Uskutečnit analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu a následně uskutečnit technicko-ekonomické vyhodnocení.

Metodika bakalářské práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců vstupních surovin a finálního bioplynu z bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie a techniky bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu pro provoz bioplynových stanic a následné technicko-ekonomické zhodnocení zvolených technologií energetického využití bioplynu.

Metodika

1. Úvod
2. Cíl práce a metodika
3. Přehled poznatků z literatury
4. Zhodnocení technických zařízení pro energetické využití bioplynu
5. Závěr
6. Seznam literatury

Doporučený rozsah práce

40

Klíčová slova

Biomasa, bioplyn, reaktor, kogenerační jednotka

Doporučené zdroje informací

Filip, J.; Oral, J.: Odpadové hospodářství II. 1. vydání. Brno: Mendelova zemědělská a lesnická univerzita v Brně, 2003. 78 s. ISBN 80-7157-682-4

Juchelková, D.; Fibinger, V.; Mika, J.: Metody nakládání s odpady. 1. vydání. Ostrava: VŠB TU Ostrava, 1996. 62 s. ISBN 80-7078-309-5

Juchelková, D.: Likvidace a využití odpadů. Ostrava, VŠB TU Ostrava, 2000. ISBN 80-7078-747-3

Malaťák, J.; Vaculík, P.: Zpracování biologicky rozložitelných odpadů. ČZU v Praze, Technická fakulta, tisk. Powerprint, Praha 2008, 168 s., ISBN: 978-80-213-1747-5

Pastorek, Z.; Kára, J.; Jevič, P.: Biomasa – obnovitelný zdroj energie, nakladatelství FCC Public, Praha 2004, 284 str., ISBN 80-86534-06-5

Straka, F.; a kolektiv.: Bioplyn. GAS s.r.o., Říčany 2003, s. 517, ISBN 80-7328-029-9

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – TF

Vedoucí práce

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra technologických zařízení staveb

Elektronicky schváleno dne 20. 1. 2015

doc. Ing. Jan Malaťák, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 6. 2015

prof. Ing. Vladimír Jurča, CSc.

Děkan

V Praze dne 03. 04. 2017

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Zhodnocení současných technických zařízení pro energetické využití bioplynu z provozů bioplynových stanic vypracoval samostatně a použil jen pramenů, které cituji a uvádím v seznamu použitých zdrojů. Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním dle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby. Jsem si vědom, že moje bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitní databázi a bude veřejně přístupná k nahlédnutí. Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Datum 29.3. 2016

.....
Tomáš Coubal

Poděkování

Tímto bych chtěl mnohokrát poděkovat panu doc. Ing. Janu Malatřákovi, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky při zpracování mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za veškerou podporu při studiu.

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá zhodnocením současných technických zařízení pro energetické využití bioplynu z provozů bioplynových stanic a na využití vyčištěného bioplynu v dopravě ve formě BioCNG. Obsahuje literární rešerši aktuálních technologií a jejich zhodnocení. V práci je kompletní popis provozu bioplynové stanice pro mokrou fermentaci s daty z konkrétní bioplynové stanice. Jsou zde popsány technologie pro čištění bioplynu na biometan a jeho využití. V konečném vyhodnocení vyšla z technologického i ekonomického hlediska nejlépe metoda vodní vypírky. Problematika bioplynových stanic je shrnuta v závěru práce.

Klíčová slova: Biomasa, bioplyn, reaktor, kogenerační jednotka

Assessment of current technical equipment for energy utilization of biogas from biogas plants

Abstract

This bachelor thesis follows up evaluation of contemporary technical equipment for energy utilization of biogas from biogas plants and for utilization of filtered biogas as a fuel in form of BioCNG. It includes literary research of currently used technologies and their evaluation. In the thesis is completely described working of biogas plant for damp fermentation with data from particular biogas plant. Here are described technologies for purifying biogas into biomethane and its utilization. In the final evaluation, in economical and technical perspective came water scrubbing method as the best option. Problematics of biogas plants is summarized in the conclusion of the thesis.

Key words: Biomass, biogas, reactor, CHP unit

1 Obsah

1. ÚVOD	1
1.1 VYUŽITÍ ENERGIE	1
1.2 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE A PODSTATA JEJICH VYUŽÍVÁNÍ	3
1.3 OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE V ČR.....	4
2 CÍL PRÁCE A METODIKA	6
3 PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY	7
3.1 LEGISLATIVA ČR.....	7
3.2 ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY.....	9
3.2.1 <i>Hlavní typy biomasy využívané v ČR</i>	10
3.2.2 <i>Způsoby získávání, zpracování a využívání energetické biomasy</i>	11
3.2.3 <i>Základní technologie pro zpracování biomasy</i>	12
3.2.4 <i>Anaerobní fermentace</i>	13
3.3 BIOPLYN.....	16
3.3.1 <i>Aktuální stav využití bioplynu v České republice</i>	18
3.4 BIOMETAN.....	19
3.5 VYUŽITÍ BIOPLYNU V DOPRAVĚ JAKO ALTERNATIVNÍHO A OBNOVITELNÉHO PALIVA.....	20
4 ZHODNOCENÍ TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOPLYNU	21
4.1 BIOPLYNOVÁ STANICE PRO MOKROU FERMENTACI.....	21
4.1.1 <i>Popis technologického zařízení BPS Bláto</i>	25
4.1.2 <i>Data naměřená z běžného provozu BPS</i>	36
4.2 ČIŠTĚNÍ BIOPLYNU	38
4.2.1 <i>Odstranění nežádoucích složek</i>	38
4.2.2 <i>Technologie pro odstraňování CO₂ z bioplynu</i>	40
4.2.3 <i>Perspektivy využití biometanu</i>	45
4.2.4 <i>Kvalita biometanu</i>	46
4.2.5 <i>Využití biometanu v dopravě</i>	47
4.2.6 <i>Přehled současného stavu biometanu v Evropě</i>	47
5 DISKUZE	53
6 ZÁVĚR	54

1. ÚVOD

Potřeba energie doprovází celou existenci lidstva, přičemž po tisíciletí právě biomasa představovala jeden z hlavních zdrojů. Postupně s technickým rozvojem byla nahrazena fosilními palivy a jadernou energií. Stále však existuje mnoho rozvojových zemí, kde biomasa stále patří k životně důležitým zdrojům energie. Ekonomický rozvoj má přímou vazbu na spotřebu energie díky, které se neustále zvyšují nároky na palivové a energetické zdroje. Tato poptávka má také za následek zvyšování jejich cen. Jedna možnost se skrývá ve využití úsporných technologií. Mezi hlavní doprovodné jevy využívání fosilních paliv patří emise oxidu uhličitého (CO₂). Atmosféru čím dál více znečišťují skleníkové plyny, mezi které kromě oxidu uhličitého patří také např. metan nebo freony. Zvyšující se koncentrace těchto plynů v atmosféře, přispívá ke globálnímu oteplování díky omezenému vyzařování zemského tepla do vesmíru.

Díky výše uvedeným důvodům se stále hledají nové energetické zdroje, které by fosilní paliva nahradily. Jednu z preferovaných možností představuje využívání energie z obnovitelných zdrojů. V celosvětovém měřítku jsou obnovitelné zdroje energie (OZE) chápány jako cesta ke snížení negativních vlivů na životní prostředí. Mezi obnovitelné zdroje energie patří vodní, sluneční a větrná energie, energie z biomasy, ze skládkového plynu a okolního prostředí (zejména geotermální energie).

1.1 Využití energie

"Energetika" představuje výrobní odvětví a vědní obor. Energetika výrobního odvětví má za úkol zabezpečit společnosti dostatečné množství kvalitní energie za přijatelnou tržní cenu a to v požadovaném čase a místě s minimálním negativním dopadem na životní prostředí. Na energetice jsou závislé veškeré výrobní odvětví. Energetika je vnímána jako základní pilíř hospodářství každého státu a každé moderní společnosti. Všechny státy světa věnují energetice prvořadou pozornost a vynakládají na její zabezpečení značné finanční prostředky.

Energetika z pohledu vědního oboru zkoumá možnosti získávání jednotlivých zdrojů energie, zákonitosti její transformace, distribuce a spotřeby. Veškeré získané poznatky jsou pak použity při projektování, konstrukci, výstavbě a provozu energetických strojů a zařízení.

Energetiku členíme podle různých kritérií:

- podle formy energie (elektrina, teplo, plyn, stlačený vzduch),
- podle inženýrských oborů (elektroenergetika, tepelná energetika, hydroenergetika, jaderná energetika, plynárenství),
- podle energetických procesů (získávání energie z přírodních zdrojů, přeměny různých forem energie, doprava a akumulace energie, přeměny energie ke konečnému užití).

Energetika se plánuje podle takzvaných energetických bilancí, díky kterým se posuzují energetické zdroje a spotřeba. [2]

K energetické bilanci se využívají následující jednotky a jejich vzájemné vztahy:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ kgm}^2 \cdot \text{s}^{-2} = 1 \text{ Ws} = 1 \cdot 10^7 \text{ erg} = 2,39 \cdot 10^{-4} \text{ kcal} = 2,78 \cdot 10^{-7} \text{ kWh} =$$

$$6,25 \cdot 10^{18} \text{ eV} = 9,50 \cdot 10^4 \text{ BTU} \quad (\text{BRITISH THERMAL UNIT})$$

$$1 \text{ kg uhlí} = 8 \text{ kWh} = 6880 \text{ kcal} = 28,8 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kg lignitu} = 2,5 \text{ kWh} = 2150 \text{ kcal} = 9,1 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ kg ropy} = 12 \text{ kWh} = 10\,300 \text{ kcal} = 43,1 \text{ MJ}$$

$$1 \text{ m}^3 \text{ zemního plynu} = 10,6 \text{ kWh} = 9100 \text{ kcal} = 38,1 \text{ MJ}$$

Mezi další důležité termíny, se kterými se v energetice setkáváme, zejména při teoriích týkajících se spalování a porovnávání různých paliv, patří:

Měrné palivo (mp) - představuje fiktivní pevné jednotkové palivo s následující výhřevností:

$$1 \text{ t (mp)} = 29,3 \cdot 10^9 \text{ J} = 29,3 \text{ GJ} = 8,14 \text{ Mwh}$$

Ropný ekvivalent (oe) - je porovnávací parametr pro kapalné fosilní palivo s následující výhřevností:

$$1 \text{ t (oe)} = 42,1 \cdot 10^9 \text{ J} = 42,1 \text{ GJ}$$

Porovnání s jadernými palivy:

- z jednoho kg izotopu U 235 je možno získat $67 \cdot 10^{12}$ J energie a přepočítáme-li toto na měrné palivo, pak platí:

$$1 \text{ kg (U 235)} = \frac{67000 \cdot 10^9}{29,3 \cdot 10^9} = 2286,7 \text{ t (mp)}$$

Současným trendem v energetice je prosazovat tzv. vyrovnaný „energetický mix“. V tomto mixu hraje každý druh energetického zdroje svoji opodstatněnou roli, která je závislá na filozofii udržitelného rozvoje a na ekonomických ukazatelích.

Každý zdroj má své výhody i nevýhody, proto vytvoření tohoto mixu není vůbec jednoduché. Při pohledu na současnou celosvětovou energetickou politiku je patrná čím dál tím větší role obnovitelných zdrojů. [2]

1.2 Obnovitelné zdroje energie a podstata jejich využívání

Skleníkový efekt, globální oteplování a klimatické změny jsou důsledkem zvyšujícím se počtu tajfunů a záplav. Tající arktické ledovce zvyšují hladiny moří. Hlavní příčinou těchto nebezpečných jevů je spalování fosilních paliv a produkce skleníkového plynu oxidu uhličitého CO₂. [1]

Pro trvale udržitelný rozvoj lidské společnosti se stává intenzivní využívání fosilních paliv neúnosné. V současné době se řada států snaží co největší podíl fosilních energií nahradit obnovitelnými energiemi. Základní rozdělení využívaných obnovitelných zdrojů energie najdeme v tabulce č.1. [1]

Tabulka č. 1. Základní rozdělení v současnosti využívaných obnovitelných zdrojů energie. Zdroj: [13].

OBNOVITELNÉ ZDROJE ENERGIE			
zdroj	Pohyb kosmických těles Slunce, Měsíce a planet	Radioaktivní rozpad uvnitř Země	Záření kosmického prostoru
základní obnovitelný energetický zdroj	Rotační energie Země a gravitační energie Země, Měsíce a Slunce	Energie zemského jádra	Dopadající sluneční záření
odvozené či přeměněné OZE, využitelné pro výrobu tepla či elektrické energie	Přílivová energie E	Geotermální energie E T	Přímé sluneční záření E T
			Energie větru E
			Energie mořských vln E
			Tepelná energie prostředí T
			Energie biomasy E T
			Energie vodních toků E

možno využít pro výrobu **E** - elektrické energie, **T** - tepla

Nejvyšší potenciál se obvykle ukrývá v energii z biomasy. Při spalování biomasy také vzniká oxid uhličitý, ten však skleníkový efekt nenavysuže. Důvodem je, že rostliny za svého

růstu odebírají z ovzduší CO₂ a při spalování ho opět do ovzduší vracejí. Díky tomu, že je průměrná délka života živé fytomasy přibližně 10 let, představuje pěstování energetické fytomasy významné vázání oxidu uhličitého z atmosféry. [1]

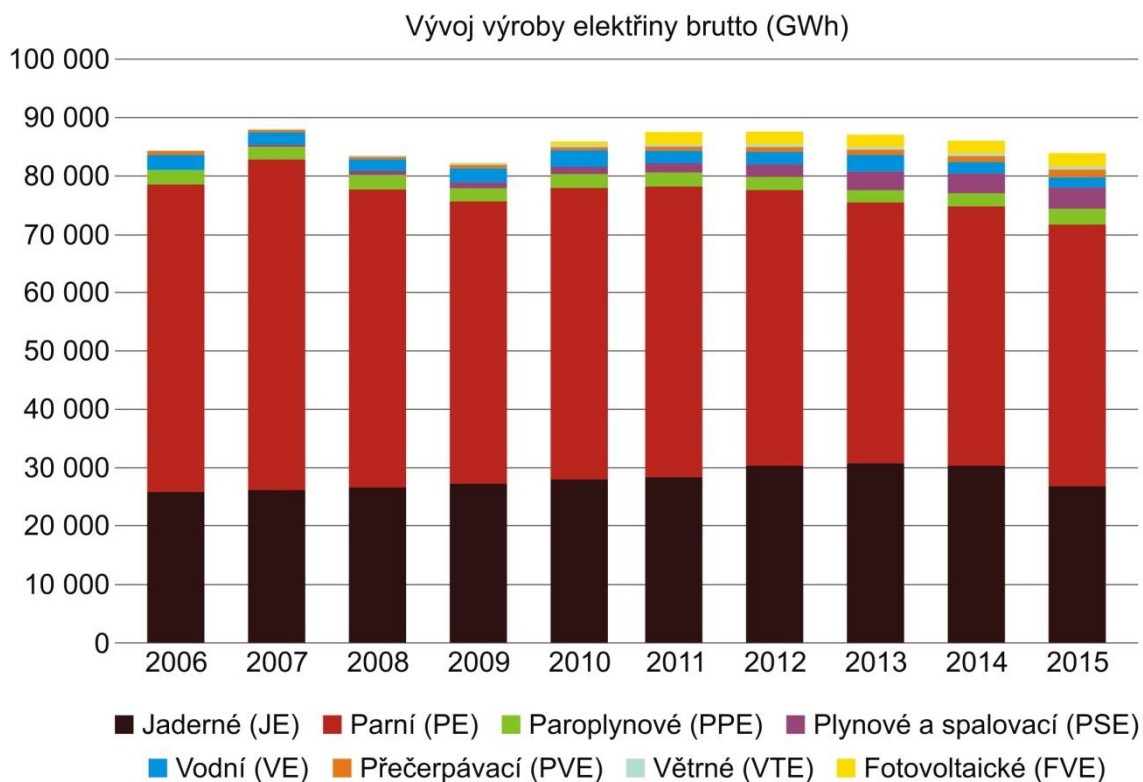
1.3 Obnovitelné zdroje energie v ČR

Při pohledu na historii světové energetiky za poslední desetiletí, můžeme vypořádat, že důvodem ke změně energetické politiky byly energetické krize. Současnou podobu získala světová energetická politika po první ropné krizi v 70. letech minulého století. Hlavní cíle energetické politiky procházejí neustálým vývojem. Rozvoj energetických technologií vytvořil cestu k úsporným energetickým programům. V 80. letech minulého století se dostala do popředí environmentální otázka. Z důvodu vysokého energetického zatížení našeho hospodářství se tento vývoj v plné míře na našem území neuplatňoval a tím pádem jsme nemohli ani získat přímé zkušenosti. [1][3]

Závislost na dovozu energií a environmentální problematika byla postavena do popředí až s přicházející energetickou politikou Evropské unie. Evropskou unií byl stanoven i cíl na maximální možné využití obnovitelných zdrojů. V posledních letech byla jedním z klíčových bodů energetické politiky Evropské unie podpora obnovitelných zdrojů. [1]

Díky geografickým a dalším podmínkám bude Česká republika patřit k územním celkům s nejdražší energií. To platí i pro obnovitelné zdroje. Máme slabý hydroenergetický potenciál, protože ležíme na rozhraní několika povodí na střeše Evropy, parametry slunečního svitu u nás nedosahují parametrů jižních zemí a větrné poměry u nás také nejsou lukrativní. Naše hospodářství patří k energeticky velmi náročným. Stále málo šetříme energií a obnovitelné zdroje jsou u nás zastoupeny v malé míře. Hlavními zdroji energie jsou u nás fosilní spalitelné materiály (uhlí, ropa, plyn) a štěpné (radioaktivní) látky. Lidstvo se snaží energii vytvořenou v přírodě za miliony let zužitkovat během pár staletí. To by mohlo vést ke dnu, kdy již žádné fosilní palivo ke spálení nebude. Možný je rovněž scénář, že se část zásob bude muset zanechat v zemi z důvodu hrozícího globálního oteplování. Globální oteplování je největším celosvětovým problémem. [1]

Mnoho evropských zemí již překročilo ekologicky únosné hodnoty měrné uvolněné energie vztahované na velikost území. Kromě Německa, Nizozemska a Belgie je to i Česká republika. Skladbu primárních zdrojů energie a podílu na výrobě elektřiny v ČR ukazuje obrázek č.1.



Obr. č. 1. Podíl primárních zdrojů energie na výrobě elektřiny. Zdroj: [4]

Díky vysoké potřebě energie a tomu že používáme koncentrovanou energii ve formě fosilních paliv, se dá říci, že žijeme na úkor budoucích generací. [1]

2 CÍL PRÁCE A METODIKA

Cílem bakalářské práce je uskutečnit analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu s ohledem na jejich ekologické aspekty a následně uskutečnit technicko-ekonomické vyhodnocení.

Cíle lze konkretizovat následujícími body:

- Právní a legislativní předpisy pro realizaci bioplynových stanic,
- Možnosti energetického využití biomasy,
- Aktuální možnosti využití bioplynu,
- Seznámení s technologiemi pro čištění bioplynu,
- Využití biometanu v dopravě.

Metodika bakalářské práce vychází z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců vstupních surovin a finálního bioplynu z bioplynových stanic a charakteristiky souvisejících právních předpisů, technologie a techniky bioplynových stanic a legislativních podmínek zpracování biomasy. Dále také vychází z patentovaných technologií pro upgrading bioplynu na kvalitu zemního plynu, takzvaného biometanu.

Praktická část bakalářské práce zahrnuje analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu z provozu zemědělské bioplynové stanice fungující v areálu Farma Bláto a následné technicko-ekonomické zhodnocení zvolených technologií energetického využití bioplynu.

3 PŘEHLED POZNATKŮ Z LITERATURY

3.1 Legislativa ČR

Energetická legislativa se stala v zásadě svébytnou právní disciplinou, ve které je nutno se při podnikání v oblasti OZE alespoň přehledně orientovat.

Níže je uveden výběr nejdůležitějších zákonů a vyhlášek s cílem usnadnit orientaci v legislativě vztahující se k elektroenergetice a zejména k obnovitelným zdrojům energie.

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (ENERGETICKÝ ZÁKON). [20]

Zákon č. 131/2015 Sb. Zákon, kterým se mění zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. [20]

Zákon č. 165/2012 Sb., o podporovaných zdrojích energie a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 90/2014 Sb. [20]

Zákon o podporovaných zdrojích energie ve znění zákona č. 107/2016 Sb. - znění účinné do 31. 12. 2018 [20]

Zákon č. 458/2000 Sb., o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů, ve znění zákona č. 104/2015 Sb. [20]

Zákon č. 201/2012 Sb., o ochraně ovzduší (emise z KGJ). [20]

Zákon č. 353/2003 Sb., o spotřebních daních (daň z elektřiny, Daň z bioplynu, vrácení spotřební daně z LTO, zelená nafta). [20]

Zákon České národní rady č. 334/1992 Sb., o ochraně zemědělského půdního fondu. (pěstování energetických plodin). [20]

Zákon č. 156/1998 Sb., o hnojivech (rozdávení digestátu na pole). [20]

Vyhláška č. 266/2016 Sb., kterou se mění vyhláška č. 296/2015 Sb., o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti výroben elektřiny a výroben tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technicko-ekonomických parametrech). [20]

Vyhláška č. 70/2016 Sb., o vyúčtování dodávek a souvisejících služeb v energetických odvětvích. [20]

Vyhláška č. 9/2016 Sb., o postupech registrace podpor u operátora trhu a provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie (registrační vyhláška). [20]

Vyhláška č. 16/2016 Sb., o podmínkách připojení k elektrizační soustavě. [20]

Vyhláška č. 8/2016 Sb., o podrobnostech udělování licencí pro podnikání v energetických odvětvích. [20]

Vyhláška č. 262/2015 Sb., o regulačním výkaznictví. [20]

Vyhláška č. 408/2015 Sb., o Pravidlech trhu s elektřinou. [20]

Vyhláška č. 296/2015 Sb., o technicko-ekonomických parametrech pro stanovení výkupních cen pro výrobu elektřiny a zelených bonusů na teplo a o stanovení doby životnosti vyrobené elektřiny a vyrobeného tepla z obnovitelných zdrojů energie (vyhláška o technicko-ekonomických parametrech). [20]

Vyhláška č. 196/2015 Sb., o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen za činnosti operátora trhu v elektroenergetice a plynárenství. [20]

Vyhláška č. 194/2015 Sb., o způsobu regulace cen a postupech pro regulaci cen v elektroenergetice a teplárenství. [20]

Vyhláška č. 478/2012 Sb., o vykazování a evidenci elektřiny a tepla z podporovaných zdrojů a biometanu, množství a kvality skutečně nabytých a využitých zdrojů a k provedení některých dalších ustanovení zákona o podporovaných zdrojích energie. [20]

Vyhláška č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu. [20]

Vyhláška Ministerstva průmyslu a obchodu ČR k zákonu č. 165/2012 Sb. [20]

Vyhláška č. 346/2012 Sb., o termínech a postupech výběru formy podpory, postupech registrace podpor u operátora trhu, termínech a postupech výběrů a změn režimů zeleného bonusu na elektřinu a termínu nabídnutí elektřiny povinně vykupujícímu (registrační vyhláška). [20]

3.2 Energetické využívání biomasy

Trend využívání energie z biomasy má vzestupnou tendenci a v současné době se pohybuje okolo 21 PJ za rok. Potenciál energie z biomasy, který se dá za ekonomicky příznivých podmínek v jednotlivých krajích využít se upřesňuje podrobnými průzkumy. V České republice přesahuje potenciál veškeré biomasy 22 milionů tun ročně. [2]

Mezi další výhody energetického využívání biomasy růst prosperity obcí či růst pracovních příležitostí v agrárním sektoru. Při používání biomasy jako paliva vznikají zanedbatelné emise oxidu siřičitého. Hodnoty ostatních škodlivých látek v emisích fytopaliv jsou oproti látkám v emisích z fosilních paliv podstatně nižší. Podrošťový popel z fytopaliv obsahuje kladné hodnoty vápníku, hořčíku, draslíku a fosforu a je ho možné použít jako hnojivo. [1][2]

Cíleně pěstované energetické rostliny se ve větší míře pěstují na půdě, která se nepotřebuje pro výrobu krmiv a potravin. Rozloha této půdy v současnosti představuje už 465 000 ha orné půdy a 523 000 ha luk a pastvin. Pro pěstování energetických rostlin se využívají i půdy nadlimitně kontaminované cizorodými látkami. Díky dlouhodobému pěstování energetických rostlin se tyto půdy v určitém časovém úseku revitalizují. [2]

Jako fytopalivo se zpracovávají také vedlejší rostlinné produkty a energeticky využitelné zbytky z rostlinné výroby. Ve větší míře se jedná o slámu, olejniny, obilniny, kukuřici, a rostlinné zbytky po technickém zpracování. Pro přípravu fytopaliva se využívají i rostlinné a dřevní odpady z mnoha činností. Jedná se zejména o odpady z údržby veřejné zeleně a krajiny, z lesní těžby a zpracování dřeva a dále například z papírenského průmyslu. [2]

Fytopaliva je možné normalizovat ve vztahu k jejich tvaru, objemové hmotnosti a výhřevnosti. Jejich výhodou je možnost přizpůsobení potřebám výrobců technologií a trhu. Vyrábí se také směsná paliva například s uhlím. Díky tomu dochází vlivem fytohmasy k snížení nežádoucích vlastností fosilních paliv. [2]

Obce můžou vytěžit energii z biomasy z místních zdrojů pomocí kogenerace nebo systémů vytápění a šetří tak peníze za energii a posilují prosperitu místních zemědělců. Kromě toho vznikají v obci také další pracovní a podnikatelské příležitosti.

3.2.1 Hlavní typy biomasy využívané v ČR

Biomasa je hmota biologického původu, která obsahuje složky rostlin, bakterií, sinic, hub, a živočichů.

Na území České republiky patří mezi biomasu:

Organický materiál rostlinného původu

- energetické plodiny ve formě siláže, senáže,
- travní seče, čerstvá řezanka,
- odpady z rostlinné výroby (natě, slupky, odřezky, sláma),
- nezkrmitelné rostlinné produkty (obilí, siláže, senáže),
- odpadní brambory,
- plevy a odpad z čištění obilí,
- dřevní odpady (štěpka, piliny, hobliny, kůra, větve).

Organický materiál živočišného původu

- kejda hospodářských zvířat,
- hnůj hospodářských zvířat,
- drůběží exkrementy včetně podestýlky.

Organický materiál z potravinářských či chemických výrob

- lihovarnické výpalky,
- cukrovarnické vyslazené řízky,
- melasa,
- škrobové odpadní vody,
- pekárenské odpady,
- surový glycerin (G- frakce),
- odpadní tuky z lapačů, tuky z potravinářských výrob,
- organické kyseliny či jiné biologicky rozložitelné materiály.

Nejlevnějším zdrojem biomasy je využití přírodních odpadů. V České republice je nepoužívanějším druhem biomasy dřevní odpad. Při těžbě a zpracování dřeva vzniká přibližně polovina odpadu (těžba dřeva činí zhruba 30 % odpadu, následné zpracování cca 25 %). V tabulce č. 2 je uvedena výhřevnost biopaliv. Hodnota výhřevnosti je závislá na typu, kvalitě a obsahu vody v biopalivu. [2]

Tabulka č. 2. Výhřevnost biopaliv s proměnným obsahem vody. Zdroj: [2].

Druh paliva	Obsah vody %	Výhřevnost MJ/kg	Objemová hmotnost kg/m ³
Polena	10	16,4	375
Polena	20	14,28	400
Polena	30	12,18	425
Dřevní odpad	10	16,4	170
Dřevní odpad	20	14,28	190
Dřevní štěpka	30	12,18	210
Dřevní štěpka	40	10,1	225
Sláma obilovin (balíky)	10	15,5	120
Sláma kukuřice (balíky)	10	14,4	100
Lněné stonky (balíky)	10	16,9	140
Sláma řepky (balíky)	10	16	100

Z důvodu zvýšení podílu OZE na celkové výrobě energie a s přihlédnutím k zvyšující se poptávce po dřevním odpadu nelze opomenout pěstování energetických rostlin. ČR patří mezi země s malým množstvím plantáží s rychle rostoucími dřevinami. Mimo rychle rostoucí dřeviny existují i energetické rostliny bylinného charakteru. K pěstování energetických rostlin se doporučuje využívat půdu, která se nehodí nebo není potřebná pro produkci potravin a krmiv. Energetické rostliny je možné pěstovat i na devastované půdě např. z důlních činností. Na základě testování v pokusných podmínkách byl vypracován výběr druhů energetických rostlin. V současné době najdeme na seznamu povolených energetických rostlin jednoleté rostliny, pro které musíme každý rok připravit půdu a provést setí a kultivaci. To se samozřejmě projeví vyššími náklady na získanou úrodu v podobě fytopaliv. Na seznamu najdeme dále rostliny víceleté a vytrvalé. U těchto rostlin se náklady na zřízení plantáže rozloží na delší časový úsek. Hodnoty výhřevnosti, spalného tepla a výnosu energetických rostlin jsou závislé na různých faktorech (na lokalitě pěstování, druhu a jakosti půdy, obsahu vody aj.) [2]

3.2.2 Způsoby získávání, zpracování a využívání energetické biomasy

Akumulovanou energii ze slunce, můžeme z biomasy přeměnit mnoha způsoby na energii elektrickou, tepelnou, chemickou nebo mechanickou.

Kdyby všechna solární energie, která přichází za rok na 1 ha zemědělské půdy od Slunce, byla zachycena rostlinami do vytvořené hmoty, dosahovalo by se v našich zeměpisných šířkách výnosu až 2000 tun organické hmoty na hektar půdy. Pro fotosyntézu je však využitelná jen část spektra záření, což představuje asi 43 %.

Jestliže potom rostliny vytvoří na jednom hektaru cca 10 tun hmoty (například pšenice ve slámě a zrnu), využije se dopadající využitelná sluneční energie jen z 0,63 %, je to proto, že vegetační doba rostlin trvá jen kratší část roku, v mládí po vyklíčení rostliny pomalu narůstají a pole jsou většinu roku bez vegetace. V tropech a subtropích se zkušebně dosáhlo až využití až 15,8 % z využitelné energie slunečního záření. [2]

Teoretická hranice výnosu organické hmoty o výhřevnosti cca 16,7 MJ.kg⁻¹ v našich zeměpisných šířkách tak je kolem 250 tun, kterých však nebylo dosud u žádné rostliny dosaženo. Důvodem je nejen zimní vegetační klid, při kterém rostliny nerostou, i když svítí Slunce, ale také to, že to člověk zatím nepotřeboval. Veškeré dosavadní šlechtění rostlin bylo zaměřeno na zvyšování výnosu živin - a to jak pro výživu člověka, tak zvířat, aby se zvýšil obsah tuku a bílkovin, ale ne celkové hmoty. [2][3]

Výnosy ovlivňuje i druh a stav půdy, zásoba živin, vody, svahovitost a mnoho dalších faktorů. V budoucnu, až budou vyčerpány fosilní zdroje energie, bude nepochybně šlechtění rostlin zaměřeno na zvyšování hmotnosti a na podíl uhlíkatých sloučenin v nich obsažený. Už dnes potenciál některých divoce rostoucích rostlin, respektive rostlin pro nepotravinářské využití, dosahuje ohromujících výnosů, jejich účinnost přeměny slunečního záření dosahuje až 30 % (po dobu jejich vegetace). Jsou to například naše plevele jako křídlatka s výnosem 30 až 40 tun suché hmoty z hektaru, energetické šťovíky, ale i proklínaný bolševník. Tyto rostliny čekají na své šlechtitele, aby se z nich staly kulturní, energetické plodiny. [2]

Podle mnohých vědeckých kapacit se budou úspěšné energetické rostliny vyznačovat některými charakteristikami, kterými se podstatně budou odlišovat od stávajících kulturních rostlin, pěstovaných především pro výrobu potravin.

3.2.3 Základní technologie pro zpracování biomasy

Do biomasy se akumuluje energie, kterou lze skladovat a využít podle potřeby ke kogeneraci, výrobě tepla, elektřiny, nebo k zpracování na hodnotnější biopaliva.

Podle vyhlášky Energetického regulačního úřadu (ERÚ) nyní dělíme biomasu na tři základní skupiny:

- odpady pocházející z průmyslové výroby,
- odpady pocházející z lesní a zemědělské produkce,
- cíleně pěstovaná biomasa.

Z pohledu využití biomasy v energetice jsou hlavním zdrojem odpady ze zemědělství a lesnictví. Pro pěstování energetické biomasy je v České republice velký potenciál. K dispozici je cca 0,5 milionu ha zemědělské půdy. I u nás již pěstujeme velkou řadu energetických plodin, některé z nich prozatím jen pokusně. Vlastnosti jednotlivých druhů biomasy jsou ve vztahu podmínkám pěstování hodně rozdílné. Každá technologie k energetickému zpracování biomasy vyžaduje její specifické vlastnosti (rozměr částic, obsah vody, sušiny, výhřevnost, obsah popelovin, částicovou soudržnost apod.). Hlavními činiteli, které ovlivňují zpracování biomasy je podíl vody a sušiny. Teoretickou hranicí mezi mokřými a suchými procesy považujeme 50 % sušiny.

Jedna z možných kategorizací technologií pro zpracování biomasy:

- **suché procesy** – termochemické přeměny biomasy (spalování, zplyňování, pyrolýza),
- **mokrý procesy** – biochemické přeměny biomasy (alkoholové kvašení, metanové kvašení),
- **fyzikální a chemické přeměny biomasy** - mechanické (štípání, drcení, peletování atd.), chemické (esterifikace surových bioolejů),
- **získávání odpadního tepla při zpracování biomasy** (kompostování, čištění odpadních vod, anaerobní fermentace pevných organických zbytků). [2]

3.2.4 Anaerobní fermentace

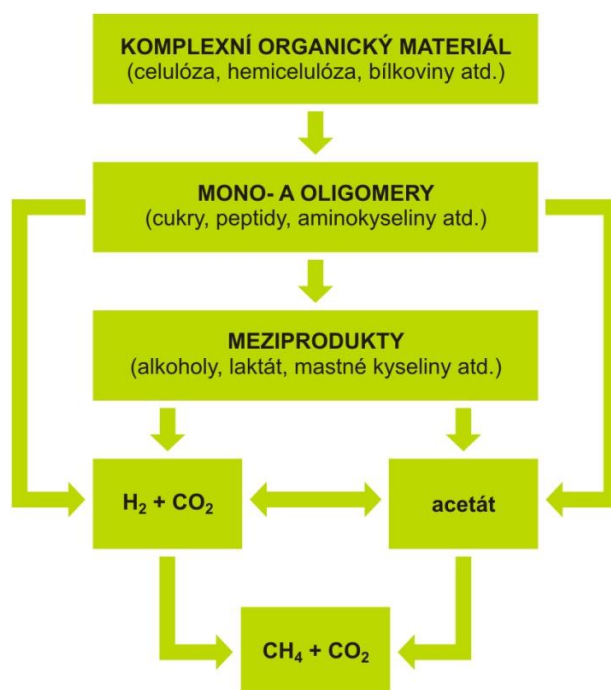
Anaerobní fermentace je biologický proces rozkladu organické hmoty, probíhající za nepřítomnosti kyslíku. Tento proces probíhá přirozeně v přírodě např. v bažiništích, na dně jezer nebo na skládkách komunálního odpadu. Při tomto procesu směsná kultura mikroorganismů postupně v několika stupních rozkládá organickou hmotu. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem pro další skupinu.

Proces můžeme rozdělit do 4 hlavních fází:

- **Hydrolyza:** působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky ke hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).
- **Acidogeneze:** působením extracelulárních enzymů dochází mimo buňky ke hydrolytickému štěpení makromolekulárních látek na jednodušší sloučeniny, především

mastné kyseliny a alkoholy, při tomto procesu se uvolňuje rovněž vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

- **Acetogeneze:** dochází k dalšímu rozkladu kyselin a alkoholů za produkce kyseliny octové ($C_2H_4O_2$).
- **Metanogeneze:** závěrečný krok anaerobního rozkladu, kdy z kyseliny octové ($C_2H_4O_2$), vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2) vzniká metan (CH_4), tento krok provádějí metanogenní bakterie, což jsou striktně anaerobní organismy, podobné nejstarším organismům na Zemi. Tyto bakterie jsou citlivé především na náhlé změny teplot, pH, oxidačního potenciálu a další inhibiční vlivy. [2] Rozkladem organických látek (hnoje, zelené rostliny, kaly z provozu čistíček ...) vzniká bioplyn (stadia rozkladu najdeme na obr č. 2).



Obr. č. 2. Stadia rozkladu při jednostupňové anaerobní digesci. Zdroj: [3].

Jestliže probíhají veškerá stadia rozkladu biomasy v jednom fermentoru, jedná se o proces jednostupňový. O dvoustupňový proces jde v případě, že jsou hydrolýza a acidogeneze odděleny od acetogeneze a metanogeneze. [3]

Běžně využívané druhy biomasy pro anaerobní výrobu bioplynu:

- exkrementy hospodářských zvířat (kejska, trus, hnůj, močůvka, hnojůvka, podestýlka, atd.),
- fytomasa (senáže, siláže, části a kořeny rostlin, vybrané druhy energetických rostlin, ekonomicky neprodejné produkty),
- odpady ze zpracovatelského a potravinářského průmyslu (mlékáren, jatek, lihovarů, atd.),
- specifické a speciální odpady (např. masokostní moučka apod.),
- tříděné domovní a komunální odpady.

Mezi další významné provozy s produkcí bioplynu patří čistírny odpadních vod (ČOV) a skládky tuhého komunálního odpadu.

Principiálně se setkáváme se dvěma druhy procesů:

- **Mokrý fermentace** – zpracování biomasy s obsahem sušiny méně než 12 %.
- **Suchá fermentace** – zpracování biomasy s obsahem sušiny 20 až 60 %.

V literatuře lze najít velmi podrobné členění procesů i další speciality a podrobnosti.

V návaznosti na reakční teplotu (resp. druhy anaerobních mikroorganismů) se v praxi nejčastěji setkáme s níže uvedenými procesy:

- **Mezofilní** (35 až 40°C) – např. při zpracování prasečí a hovězí kejdy v zemědělství.
- **Termofilní** (55°C) – např. při zpracování kalů na ČOV (je nutná vyšší teplota z důvodu hygienizace kalů)

Hodnota pH potřebná pro život bakterií je v rozsahu 4,5–8. Pro metanogenní fermentaci se doporučuje udržovat pH v rozsahu 6,7–7,6. Primární podmínkou pro stabilitu procesu je zabránění proniknutí kyslíku do fermentoru, protože může zpomalit potřebné reakce. Negativní vliv mají také např. vysoké koncentrace amoniaku, antibiotika, kationty K⁺, Ca⁺, Mg⁺, aj.

Anaerobní fermentace velkou mírou redukuje přirozenou pachovou zátěž (fermentace probíhá v reaktoru, který je plynotěsný). V reaktoru je průměrná doba zdržení biomasy 20 – 30 dnů. Mezi výsledné produkty patří: stabilizovaný anaerobní materiál (fermentační zbytek, digestát, fermentát) resp. hnojivý substrát a samozřejmě energeticky využitelný bioplyn. [2][3]

Bioplyn obsahuje cca 55–75 objemových procent CH_4 , 20–40 % CO_2 , 1–3 % dalších plynů (N_2 , H_2 , H_2S , NH_3 , vzácné plyny, aj.), výhřevnost se proto pohybuje od 19,6 do 25,1 $\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$. Díky fermentaci dochází k hygienizaci fermentačního zbytku což má za následek snížení klíčivosti semen ve fermentačních zbytcích. [2]

3.3 Bioplyn

Bioplyn a bioplynové systémy jsou velmi důležitou částí obnovitelných zdrojů energie s pozitivním působením na životní prostředí. Bioplyn sice zatím není schopen konkurovat dominujícím fosilním palivům na trhu s energiemi, ale má oproti nim neomezené perspektivy využití do budoucna. [2]

Termín bioplyn se stává čím dál více známým i laické veřejnosti, jako synonymum čehosi příznivého pro ekologii. S tímto pojmem přichází i představa jakéhosi páchnoucího plynu vznikajícího v živých organismech. Ovšem kategorie bioplyn je stále velmi pestrá skupinou různých plynných zplodin. Biochemickými procesy vzniká široká škála jednoduchých i složitějších plynných sloučenin. Do těchto směsí ale nemusí být kategorie „bioplyny“ v některých případech zahrnovány. Například atmosférický kyslík. Mnoho milionů let produkují různé rostliny kyslík, od mikroskopických druhů až po obrovské dlohověké stromy, i přes to ale kyslík nikdo bioplynem nenazývá. Oxid uhličitý vzniká ethanolovým kvašením cukrů, je biologickým plynným produktem a také ho odborníci neřadí mezi bioplyny. [2][5]

Až široce rozvinutá praxe anaerobních postupů pro čištění odpadních vod, která se jako dobře fungující technologie rozšířila od první čtvrtiny 20. století, přinesla s sebou termín „bioplyn“. I když v technické praxi byla většinou až do šedesátých či sedmdesátých let pro název tohoto plynu aplikována spíše jiná synonyma například „kalový plyn“, nebo „čistírenský plyn“. [2][5]

Shrneme-li fakta, tak termín „bioplyn“ se v praxi řadí výlučně jako plynný produkt anaerobní metanové fermentace organických látek uváděné též pod pojmy anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace anebo vyhnívání (u čistírenských kalů). Názvem „bioplyn“ je obecně míněna plynná směs metanu a oxidu uhličitého. [2][5]

V plynném produktu dobře prosperujících metanogenních mikroorganismů představuje suma CH_4 a CO_2 hodnoty velmi blízké 100 % obj., vždy s výraznou převahou

obsahu metanu. Protože se však v technické praxi nemusíme vždy potkat s takovýmto „ideálním“ bioplynem je zde ještě celá škála dalších plynů, které může bioplyn obsahovat. Mohou to být zbytky vzdušných plynů (N₂, O₂, Ar), neúplně spotřebované produkty acidogeneze (H₂, přebytek CO₂) anebo další minoritní a stopové příměsi z předcházejících anebo simultánních reakcí organické hmoty (H₂S, N₂O, HCN, uhlovodíky i jejich deriváty většinou kyslíkaté i sirné). Elementární složení bioplynu a jeho vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti jsou uvedeny v tabulce č. 3 a 4.[2][5]

Tabulka č. 3. Elementární složení bioplynu. Zdroj: [3].

Složka	Zastoupení
Metan (CH ₄)	54-65 % obj.
Oxid uhličitý	42-34 % obj.
Kyslík	Vždy pod 0,1 % obj.
Vodík	Pod 1 % obj.
Sulfan (H ₂ S)	do 450 ppm.m ⁻³ – nízký (rostlinné substráty)
	do 1800 ppm.m ⁻³ – vysoký (živočišné substráty)
	až 4500 ppm.m ⁻³ – extrémně vysoký (přítomnost síranů)
Dusík	Pod 3 % obj.
Halogenové uhlovodíky	Velmi nízké
Křemík (siloxany)	Velmi nízké

Tabulka č. 4. Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti bioplynu. Zdroj: [3].

	Bioplyn (CH ₄ 60 %, CO ₂ 38 %)	CH ₄	CO ₂	H ₂	H ₂ S
Výhřevnost [MJ.m ⁻³]	21,5	35,8	-	10,8	22,8
Zápalná teplota [°C]	650-750	650-750	-	585	-
Hustota [kg.m ⁻³]	1,21	0,72	1,98	0,09	1,54

Jedna z dalších kapitol týkající se bioplynů jsou plyny tvořící se samovolně ve skládkách odpadů, které v sobě obsahují biologicky rozložitelné části. Přesto že jde principálně o zcela stejné procesy, jako u reaktorové biometanizace, se složení skládkových plynů mění.

V závislosti na svém původu (na druhu biomasy, ze které vznikl) může bioplyn obsahovat některé nežádoucí sloučeniny. Tyto komponenty mají především vliv na životnost vybraných technologických celků. Z hlediska legislativy ochrany ovzduší je nutno především

věnovat pozornost dodržení emisních limitů sirnatých sloučenin v bioplynu. Proto jsou některé BPS osazeny odsiřovacím systémem (jednotkou úpravy bioplynu). Přehled základních způsobů využití bioplynu v návaznosti na jeho úpravu je zobrazen v tabulce č. 3.[2][5]

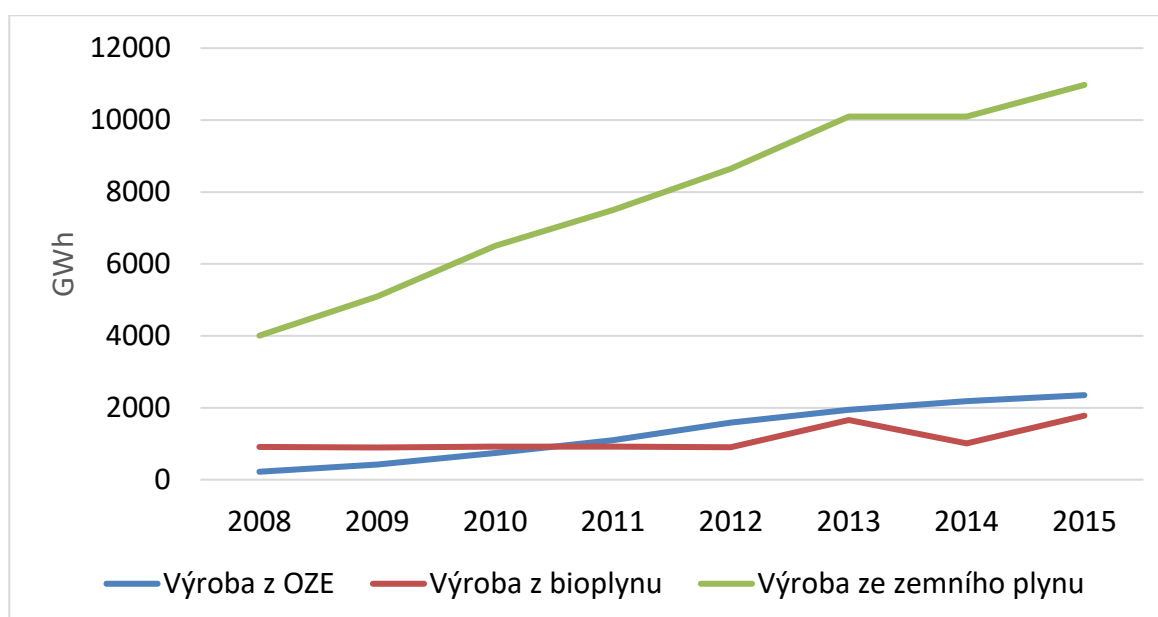
Tab. č. 5. Přehled základních způsobů využití bioplynu. Zdroj: [10].

Bioplyn					
Odsiření	Odsiření		Úprava plynu	Úprava plynu	Úprava plynu
↓	↙	↘	↓	↓	↓
Bojler	Kogenerace	Trigenerace	Zušlechtění	Zušlechtění	Stlačení
↓	↓	↓	↓	↓	↓
teplo	Elektřina	Elektřina	Palivový článek	Stlačení	Tlaková nádoba
	↓	↓	↓	↓	↓
	Tepllo	Tepllo a chlad	Elektřina a tepllo	Síť zemního plynu	Palivo

3.3.1 Aktuální stav využití bioplynu v České republice

Ke 31. 12. 2015 evidovala Česká bioplynová asociace (CzBA) 507 bioplynových elektráren (zemědělských, komunálních, ČOV, skládek), dosahujících 358 MW instalovaného výkonu. Podíl bioplynu na obnovitelných zdrojích energie – OZE představoval 24,7 %. V České republice převažují zemědělské bioplynové stanice o výkonu nad 550 kW. [5]

Odhad potenciálu výroby bioplynu v České republice se pohybuje od 1.250 mil. m³ CH₄ za rok (Česká bioplynová asociace) po 1.400 mil. m³ CH₄ za rok. [5]



Obr. č. 3. Statistika výroby bioplynu. Zdroj: [5].

3.4 Biometan

Biometan, neboli vyčištěný bioplyn, je bioplyn obsahující aspoň 95 % metanu. Má nejnižší emise skleníkových plynů a v porovnání s ostatními konvenčními biopalivy i nejnižší spotřebu energie v celém životním cyklu, zejména je-li produkován z odpadní biomasy.

SWOT analýza biometanu

Výhody:

- kvalita srovnatelná se zemním plynem => možnost vyskladnění do plynovodní sítě,
- vyšší účinnosti energetického využití oproti kogeneračním jednotkám,
- regulovatelný a skladovatelný zdroj energie,
- stálý zdroj energie,
- tvoří uzavřený koloběh živin,
- obnovitelný zdroj – ekologický z hlediska emisí CO₂,
- možná finanční podpora prostřednictvím evropských fondů či výkupních cen pro obnovitelné zdroje energie,
- nejlepší palivo z pohledu GHG emisí (1 uhlík v molekule CH₄),
- v porovnání s ostatními biopalivy má nejvyšší energetická účinnost.

Nevýhody:

- nedostatečná legislativa,
- omezený potenciál,
- nákladné technologie na čištění a úpravu bioplynu,
- poměrně velké investiční náklady.

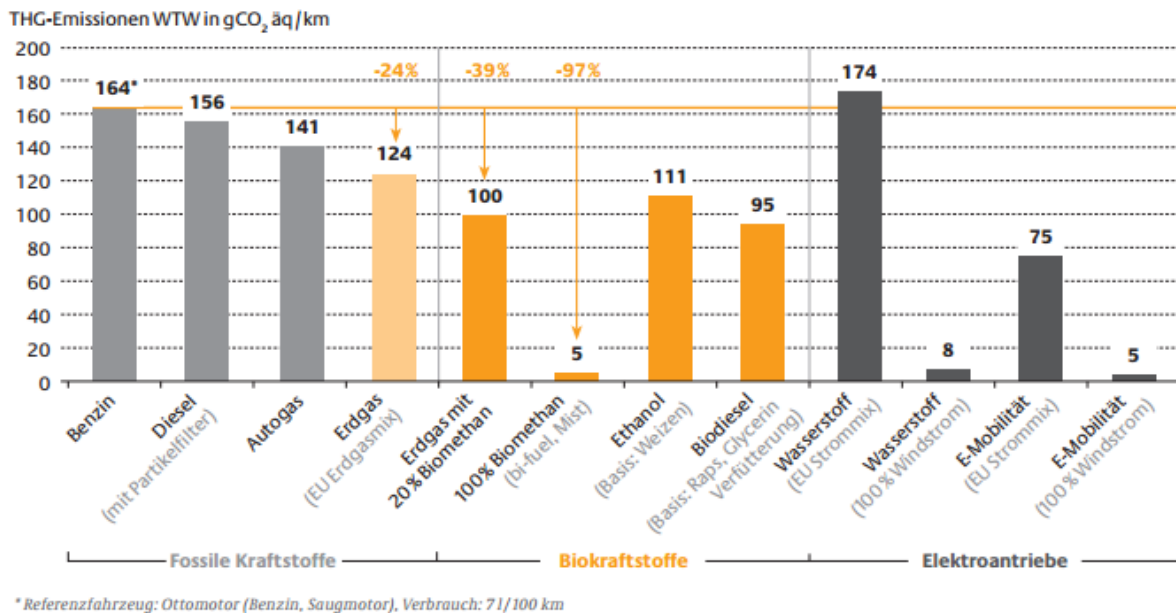
Překážky:

- nedostatečné znalosti a zkušenosti s technologiemi výroby a použití biometanu,
- rozdílná legislativa členských zemí EU, nejednotnost, někdy i neexistence potřebných předpisů a norem pro využití biometanu, jeho úpravu a dopravu,
- nejistota investorů v „nové“ oblasti využití bioplynu.

3.5 Využití bioplynu v dopravě jako alternativního a obnovitelného paliva

Alternativní zpracování bioplynu bylo v hledáčku zájmu investorů od prvo počátku rozvoje bioplynových stanic v ČR. Jedna z možností využití bioplynu je vyčistit ho na kvalitu zemního plynu a dále s ním zacházet naprosto stejně. Mimo využití do rozvodné sítě pro domácnosti ho lze využít jako stlačený, nebo zkapalněný zemní plyn pro pohon osobních či nákladních automobilů, nebo také zemědělských strojů. Je tedy možné použít bioplyn přímo v místě jeho výroby.

Oproti fosilním palivům je bioplyn ekologicky šetrnější pohonnou hmotou. Na obrázku č. 4 je vidět srovnání jeho produkce oxidu uhličitého na 100 ujetých kilometrů. Jedná se o jednu z nejnižších hodnot produkce CO₂ a jeho vypouštění do ovzduší.



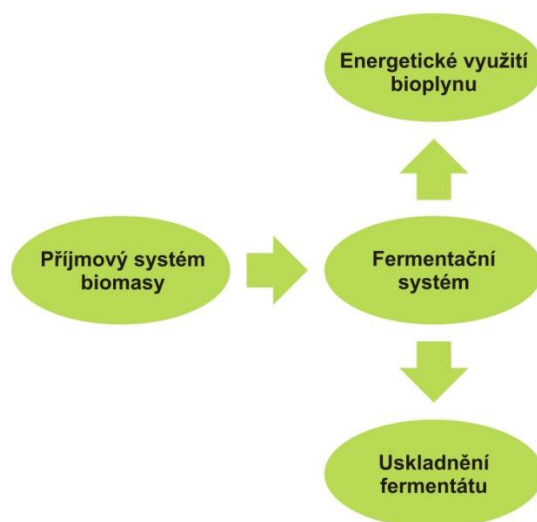
Obr. č. 4. Porovnání jednotlivých druhů paliva v produkci oxidu uhličitého na 100 ujetých kilometrů. Zdroj: [21]

Požadavky na bioplyn využívaný jako palivo v dopravě stanovuje v českém prostředí ČSN 65 6514 (656514) Motorová paliva - Bioplyn pro zážehové motory - Technické požadavky a metody zkoušení.

4 ZHODNOCENÍ TECHNICKÝCH ZAŘÍZENÍ PRO ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOPLYNU

4.1 Bioplynová stanice pro mokrou fermentaci

Nejpoužívanější technologií výroby bioplynu s bohatými referenčními odkazy je tzv. „mokrú fermentace“, která zpracovává substráty s výsledným obsahem sušiny <12 %. Mokrú anaerobní fermentace probíhá v uzavřených velkoobjemových nádobách (fermentorech / reaktorech). Tyto nádoby jsou vyhřívány na navrženou provozní teplotu (běžně 35°C až 55°C) a míchány. Technologická linka je tvořena čtyřmi základními stavebně-technologickými celky (viz následující obrázek):



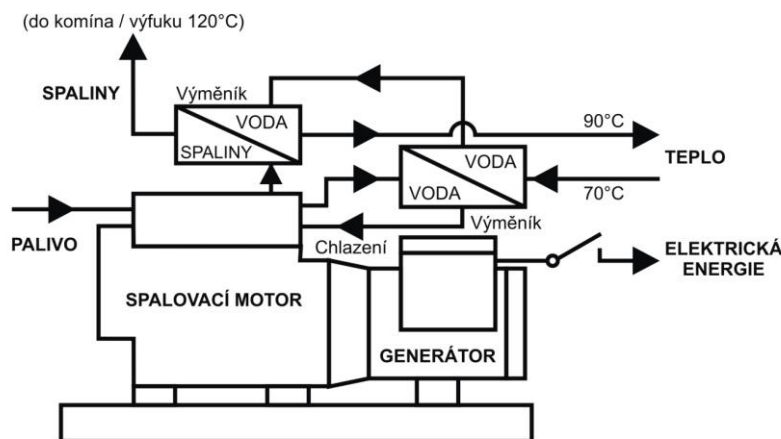
Obr. č. 5. Blokovo schéma technologie mokré fermentace. Zdroj: [3].

- **Příjmový systém biomasy:** slouží pro přípravu čerstvého substrátu před jeho vstupem do fermentoru (úprava velikosti částic, míchání, homogenizace, úprava TS, ředění, apod.) a jeho optimální dávkování do anaerobního procesu. Podle druhu zpracovávané BM sestává z příjmového zásobníku tuhé BM (TS > 20 %) a příjmové jímky kapalné BM (TS < 12 %).
- **Fermentační systém:** zde probíhá vlastní anaerobní vyhnívání v čistě anaerobním prostředí. Běžně se využívá několik základních koncepcí fermentačního systému, např.:
 - fermentor s integrovaným plynojemem,
 - fermentor + samostatný plynojem,
 - fermentor typu "kruh v kruhu" + samostatný plynojem,
 - fermentor + dohnivací nádrž s integrovaným plynojemem, apod.

Navíc lze fermentory koncipovat jako nadzemní, podzemní či částečně zapuštěné do terénu. Případné částečné/úplné zapuštění fermentoru do terénu záleží nejen na přání investora, ale i na dalších okolnostech (např. potřeba úprav podloží z důvodu jeho snížené únosnosti, nutnost potlačení vlivu stavby na charakter krajiny, apod.). [3]

- **Uskladňovací systém fermentátu:** stabilizovaný materiál po fermentaci (tzv. fermentační zbytek nebo také digestát / fermentát) je nutné uskladňovat v souladu se zásadami správné zemědělské praxe. V případě, že je fermentační zbytek separován na tuhou frakci (sušina \approx 25 až 35 %) a kapalnou fází / fugát (sušina $<$ 1 %) je nutné koncipovat uskladňovací systém pro obě frakce. Tuhá frakce se běžně uskladňuje na stávajících hnojištích nebo vodohospodářsky zabezpečených plochách. Fugát (sušina $<$ 1 %) resp. neseparovaný fermentační zbytek (sušina \approx 4 až 10 %) se uskladňuje ve vhodně dimenzovaných jímkách. Potřebná velikost uskladňovacího systému u farmářských BPS je volena s ohledem na splnění zásad správné zemědělské praxe (běžně pro dobu 140 až 150 dnů). Separční zařízení (kalolis, odstředivka, centrifuga, apod.) bývá osazováno např. z důvodu záměrného využití fugátu pro ředění čerstvého substrátu na požadovanou procesní sušinu nebo v případě zvláštních technologických požadavků farmy. Vlivem recirkulace fugátu se úměrně snižuje potřebná velikost uskladňovací jímky a snižuje spotřeba ředící vody. Je ovšem potřeba pravidelně kontrolovat obsah dusíku v recirkulovaném fugátu, a to z důvodu zamezení inhibičním vlivům na anaerobní proces.
- **Energetické využití bioplynu:** obecně lze využívat BP mnoha způsoby, např.:
 - výroba tepla v teplovodních (horkovodních) resp. parních kotlích,
 - kombinovaná výroba elektřiny a tepla (KVET) v kogeneračních jednotkách (různé principy),
 - čištění BP a jeho prodej do plynárenské sítě resp. provozovatelům jiných energetických systémů (CZT, průmyslové teplárny, apod.),
 - čištění a jeho využití pro pohon dopravní techniky, automobilů, apod.

Z hlediska aktuálních podmínek na trhu s energiemi v ČR se bioplyn nejčastěji využívá pro kombinovanou výrobu elektřiny a tepla v tzv. kogeneračních jednotkách KGJ na bázi pístových spalovacích motorů – princip je naznačen na obrázku č.6.



Obr. č. 6. Princip KGJ s pístovým spalovacím motorem. Zdroj: [3]

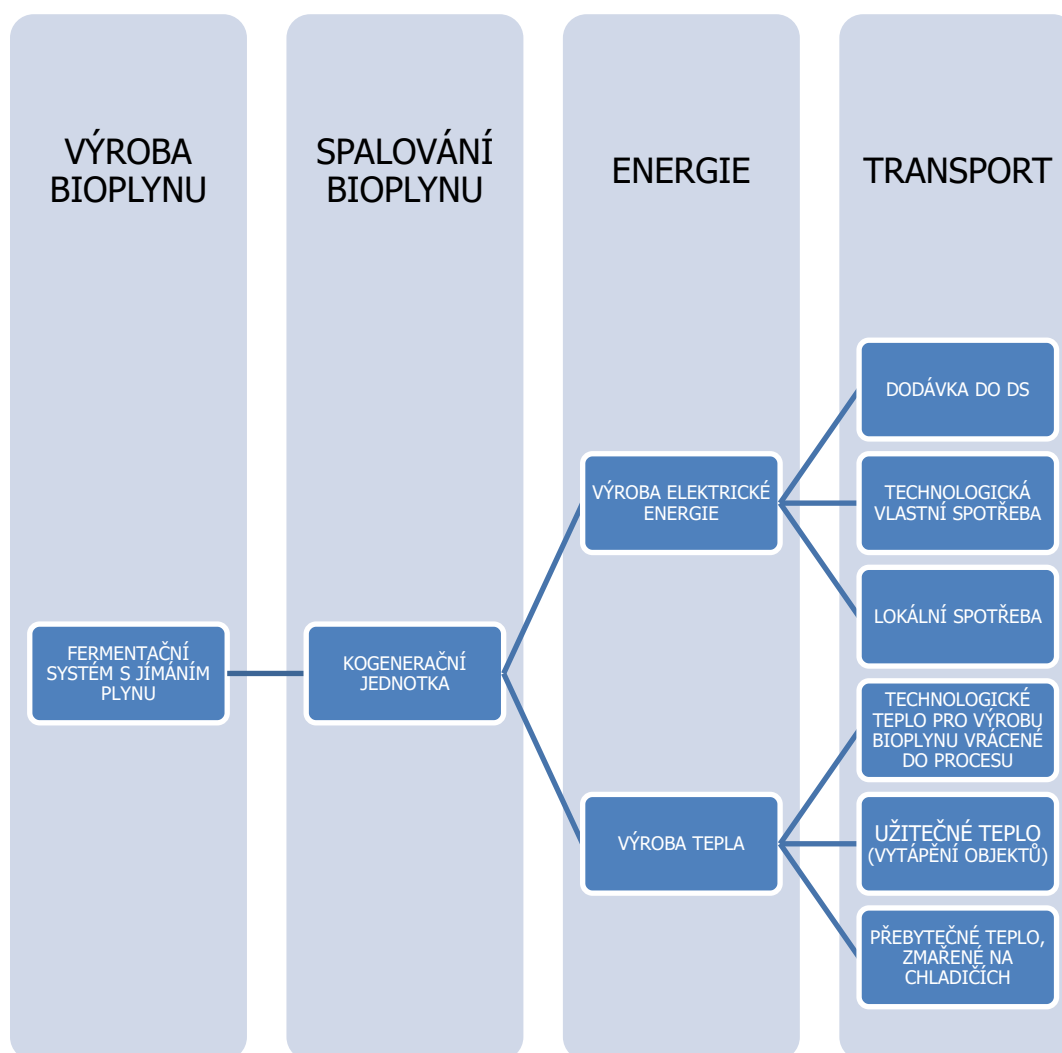
Sledovaná zemědělská BPS Bláto se nachází v areálu Farmy Bláto. Přesná lokalizace této provozovny je uvedena v tabulce č. 4. Celá technologie BPS byla navržena jako nízkotlaká, uzavřená, těsná. Jedná se o bioplynovou stanici s jedním reaktorem, jednou oddělenou fází fermentace a jedním fermentačním stupněm (mezofilní, anaerobní fermentační proces). Přesné rozmístění jednotlivých částí technologie najdeme v situačním plánu, který tvoří přílohu č. 1. Příloha č. 2 pro doplnění obsahuje provozní schéma s jednotlivými přepravními trasami. Farma Bláto provozuje živočišnou i rostlinnou výrobu. Proto jsou vstupy do BPS zajištěny z vlastních zdrojů. Hlavní složkou vstupní biomasy do fermentoru je kukuřičná siláž s výtěžností 170 – 240 m³ bioplynu z jedné tuny. Denní dávkování kukuřičné siláže do dávkovače pevných substrátů se pohybuje od 9 do 14 tun v návaznosti na její kvalitu.

Při používání kukuřičné siláže je proces ve fermentoru stabilní bez větších nároků na odsiřování v podobě chemických přípravků jako je např. Desulfan od společnosti agriKomp Bohemia. Základní odsiřování bioplynu je prováděno formou tzv. mikroaerofilního odsiřování. Princip odsiřování spočívá v biochemické oxidaci plynného sulfanu, kterou vykonávají chemolitotrofní bakterie (Thiobacillus, Beggiatoa, Thiotrix atd.). Činnost těchto aerofilních bakterií je podporována zavzdušňováním volného reakčního prostoru fermentorů, dávkování přiváděného vzduchu je prováděno vždy v adekvátních dávkách tak, aby nedošlo ke snížení kvality vyvíjeného bioplynu a snížení bezpečnosti provozu.

Tabulka č. 6. Lokalizace BPS Bláto. Zdroj: [3].

Kraj:	Středočeský
Okres:	Kutná Hora
Obec:	Uhlířské Janovice
Katastrální území / kód katastru:	Bláto / 773191
Vymezení	St. 101/2
GPS:	49°53'31.53"N 15°1'43.89"E

Bioplynová stanice Bláto byla spuštěna do provozu v prosinci 2012. Jedná se o podporovaný obnovitelný zdroj v režimu ročního Zeleného bonusu s efektivním využitím vyrobené tepelné energie. Zelený bonus za elektřinu při spalování bioplynu AF1 byl pro období 2017 stanoven Cenovým rozhodnutím Energetického regulačního úřadu č. 9/2016 ze dne 14. prosince 2016 ve výši 3.460,00 Kč za MWh. Přebytky elektrické energie jsou dodávány do distribuční soustavy za smluvní cenu 885 Kč za MWh.



Obr. č. 7. Blokové schéma výrobního procesu. Zdroj: [3].

4.1.1 Popis technologického zařízení BPS Bláto

Silážní plato

Jedná se o vyspádanou betonovou plochu, která slouží k uskladnění vstupní suroviny do bioplynové stanice (konzervace a skladování siláže). Kontaminovaná voda je jímána do kanalizačního systému a následně svedena do příjmové jímky ke zpracování.

Fermentační nádrž je uzpůsobena pro přímé zpracování pouze homogenních či předupravených organických materiálů. V případě zpracování rostlinných materiálů je důležitá jejich předúprava na velikost částic menších než 5 cm.

Silážovaná hmota, která je umístěna na silážní plato se musí za pomoci těžké zemědělské techniky řádně udusat, aby došlo k vytlačení vzduchu. Tato hmota se zakývá plachtami nebo fóliemi, aby nedocházelo ke zbytečným ztrátám, které by přístup vzduchu způsobil. Za předpokladu, že je silážní prostor čistý, jsou ztráty biomasy po dobu silážování v důsledku biologické degradace 9 – 12 %. Specificky pro kukuřici jsou tyto ztráty přibližně 10 %. V případě, že by siláž nebyla dostatečně udusaná a zakrytá, budou tyto ztráty podstatně vyšší (v důsledku prodýchávání).

V září 2016 bylo na plochu silážního plata BPS Bláto umístěno 4 307 011 kg kukuřičné siláže. Toto množství je dostatečné pro roční provoz BPS. Kukuřice byla vypěstována na vlastní a pronajaté zemědělské půdě. Tyto pozemky jsou hnojeny vlastním digestátem, který vzniká provozem BPS.

Kukuřičná siláž je 2x denně navržena za pomoci manipulátoru JCB do dávkovače pevných substrátů, přes který se dostává jako palivo do fermentoru.



Obr č. 8. Silážní plato. Foto: autor.

Dávkovač pevných substrátů

Dávkovač pevných substrátů V-Mix Bio 16 o objemu 16 m³ je tvořen ocelovou vodotěsnou vanou s vertikálním míchacím a řezacím ústrojím. Dávkování pak probíhá díky tlačnému šneku DN500 přímo pod hladinu reaktoru. Zařízení je vybaveno vážícím systémem. Max. hmotnost náplně je 5 000 kg. Dávkování substrátu probíhá kontinuálně v minimálních časových intervalech.



Obr. č. 9. Dávkovač pevných substrátů V-Mix Bio 16. Foto: autor.

Příjmová jímka

Příjmová jímka o objemu 100 m³ slouží ke skladování tekutých, čekatelných substrátů na dobu nezbytně nutnou před dávkováním do fermentoru. Příjmová jímka je zastropená, větraná. Je osazena čerpadlem pro dávkování do fermentoru přes uzel čerpacího centra. Čerpadlo je schopno odčerpat 1 200 litrů substrátů za minutu. Výška hladiny se kontroluje pomocí sonaru.

Fermentor

Pro zajištění optimálního průběhu anaerobní fermentace slouží betonový kruhový fermentor s pevným stropem o celkovém objemu 1 885 m³ a užitém objemu 1 727 m³. Vnitřní průměr fermentoru je 20 m a výška válcové stěny 6 m. Provozní tlak fermentoru je 250,0 Pa a k zajištění jeho bezpečnosti



Obr. č. 10. Fermentor. Foto: autor.

slouží kapalinová pojistka s maximálním otevíracím tlakem 275,0 Pa. Reaktor je vybaven třemi kalovými míchadly AT-MIX 16M4P, atex o výkonu 11 kW, která v určitých cyklech promíchávají zpracovávaný substrát. Provozní hladina substrátu je 5 m. Kromě problematiky míchání je nutné přihlížet i k zajištění ohřevu substrátu na optimální teplotu v rozpětí 38 – 42°C. Hlavním produktem anaerobní fermentace organické hmoty ve fermentoru je bioplyn. Hodinová produkce bioplynu ve fermentoru v návaznosti na probíhající fermentaci je 100 m³/h. Doporučené množství přiváděného vzduchu dle aktuální produkce bioplynu pro odsíření bioplynu je 0,5 až 5 % z aktuální produkce bioplynu. Vedlejším produktem je stabilizovaný anaerobní materiál (fermentační zbytek, digestát, fermentát), který je prostřednictvím přečerpávacího centra vyveden potrubím do koncového skladu. Zatížení fermentoru sušinou je do 12 % hm.

Fermentor je srdcem bioplynové stanice a proto je zde prováděn pravidelný biologický dozor. Dvakrát do měsíce jsou odebírané vzorky digestátu u kterých se hodnotí 13 parametrů. Tyto parametry najdeme v tabulce č. 5. Na základě naměřených hodnot se upravují krmné dávky, přidávají stopové prvky nebo provádí ředění obsahu fermentoru.

Tabulka č. 7. Sledované hodnoty v rámci biologického dozoru. Zdroj: BPS Bláto, Vyhodnocení sledovaných parametrů biologického dozoru, 1. Března 2017

Sledované hodnoty	Optimální hodnota
pH (1)	7,2 - 8,0
FOS Hodnota sumy organických kyselin (mg/l)	< 5 000
TAC Hodnota stability procesu (mg/l)	> 10 000
Poměr FOS/TAC (1)	< 0,4
Kyselina octová (mg/l)	< 3 000
Kyselina propionová (mg/l)	< 1/2 kys. octové, < 800
Kyselina máselná (mg/l)	< 500
Kyselina valerová (mg/l)	< 500
TS Celková sušina (% ČM)	5,0 - 10,5
oTS Organická sušina (% ČM)	< 10,5
oTS (% TS)	> 60 %
NH4-N Amoniakální dusík (mg/l)	1 500 - 3 000
El. vodivost (mS/cm)	10 - 40

Plynojem (skladování bioplynu)

Zavěšený vakový plynojem o celkovém objemu 475 m³ je stavba sloužící k jímání a uskladňování bioplynu vyrobeného ve fermentoru. Průměr plynojemu je 8 m a jeho výška 9,5 m. Plynový vak je tvořen jednovrstvou gumotextilní membránou, která zavěšena. Ze spodu jsou připojeny příruby DN150, vstupní / výstupní. Celé plynové potrubí včetně vaku je odvodněno do šachty na kondenzát. K zabezpečení plynojemu slouží kapalinová pojistka s maximálním otevíracím tlakem 275,0 Pa.



Obr. č. 11. Plynojem. Foto: autor.

Jednotka úpravy plynu

Kogenerační jednotce je předřazena jednotka úpravy plynu GAM120-V3 (s výrobníkem studené vody) od firmy SCHNELL Motoren AG, která slouží k odvodnění a odsíření plynu, aby byla zajištěna jeho maximální kvalita. Modul GAM120-V3 slouží výhradně k úpravě bioplynu za účelem následného spalování ve vznětových agregátech se zápalným paprskem.

U moderních bioplynových stanic již není vzhledem k větším průtokům plynu a vyšším teplotám ve fermentoru možné bioplyn dostatečně zchladit v zemi. Obsah vlhkosti v bioplynu se tak pohybuje v rozmezí, které může způsobit poškození vznětového agregátu se

zápalným paprskem (např. poškození motoru vodním rázem nebo koroze plynových armatur). Modul na úpravu plynu GAM120-V3 zchladí bioplyn do té míry, že nežádoucí podíl vody zkondenzuje. Kondenzát zároveň vylučuje škodlivé stopové prvky, jako např. čpavek nebo metanol. Odvod kondenzátu slouží k zachycování vody, která se odloučí v modulu na úpravu plynu přes sifon.

Bioplyn proudí potrubím z plynové nádrže do modulu na úpravu plynu (GAM). V modulu na úpravu plynu proteče teplý a vlhký bioplyn vlnovcovým výměníkem tepla, kde se zchladí, a odloučí se z něj vlhkost a značná část čpavku. Následně se studený a odvlhčený bioplyn ve druhém výměníku tepla, který je ohříván teplou vodou, znovu zpětně zahřeje na teplotu cca 20 – 25°C, při níž dosahuje filtr aktivního uhlí, který je zapojen za výměníkem, plné účinnosti. Ve filtru aktivního uhlí se obsah škodlivin, které v bioplynu ještě zůstaly, sníží pomocí adsorpce na aktivním uhlí na minimum.

Díky tomu, že se v modulu na úpravu plynu odloučí podíl vodní páry obsažený v bioplynu, se efektivně zvýší i účinnost kogenerační jednotky, protože energie, která by byla potřeba k ohřevu tohoto podílu vodní páry ve spalovacím motoru, může být nyní využita k dalšímu zvýšení výkonu motoru. Kromě toho v důsledku odvlhčení klesá nereaktivní podíl v bioplynu, což přispívá k efektivnějšímu plnění válců.

U modulu na úpravu plynu je instalován hlídač podtlaku a hlídač přetlaku:

- **Hlídač podtlaku** vypne agregát (v provozu na plyn) v případě, že bude plynový zásobník (plynojem) prázdný, a chrání tak bioplynovou stanici před nasátím vzduchu do plynového systému,
- **Hlídač přetlaku** spustí agregát, když je plynový zásobník plný (v provozu na plyn a v automatickém provozu).

Před modulem na úpravu plynu je umístěna kontrolní přípojka (tlačítkový kohout) za účelem odběru vzorků bioplynu (např. kvůli měření obsahu sirovodíku nebo čpavku). Stejná kontrolní přípojka je umístěna před kogenerační jednotkou tzn. za modulem na úpravu bioplynu. Na základě indikačního měření odebraných vzorků bioplynu detekční trubičkou se při naměřených nadlimitních hodnotách provádí v modulu úpravy plynu výměna náplně aktivního uhlí. Indikační měření se provádí v pravidelných týdenních intervalech. Výměna aktivního uhlí se v návaznosti na kvalitu bioplynu mění cca 1x měsíčně.

Technické údaje modulu pro úpravu bioplynu GAM120-V3:

- Max. průtok bioplynu: 120 m³/h
- Přípustný provozní tlak : -20 až +20 mbar
- Termický jmenovitý chladicí výkon 5,18 kW
- Nejnižší teplota plynu: 7°C
- Plnicí množství aktivního uhlí: 50 kg
- Elektrický jmenovitý příkon 1,89 kW
- Rozměry D x Š x V (bez chladicího agregátu): 900 x 375 x 1550 mm
- Materiál: Ušlechtilá ocel 1.4571



Obr. č. 12. Jednotka úpravy plynu GAM120-V3. Foto: autor.

Kogenerační jednotka

Bioplyn, který se vyvíjí ve fermentační nádrži, je odváděn pomocí plynového potrubí do plynojemu a dále přes modul úpravy bioplynu ke kogenerační jednotce. Bioplyn je palivem pro plynový motor umístěný v kogenerační jednotce, který roztáčí generátor.

Generátor vyrábí elektrickou energii, která je přes trafostanici dodávána do distribuční sítě. Odpadní teplo od spalovacího motoru se primárně používá na udržení teploty substrátu ve fermentoru. Přebytek tepla se využívá v areálu pro vytápění budov a ohřevu užitkové vody.



Obr. č. 13. Kogenerační jednotka ZS 265TC-V5. Foto: autor.

Základní technické parametry kogenerační jednotky SCANIA – SCHNELL ZS 265TC-V5:

- Objem válců: 11,7 l,
- Válce: 6 v řadě,
- Počet otáček: 1 500 min⁻¹,
- Generátor: Synchronní generátor Stamford HCI434F (370 kVA),
- Elektrický výkon: 265 kW,

- Elektrická účinnost: 45 %,
- Tepelný výkon: 218 kW,
- Tepelná účinnost: 37 %,
- Jmenovitý tepelný příkon: 589 kW.

Vznětový agregát ZS 265TC-V5 se skládá ze vznětového motoru se zápalným paprskem, alternátoru a rozvaděče s integrovaným ovládacím panelem. Jedná se o zařízení, které pracuje na principu vazby elektrina – teplo. Jedná se o spalovací motor, který pohání generátor k výrobě elektrické energie. Agregát je instalován ve strojovně, kde se odpadní teplo z chladicí vody motoru a spalin odvádí prostřednictvím výměníku tepla do tepelných rozvodů. Odtud se teplo vede do různých tepelných spotřebičů. Vznětový agregát se zápalným paprskem instalovaný ve strojovně se označuje jako kogenerační jednotka.

Ve vznětovém agregátu se zápalným paprskem je k zapálení směsi plynu a vzduchu potřeba malé množství zapalovacího oleje (cca 4 – 6 %). Pro zvýšení účinnosti celého zařízení je instalován ve spalinové větvi TurboCompound. Horký plyn, který je spalinovou větví odváděn z agregátu, obsahuje ještě určité množství zbytkové energie. V zařízení TurboCompound plyn narazí na oběžné kolo a jeho zbytková energie se mění na energii kinetickou v podobě otáčivého pohybu kola. Tento otáčivý pohyb se pomocí hydraulické spojky a soustavy ozubených kol přenáší na klikový hřídel.

Možné provozní režimy vznětového agregátu se rozlišují podle následujících hledisek:

- **řízení:** ruční nebo automatický provoz,
- **přiváděné palivo:** provoz na plyn, provoz na zapalovací olej nebo střídavý provoz,
- **napojení na veřejnou elektrickou síť:** paralelní provoz se sítí.

Kogenerační jednotka je vybavena následujícími bezpečnostními zařízeními:

- 2 hlavní vypínače,
- 2 hříbová tlačítka nouzových vypínačů,
- výstražné zařízení signalizující únik plynu,
- kouřové čidlo.

Čerpací centrum

Čerpací centrum slouží k přečerpávání substrátu a odtahování digestátu jako všesměrný uzel. Je umístěno v kontejneru. Dále obsahuje analyzátor plynu a dávkovací potrubí vzduchu pro odsíření bioplynu.



Obr. č. 14. Čerpací centrum. *Foto: autor.*

Koncový sklad

Otevřený koncový sklad s užitným objemem 2 950 m³ slouží ke skladování vyhnilého kalu (digestátu). Vnitřní průměr koncového skladu je 41,32 m a jeho výška 2,5 m. Výška provozní hladiny je nad 1,2 m. Sušina uskladněného digestátu se pohybuje v rozpětí 6 – 8 %. Koncový sklad digestátu je osazen třemi ponornými kalovými míchadly AT-MIX 13 M4P / 7,5 kW.

Digestáty ze zplynování rostlinné biomasy jsou používány jako hnojivo pro zemědělskou půdu. Digestát je třeba aplikovat na pozemku rovnoměrně a je nutno zamezit jeho vniknutí do povrchových vod nebo na sousední pozemek. Aplikace digestátu je předmětem evidence použitých hnojiv.

V případě, že je digestát používán na pozemcích producenta, nemusí být registrován jako organické hnojivo. V případě, že je digestát šířen do oběhu prodejem nebo jiným způsobem převodu, musí být provedena jeho registrace na Ústřední kontrolní a zkušební ústav zemědělský (ÚKZÚZ) podle §3a zákona č. 156/1998 Sb., o hnojivech.



Obr. č. 15. Koncový sklad digestátu. Foto: autor.

Pojistný hořák

Pro případ dlouhodobějšího výpadku kogenerační jednotky je instalováno zařízení pro spalování zbytkového bioplynu **HSB 150** (fléra). Toto zařízení spaluje přebytečný bioplyn během doby, než je zpětně spuštěna kogenerační jednotka nebo utlumen fermentační proces. Tímto je zamezeno unikání přebytečného bioplynu do ovzduší.

Základní technické parametry zařízení pro spalování zbytkového bioplynu HSB 150:

- Tlak plynu min/max: **3/5 kPa**,
- Maximální množství plynu: **150 m³/hod**,
- Maximální tepelný příkon: **2 300 kW**,
- Elektrický příkon: **0,3 kW**.



Obr. č. 16. Pojistný hořák HSB 150. Foto: autor.

Tepelné hospodářství

Tepelné hospodářství zajišťuje efektivní využití a přenos vyvedeného odpadního tepla z KGJ teplovodem. Toto nejjednodušší technické řešení je vzhledem k investičním a provozním nákladům (relativně vysoké teplené ztráty a čerpací práce) vhodné pouze pro malé vzdálenosti max. do 1 km. Část odpadního tepla se využívá pro vlastní spotřebu (vyhřívání fermentoru) a zbytek tzv. užitečného tepla se využívá např. k sušení dřeva a zemědělských produktů, přípravě teplé vody a vytápění objektů.



Obr. č. 17. Rozvodna tepla. *Foto: autor.*

4.1.2 Data naměřená z běžného provozu BPS

V tabulce č. 8 jsou zaznamenána data z pravidelného sledování provozu BPS Bláto v měsíci prosinec 2016. Data byly načteny z monitoringu a stanovených měřidel. Ve sledovaném měsíci bylo přes dávkovač pevných substrátů V-Mix Bio 16 aplikováno do fermentoru 383,9 tun biomasy (kukuřičné siláže). Průměrná denní dávka kukuřičné siláže byla 12,4 tun. Z celkového množství aplikované biomasy dokázal fermentor při optimální teplotě 38 – 42 °C vyrobit 87 415 m³ bioplynu. Průměrná denní hodnota vyrobeného bioplynu vychází na 2 819,8 m³. Měsíc prosinec měl 31 dnů tj. 744 hodin. Kogenerační jednotka SCHNELL ZS 265TC-V5 byla v provozu 737 hodin. Během 7 hodin při kterých kogenerační jednotka nebyla v provozu byl prováděn servis anebo byl zaznamenán výpadek distribuční sítě (DS). K zapálení směsi plynu a vzduchu bylo spotřebováno kogenerační jednotkou 1 912 kg zapalovacího oleje (LTO). Průměrná denní spotřeba tohoto oleje byla 61,7 kg. Za měsíc prosinec 2016 bylo kogenerační jednotkou s instalovaným elektrickým výkonem 265 kW a instalovaným tepelným výkonem 218 kW vyrobeno 195 201 kWh elektrické energie a 182,5 GJ tepla.

Kvalitu vyrobeného bioplynu sleduje obsluha BPS pouze s pozice výroby, bezpečnosti a ochrany technologie. Pomocí analyzátoru se sleduje metan (CH₄) a kyslík (O₂). Během mé návštěvy na BPS Bláto mi nebylo z bezpečnostních důvodů umožněno výše uvedené analyzátoři sledovat. Dle sdělení obsluhy se hodnota metanu pohybuje mezi 54 – 65 % obj. Kyslík vždy pod 0,1 % obj. Obsah metanu závisí především na složení a kvalitě aplikovaných substrátů a na teplotě. Dále se provádí 1x týdně měření obsahu sirovodíku za

pomocí detekčních trubiček. Naměření vyšší koncentrace ppm slouží jako signál pro výměnu náplně aktivního uhlí v jednotce úpravy plynu GAM120-V3.

Tab. č. 8. Přehled naměřených hodnot z běžného provozu BPS Bláto v měsíci prosinec 2016. Zdroj: [28].

Naměřená data z běžného provozu BPS Bláto - prosinec 2016						
Datum	Dávkovač (t)	Plynoměr (m ³)	Měřič paliva LTO (kg)	Vyrobena el. energie (kWh)	Provozní hodiny (hod.)	Vyrobené teplo (GJ)
1.12.2016	13,0	3361081	100678	7613929	33024	1126,4
2.12.2016	13,0	3366761	100802	7626470	33072	
3.12.2016	13,8	3369631	100864	7632841	33096	
4.12.2016	11,5	3372441	100926	7639211	33120	
5.12.2016	10,5	3375232	100989	7645500	33144	
6.12.2016	12,0	3378102	101052	7651870	33168	
7.12.2016	12,2	3380958	101114	7658241	33192	
8.12.2016	13,0	3383830	101176	7664612	33216	
9.12.2016	12,5	3386551	101236	7670646	33239	
10.12.2016	12,7	3389464	101298	7677017	33263	
11.12.2016	12,9	3392280	101359	7683234	33286	
12.12.2016	10,0	3395122	101422	7689605	33310	
13.12.2016	11,5	3397957	101485	7695975	33334	
14.12.2016	13,2	3400826	101547	7702346	33358	
15.12.2016	12,0	3403483	101606	7708296	33381	
16.12.2016	13,0	3405864	101658	7713590	33401	
17.12.2016	10,3	3408673	101721	7719961	33425	
18.12.2016	12,2	3411444	101783	7726332	33449	
19.12.2016	10,0	3414282	101844	7732702	33473	
20.12.2016	13,3	3417148	101906	7739073	33497	
21.12.2016	12,8	3419981	101968	7745444	33521	
22.12.2016	13,0	3422782	102030	7751815	33545	
23.12.2016	12,9	3425598	102093	7758186	33569	
24.12.2016	12,5	3428484	102155	7764557	33593	
25.12.2016	13,0	3431364	102217	7770929	33617	
26.12.2016	12,0	3434223	102278	7777300	33641	
27.12.2016	12,5	3437082	102340	7783671	33665	
28.12.2016	12,6	3439932	102403	7790043	33689	
29.12.2016	14,0	3442804	102466	7796415	33713	
30.12.2016	14,0	3445628	102529	7802758	33737	
31.12.2016	12,0	3448496	102590	7809130	33761	1308,9
1.1.2017	12,5	3451351	102652	7815502	33785	
Celkem prosinec 2016	383,9	87 415	1 912	195 201	737	182,5
Prům. denní hodnota	12,4	2 819,8	61,7	6 296,8	23,8	5,9

4.2 Čištění bioplynu

Bioplyn vycházející z bioplynové stanice má obsah metanu okolo 50 % objemu. Pro jeho použití jako palivo pro motorová vozidla na bioCNG se musí patřičně upravit. Čištěním bioplynu (tedy snížení obsahu příměsí sirných a dusíkatých sloučenin) a upgradingem (odstraněním převážně oxidu uhličitého) můžeme získat téměř čistý CH₄ (95 až 99,9 % objemu), ale záleží na použité technologii čištění. [5]

Tab. č. 9. Přehled požadovaných a reálných hodnot bioplynu. Zdroj: [6].

Parametr	Požadovaná hodnota – biometan (ČSN 65 6514)	Reálná hodnota – bioplyn
Obsah CH ₄	min. 95 % mol.	54 – 65 % (Ø 59,5 %)
Obsah H ₂ S	max. 10 mg.m ⁻³	20 – 1600 mg.m ⁻³ (Ø 570 mg.m ⁻³)
Obsah CO ₂ + N ₂ + O ₂	max. 5 %	-
Obsah CO ₂	(max. 2,5 %)	32 – 43,4 % (Ø 34,6 %)
Obsah N ₂		0,8 – 2,43 % (Ø 1,6 %)
Obsah O ₂		0,2 – 0,6 % (Ø 0,429 %)
Obsah H ₂ O	max. 32 mg.m ⁻³	2 - 7 %

1.1.1 Odstranění nežádoucích složek

Při použití bioplynu jako pohonné hmoty je v něm nutné zmenšit obsah CO₂ a společně se zvýšením obsahu CH₄ odstranit nežádoucí složky – především sulfan a vodu. Poměr mezi oxidem uhličitým a metanem velmi ovlivňuje energetickou a ekonomickou hodnotu bioplynu. Po kompresi je následně možné dodávat jej i do distribuční sítě zemního plynu.

- **Voda**

Špatný vliv: Zapříčiňuje korozi v potrubních systémech a zařízeních, zvyšuje nebezpečí zamrznutí systému či trysek při skladování za zvýšeného tlaku.

Odstranění: Je nutné bioplyn vysušit a odstranit tak jeho vlhkost, lze tak i snížit rosný bod a zabránit kondenzaci.

- **Sulfan**

Špatný vliv: Vytváří emise SO₂, může způsobit poruchy katalyzátorů či korozi ve spalovacím zařízení.

Odstranění: Nejčastěji se odstraňuje sulfan už při výrobě samotného bioplynu a to přidáváním kyslíku a chloridu železnatého do fermentátu. Při použití metody biologické desulface se využívají mikroorganismy (Thiobacillus) a umožňují dosáhnout až 95 % odstranění sulfanu a tedy snížit obsah sulfanu pod 50 ppm. Při použití metody využívající chlorid železnatý, který se přidává přímo do fermentované organické hmoty lze použít pro vysoké obsahy sulfanu, ale nedovoluje dosáhnout velmi nízkých a neměnných koncentrací. Další metoda pro odstranění sulfanu představuje metoda impregnovaného aktivního uhlí, kde je do uhlí přidáván jodid draselný. Sulfan je pak za přítomnosti vzduchu konvertován na elementární síru a vodu.

- **Vyšší uhlovodíky a halogenderiváty uhlovodíků**

Špatný vliv: Zapříčiňují nežádoucí korozní problémy ve především skládkovém bioplynu.

Odstranění: Odstraňují se za tlaku speciálně aktivovaným aktivním uhlím. Látky s objemově menší molekulou (metan. oxid uhličitý, kyslík, dusík) absorbentem projdou, ale velké se adsorbují.

- **Organokřemičité sloučeniny**

Špatný vliv: Siloxany jsou v bioplynu nežádoucí, protože jsou příčinou vzniku oxidu křemičitého při jeho spalování. Oxid křemičitý (SiO₂) způsobuje abrazivní porušení ve spalovacích částech motoru.

Odstranění: Pomocí speciálního absorpčního činidla, skládajícího se ze směsi uhlovodíků. Ty jsou schopny siloxany pohlcovat.

- **Další složky bioplynu s negativním vlivem na jeho využití:**

Čpavek – vytváří emise NOX a navyšuje antidetonační vlastnosti paliv

Prach – způsobuje zanášení trysek [6],[7]

4.2.1 Technologie pro odstraňování CO₂ z bioplynu

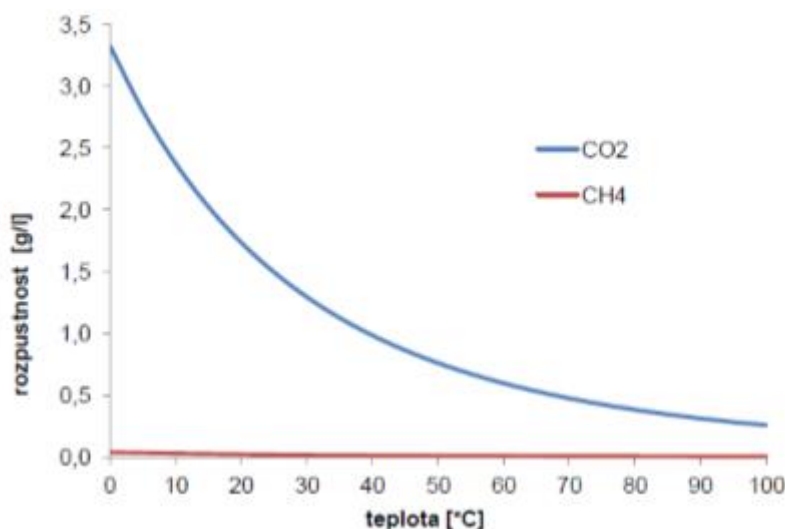
Dříve než lze použít bioplyn jako bio alternativu zemního plynu, musí se snížit obsah oxidu uhličitýho a nežádoucích prvků. Pro jejich odstranění existuje celá řada technologií. [6]

Jednotlivé technologie se velmi liší. V praxi se používají metody absorpce, adsorpce, membránové separace a metoda kryogenní separace. Dosud nejpoužívanější technologií je metoda vodní vypírky neboli absorpce. [7]

4.2.1.1 Absorpce

Tlaková vodní vypírka
/Pressure Water Absorption/

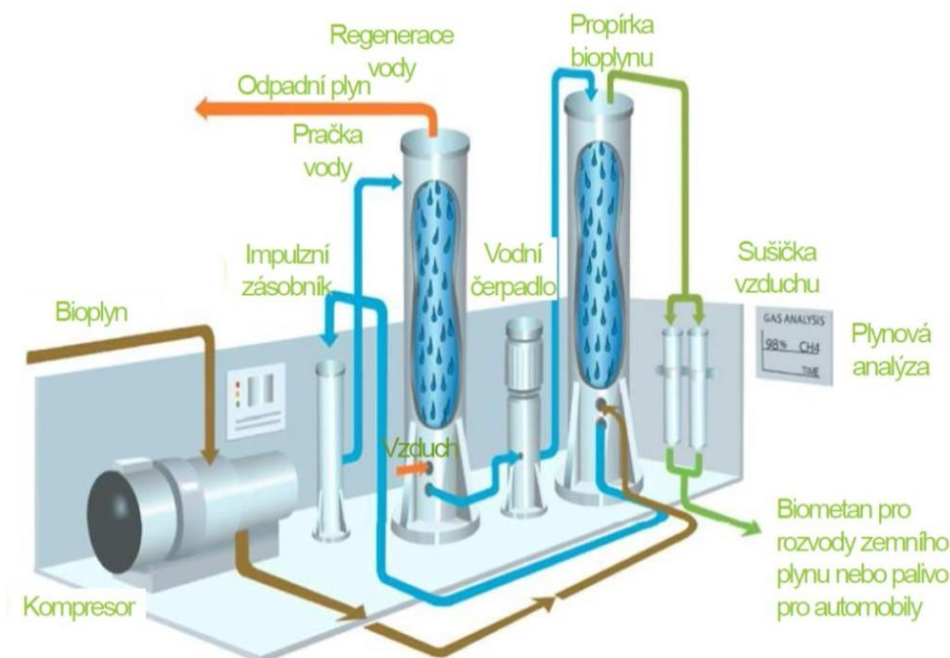
Absorpční odstranění oxidu uhličitýho z bioplynu se zakládá na rozpustnosti metanu ve vypírací kapalině. Zachycený oxid uhličitý je z prací kapaliny uvolněn vlivem změny fyzikálních podmínek. Po skončení absorpce může být kapalina regenerována buď snížením jejího tlaku, nebo zahřátím na vyšší teplotu.



Obr. č. 18. Rozpustnost CO₂ a CH₄ ve vodě v závislosti na teplotě. Zdroj: [6].

Metoda absorpce se rozděluje na fyzikální, nebo chemickou a to podle způsobu pohlčení plynů. Proces čištění probíhá následovně. Bioplyn nejprve projde vodní čističkou. Surový bioplyn je dvoustupňově komprimován na pracovní tlak 0,4 – 0,7 MPa, a ochlazen na teplotu 15°C a následně přiveden na dno absorpční kolony. Plyn je v absorpční koloně zavlhčován vodou o teplotě 5 až 25°C. V koloně se do vody rozpouští bazické a kyselé složky. Čím nižší teplota tím více se jich absorbuje. To samé platí se zvýšeným tlakem. V následné fázi obsahuje bioplyn zhruba 96 % CH₄ a 1–2 % CO₂. Tento plyn je zcela nasycen vodní parou, proto musí být dále vysušen. V tlakové vypírce se z bioplynu neodstraní N₂ a O₂.

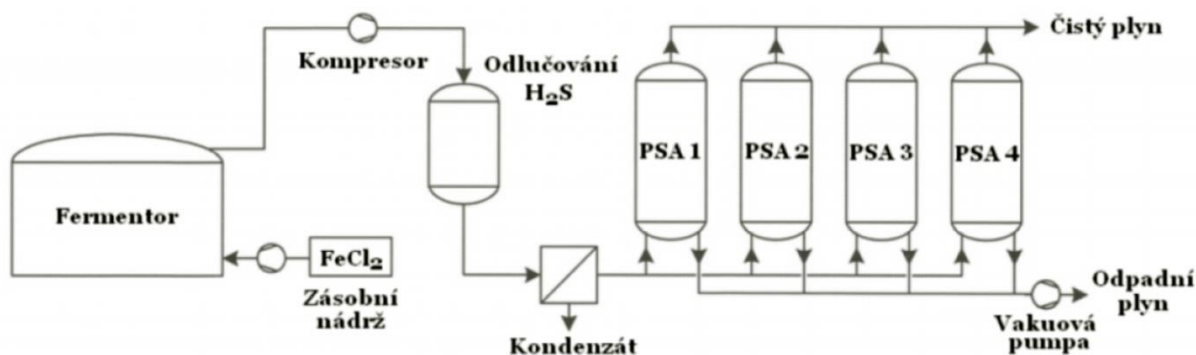
Ty musí být odstraněny aktivním uhlím či membránovou metodou. Odpadní voda je znovu přiváděna do regenerační kolony, kde z ní lze uvolnit zbytkové množství metanu, které lze přimíchat k surovému bioplynu před druhým stupněm komprese. Tím lze zmenšit ztráty z odpadních vod. Odpadní plyny jsou odsiřovány pomocí biofiltrů a vypouštěny do atmosféry.



Obr. č. 19. Schéma tlakové vodní vypírky. Zdroj: [8].

4.2.1.2 Adsorbce

/PSA- Pressure Swing Adsorption/



Obrázek č. 20. Schéma tlakové vodní vypírky. Zdroj: [9].

V této metodě se střídají tlaky mezi fází adsorpce a desorpce. Je důležité, aby v surovém plynu nebyl přítomen sulfan, musí být odstraněn společně s vodou před vstupem do adsorpčního materiálu. Musí se také zamezit vstupu butanům a těžkým sloučeninám. Nejprve se plyn stlačí na tlak 8-10 barů a potom je potrubím dopraven na molekulová síta.

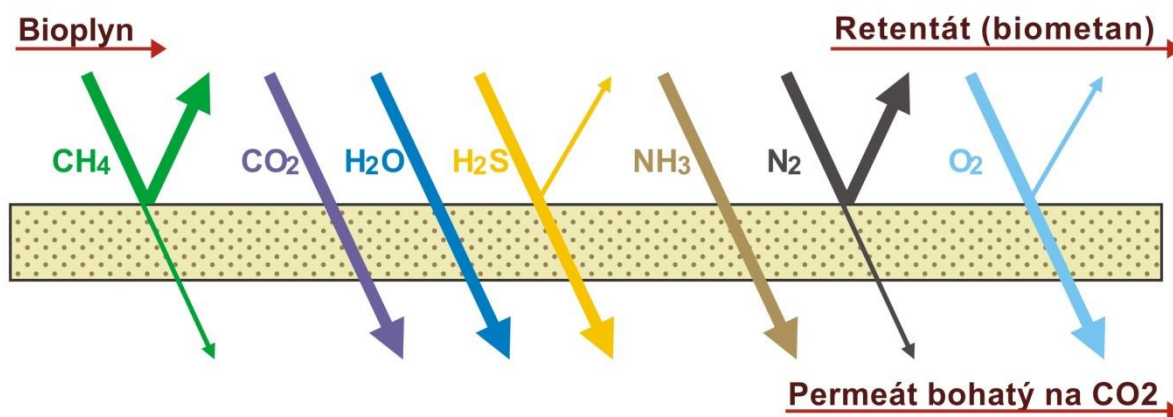
Molekulová síta jsou tvořena zeolity (oxid hlinitý, křemičitan hlinitý) a pohlcují CO_2 , O_2 a N_2 . Po průchodu síty má plyn vysoký obsah metanu (97 % a více), ale ztráty celkového objemu tvoří 10-25 %. Regenerace adsorpčních sítí probíhá snížením tlaku na hodnoty blízké se vakuu, aby se vysálo adsorbované CO_2 a bylo vyfouknuto do ovzduší. Vyfukované zbytky mohou obsahovat metan, tudíž lze použít spalovací fléru pro snížení emisí. Pro plynulý průběh provozu a dostatečného času k regeneraci sít se používá čtyři až devět kolon pracujících paralelně. Nevýhodou této technologie je nutnost odstranit H_2S před vstupem bioplynu do technologie a poměrně nízká produkce biometanu oproti jiným technologiím.

4.2.1.3 Membránová separace

/Membrane Separation/

Základem technologie je skutečnost, že různé molekuly plynu mají různé velikosti, tudíž lze použít membránu s určitou průchodností molekul. Molekuly bioplynu se separují na základě síťového efektu, kde procházejí membránu pouze ty molekuly, které mají menší průměr než je dána pórovitost membrány. [9] Membránou tedy snáze procházejí molekuly CO_2 , zbytkové H_2S a vodní páry. Složky, které projdou membránou, jsou nazývány permeát. Metan, který zůstane před membránou, se nazývá retentát (viz Obr. č. 21) [10].

Nejvýznamnější část úpravy bioplynu na biometan je odstranění CO_2 . Propustnost membrány se tedy volí tak, aby prošlo co nejvíce oxidu uhličitého, ale zároveň aby bylo propuštěno co nejméně metanu. Kromě CO_2 se separují i další složky včetně vodní páry, amoniaku, sulfanu, kyslíku a organokřemičitých sloučenin. [9]

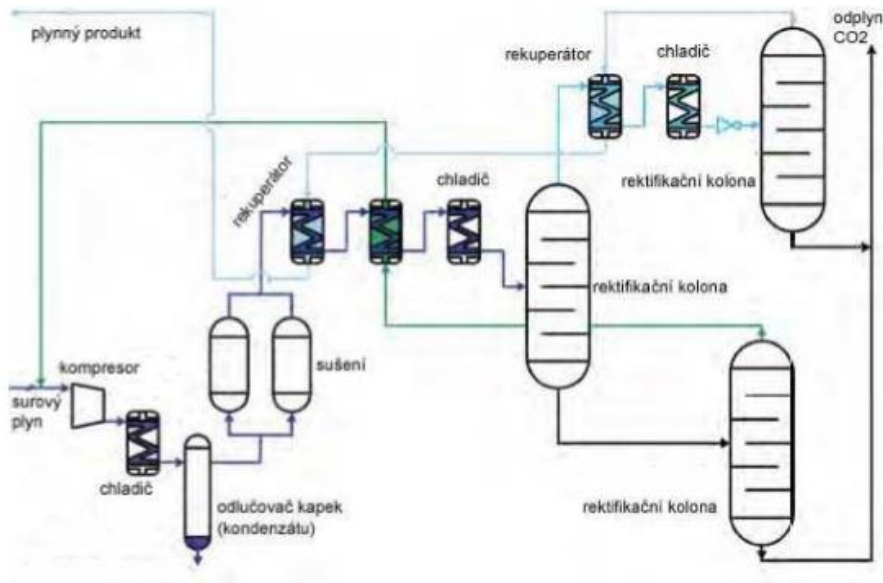


Obr. č. 21. Princip membránové separace plynu. Zdroj: [9].

4.2.1.4 Kryogenní separace – vymrazování CO₂

/Cryogenic upgrading/

Oxid uhličitý lze za nízkých teplot oddělit z plynné směsi v kapalně, nebo tuhé fázi. Velký teplotní rozdíl mezi teplotou varu metanu (CH₄ -161°C) a teplotou oxidu uhličitého (CO₂ -78°C vede k vyšší čistotě metanu. Pro bioplyn bez podílu dusíku a kyslíku je možné dosáhnout čistoty vyšší než 99,95 % objemu metanu. [6][10]



Obr. č. 22. Schématické znázornění procesu kryogenní separace CO₂ z bioplynu. Zdroj:[6].

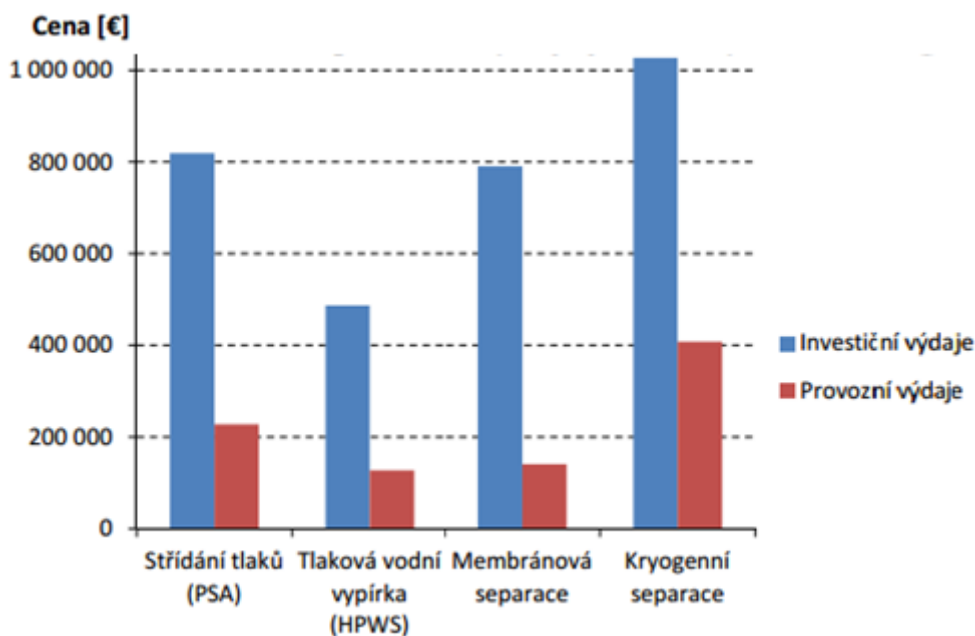
Bioplyn je nutné stlačit na 80 barů a ochladit. Vznikne kondenzát, který je následně oddělen. Bioplyn se následně vysoušen na rosny bod cca -100°C a obsah síry se zmenší na méně než 5 ppm. Plyn se přes výměník tepla zchladí asi na -45°C. Po uvolnění tlaku dojde ke kondenzaci CO₂ a části metanu. Retifikační kolona odděluje oxid uhličitý a odvádí směs plynů bohatou na metan z hlavní kolony zpět do vstupního potrubí bioplynu. Přes rekuperátory a chladiče je teplota opět snížena. Stlačený plyn expanduje a ochlazuje se na mínus 80 až mínus 110°C. Oxid uhličitý v této části přechází do pevné fáze a vymrazuje se. Nevýhodou této technologie je velká energetická náročnost chlazení. [6]

4.2.1.5 Porovnání jednotlivých technologií

Jednotlivé procesy jsou vyhodnoceny v následující tabulce. Metodou vymrazování lze dosáhnout velmi malým ztrátám metanu, ale velká energetická náročnost na chlazení tuto technologii řadí k nejméně používaným. Nejvíce používanou technologií je technologie vodní vypírky, kde zhruba 40 % všech čistících stanic používá právě tuto technologii.

Tab. č. 10. Porovnání nároku jednotlivých technologií úpravy bioplynu. Zdroj: [10].

Parametr	PSA	Vodní vypírka	Membránová separace	Kryogenní metoda
Spotřeba energie (kWh.m ³)	0,23	0,3-0,6		0,8-1,8
Plyn výstup - CH ₄ (%)	97-99	98,5	95	99
Provozní teplota (°C)				-80
Provozní tlak (Mpa)	0,4-0,7	0,4-0,7	0,8-2	
Částečné odstranění H ₂ S	ne	možné	možné	možné
Odstranění kapalné vody	kontaminant	ano	ne	ano
Odstranění vodní páry	ano	ne	ano	ano
Odstranění N ₂ a O ₂	částečně	ne	částečně	N ₂ - možné



Obr. č. 23. Investiční a provozní výdaje jednotlivých technologií. Zdroj: [9].

Tab. č. 11. Porovnání nákladů na úpravu bioplynu u jednotlivých technologií. Zdroj: [6].

	PSA	Vodní vypírka	Membránová separace	Kryogenní metoda
Investiční náklady (Kč.rok ⁻¹)	18 360 000	7 155 000	6 291 000 - 20 223 000	24 529 500
Náklady na údržbu (Kč.rok ⁻¹)	5 055 750	2 700 000	2 207 250 - 3 402 000	10 732 500
Náklady na Nm ³ vyčištěného plynu	6,75	3,51	3,24 - 5,94	11,88

**přepočteno na aktuální kurz eura březen 2017
1€=27,00 Kč*

4.2.1.6 Přehled realizovaných technologií na úpravu bioplynu

V současnosti je na světě před 260 instalací technologií pro upgrading bioplynu a toto číslo výrazně stoupá s finanční podporou konkrétních států. Velká část se jich nachází v Německu (33 %) a ve Švédsku (16 %). U nás v České republice se žádná z těchto technologií v praxi neprovozuje. Znamé jsou jen některé experimentální projekty firem Membrain s.r.o. a Ipra s.r.o., které se zabývají využitím membránové separace pro úpravu bioplynu.

Ze záznamů o realizovaných technologiích pro upgrading bioplynu z roku 2014 vyplývá:

- průměrné množství zpracovaného bioplynu je zhruba 1150 m³.h⁻¹,
- nejvíce používanou technologií je metoda vodní vypírky (cca 40%), metoda chemické vypírky (cca 20%), metoda adsorpce (cca 20%).

4.2.2 Perspektivy využití biometanu

Biometan se v současné době svou cenou nemůže rovnat cenám více využívaným fosilním palivům či zemnímu plynu. Na rozdíl od nich má ale velice ekologicky zajímavá využití. [5] Vzhledem k tomu, že chemické složení biometanu a zemního plynu je totožné, je možné s ním naložit obdobně. Jednou z jeho možných aplikací je distribuce v dopravě. V rámci Kjótského protokolu úmluvy OSN o klimatických změnách, průmyslové země přislíbili snížit produkci skleníkových plynů o 5,2 %, například Německo plánuje snížení těchto emisí až o 40 % do roku 2020. Biometan je jedna z možností, jak tohoto cíle dosáhnout. Některé země plánují určité procentuální nahrazení objemu zemního plynu biometanem. Tato procenta by měli v nadcházejících letech narůstat. [5],[11],[12].

Biometan má téměř nulové emise karcinogenních a toxických látek, velmi nízké procento pevných částic (prachu). Motory využívající pro pohon CNG či BioCNG produkují méně hluku a vibrací oproti motorům na naftu či benzín. Používáním biometanu není možné jakkoliv kontaminovat půdu, jedná se tedy v tomto ohledu o bezpečnou pohonnou hmotu.[12]

Ekologičnost biometanu a úspory emisí dokazuje i následující tabulka:

Tab. č. 12. Úspory emisí skleníkových plynů podle jednotlivých druhů biopaliva. Zdroj:[22].

Biopalivo	Typické úspory emisí skleníkových plynů	Standardní úspory emisí skleníkových plynů
Bioplyn ze suché mrvy jako stlačený zemní plyn	86 %	82 %
Bioplyn z biologicky rozložitelného komunálního odpadu jako stlačený zemní plyn	80 %	73 %
Ethanol z řepy cukrové	61 %	52 %
Čistý rostlinný olej z řepkového semene	58 %	57 %
Bionafta ze slunečnice	58 %	51 %
Bionafta z palmového oleje	36 %	19 %
Ethanol z kukuřice (jako procesní palivo v kogenerační jednotce)	56 %	49 %

Z tabulky vyplývá, že zvýšením produkce biomasy a její správné využití by mělo velmi dobrý vliv na zlepšení životního prostředí. Ekologické přínosy dostatečně převyšují ostatní nekonvenční paliva.

4.2.3 Kvalita biometanu

Biometan musí v dané zemi splňovat určité kvalitativní parametry. V České republice patří k nejdůležitějším legislativním předpisům tyto:

- Technická pravidla GAS TPG 902 02 „Jakost a zkoušení plyných paliv s vysokým obsahem metanu“,
- ZÁKON č. 458/2000 Sb. Ze dne 28. listopadu 2000, o podmínkách podnikání a o výkonu státní správy v energetických odvětvích a o změně některých zákonů (energetický zákon), v platném znění,

- VYHLÁŠKA č. 108/2011 Sb. Ze dne 14. dubna 2011 o měření plynu a o způsobu stanovení náhrady škody při neoprávněném odběru, neoprávněné dodávce, neoprávněném uskladňování, neoprávněné přepravě nebo neoprávněné distribuci plynu,
- Zákon o metrologii č. 505/1990 Sb., v platném znění,
- Vyhláška č. 345/2002Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, v platném znění.

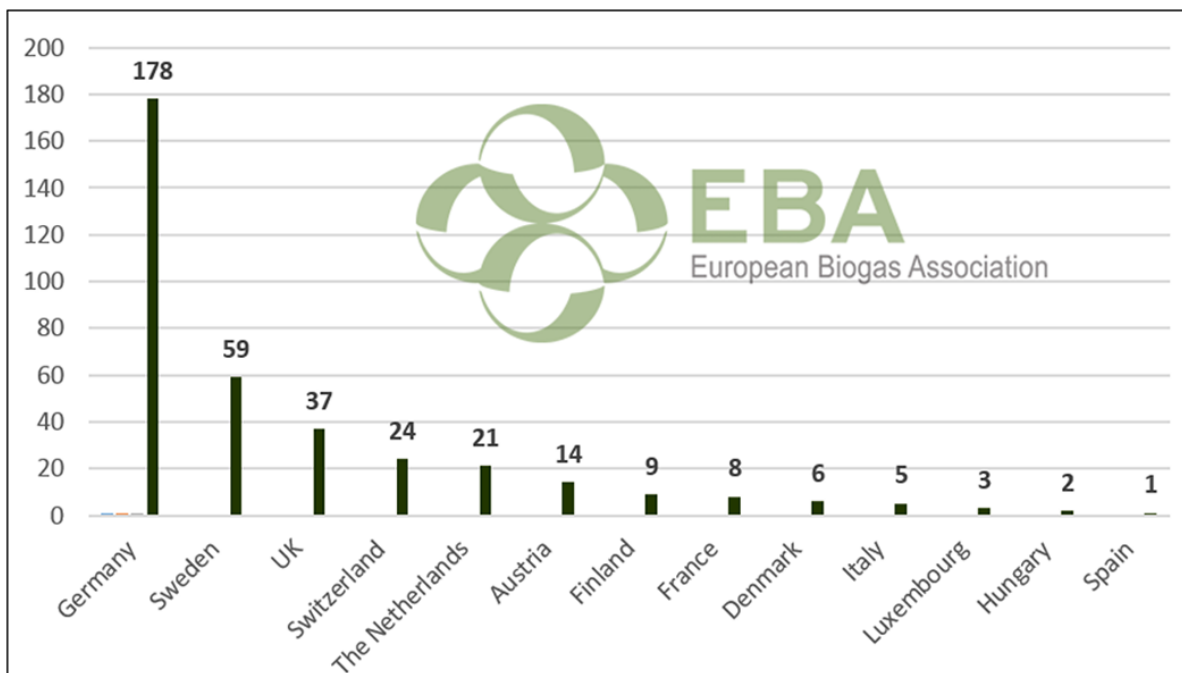
4.2.4 Využití biometanu v dopravě

V současné době jsou obnovitelné zdroje energie a alternativní paliva v dopravě stále více probíraným tématem nejen v Evropské unii, ale po celém světě. Částečné nahrazení klasických motorových fosilních paliv biopalivy by mělo vedle snížení závislosti světa na ropě i vliv na snížení emisí vypouštěných do ovzduší. Využití zemního plynu v dopravě se v evropských zemích stává stále populárnější. Síť plnicích stanic se stále rozšiřuje a automobilky rozšiřují svůj sortiment o vozidla na plyn, jak kapalný, tak stlačený. Oproti tomu bioplyn je dosud velmi málo využívaný jako pohonná hmota. Je spíše využíván v provozu bioplynových stanic v kogeneračních jednotkách pro výrobu elektřiny a tepla, případně i chladu.

V současné době ale řada evropských měst začíná uvažovat o použití biometanu v komunální dopravě a začínají se vybudovávat nové bioCNG plnicí stanice. Na rozdíl od zemního plynu se jedná o obnovitelný zdroj energie a zároveň produkuje téměř nulové emise oxidu uhličitého v obydlených oblastech. Biometan je ekologicky velmi zajímavý, ale pro jeho rozšiřování je z ekonomického hlediska nutná vnější finanční podpora.

4.2.5 Přehled současného stavu biometanu v Evropě

Vytlačení fosilních paliv biopalivy z evropského trhu s energiemi bude ještě nějaký čas trvat. Biopaliva nemohou konkurovat dnešním cenám zemního plynu. V České republice se nákladová výrobní cena biometanu u optimálně dimenzovaných zařízení pohybuje okolo 1,5 až 2,0 Kč.kWh⁻¹ což je dvakrát až třikrát více než je cena zemního plynu jako komodity. [25]. Využívání biometanu se tudíž musí spoléhat na systém podpor státu. Nejvíce je tedy biometan vyráběn v zemích, kde je podporován státními dotacemi. Dominantní je v tomto ohledu Švédsko, Německo a Nizozemí.[12]



367 biomethane AD plants in Europe (31/12/2014)
Total upgrading capacity 310 thousands m³/h of raw biogas

Obr. č. 24. Počet biometanových stanic ve státech EU. Zdroj: [23].

Německo

V Německu jsou obnovitelné zdroje velmi podporovány. Důkazem je i zákon o obnovitelných zdrojích energie (EEG), který říká, že energie z obnovitelných zdrojů má mít přednostní přístup za nižší výkupní ceny. V roce 2011 bylo přes 8 400 fungujících bioplynových stanic, z nichž 84 upradovalo bioplyn na biometan. [5] Německo dává nahrazování zemního plynu biometanem velkou váhu, dokonce vyšlo v roce 2009 nařízení vlády, které přikazuje do roku 2030 nahrazení 10 % celostátní spotřeby zemního plynu biometanem (1 % je zhruba 1 miliarda m³ biometanu za rok = cca 10 000 GWh). Spotřeba biometanu spočívala především v rozvodné síti jako náhrada zemního plynu, nyní ale vzrůstá snaha využití jako biopalivo pro vozidla na stlačený zemní plyn (CNG). Rokem 2012 se počet stanic na bioCNG výrazně rozrostl z 35 na zhruba 100. [12][5]

Švédsko

Švédsko se soustředí spíše na aplikaci biometanu v dopravě a jejích odvětvích. Z celkového množství spotřebovaného v autodopravě je necelých 60 % bioCNG, což je nejvíce z celé Evropy. V některých švédských městech jezdí všechny autobusy na bioCNG,

dokonce mezi městy Linköping – Västervik jezdí vlak poháněný pouze biometanem zvaný Amanda.



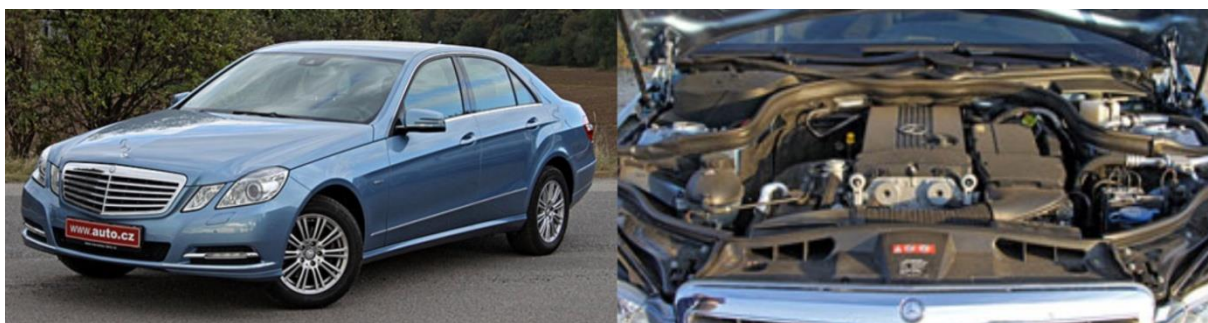
Obr. č. 25. Vlak poháněný bioplynem Linköping, Švédsko. Zdroj: [24]

Česká republika

Biometanové stanice nejsou doposud (2017) v České republice hojně zastoupeny. CNG jako palivo pro pohon vozů je k dispozici převážně ze zemního plynu. Může za to především „nulová“ podpora obnovitelných zdrojů. Za ukončení / omezení podpory obnovitelných zdrojů energie může změna zákona č.165/2012 Sb. o podporovaných zdrojích energie, která nabyla platnosti dne 13.9. 2013. Tato změna způsobila ukončení provozní podpory pro obnovitelné zdroje energie od roku 2014 – 2015. Byl to důsledek zvyšující se finanční zátěže pro spotřebitele a státní rozpočet. Tato změna se uskutečnila na základě příslušných předpisů Evropské Unie. Ačkoliv byla veškerá podpora pro obnovitelné zdroje energie zrušena, tato změna se týkala pouze všech budoucích projektů, stávající projekty zůstali i nadále podporovány. Podpora stávajících projektů se každoročně stanovuje na základě rozhodnutí ERÚ (Energetický regulační úřad). [12]

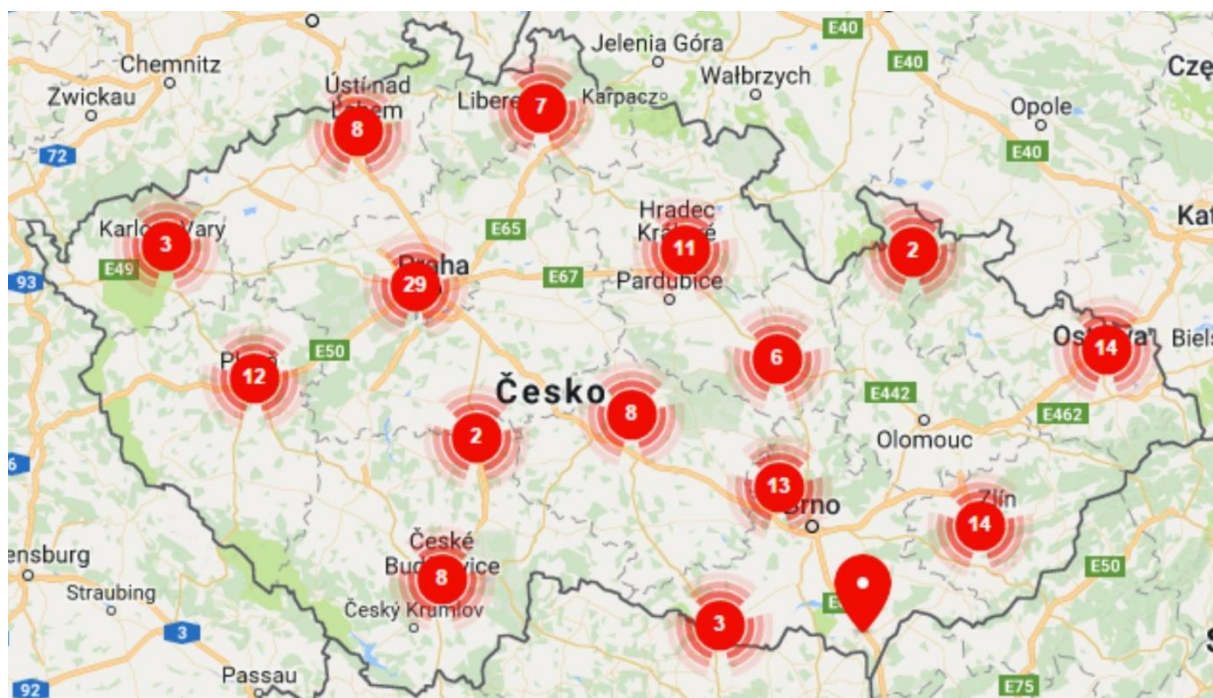
Historicky prvním dodavatelem CNG v České republice, který začal od 1. března 2011 dodávat do svých plnicích stanic stlačený zemní plyn s dvacetiprocentní příměsí bioplynu byla Energetická společnost E.ON. [17]

Energetická společnost E.ON v roce 2011 provozovala tři vlastní plnicí stanice. V Českých Budějovicích, Úpici a Svobodě nad Úpou. CNG obohacené o bioplyn bylo dodáváno i do domácích plniček CNG. Ty byly součástí společné nabídky společností E.ON a Mercedes-Benz na zvýhodněné zakoupení vozů Mercedes s pohonem na CNG v České republice. [17]



Obr. č. 26. Mercedes-Benz E 200 NGT s pohonem na CNG. Zdroj: [18].

V současné době společnost E.ON obhospodařuje 140 plnicích stanic CNG a jejich počet neustále roste viz obrázek č.27.



Obr. č. 27. Mapa plnicích stanic CNG společnosti E.ON. Zdroj: [19].

Protože zahraniční zkušenosti ukazují na rostoucí využití bioplynu v dopravě jako alternativního a obnovitelného paliva, lze i u nás v návaznosti na legislativu, daňovou politiku a energetickou koncepci EU s postupem času očekávat nárůst plnicích stanic s bioCNG.

V České republice se objevili první signály v podobě dotačních programů na podporu čisté mobility. Obce a kraje mohou do konce března 2017 využít dotace Ministerstva životního prostředí na auta s ekologickým pohonem. Cílem této nové pilotní výzvy je podpořit nákup vozidel na alternativní pohon v ČR a přispět tak ke snížení emisí látek v ovzduší. Poznatky z dotačního programu pro obce a kraje chce ministerstvo využít pro případné dotace na automobily s alternativním pohonem pro fyzické osoby. [14]

4.2.5.1 Plnicí stanice CNG

Účel plnicích stanic je doplnění pohonné hmoty do vozidla. U CNG a BioCNG stanic předchází tankování čištění a stlačení plynu. Hlavní rozdíl mezi CNG a BioCNG je v původu plynu. CNG (Compressed Natural Gas) je přímo stlačený zemní plyn. BioCNG je upravený bioplyn, takzvaný biometan. Plnicí stanice mohou doplňovat palivo do jakýchkoliv vozidel ať jsou to osobní auta, dodávky, nákladní auta, motocykly, lodě, letadla, autobusy nebo vlaky.

Výskyt

Na celém světě je k dispozici více než 26,6 tisíc plnicích stanic CNG. V Evropské unii je přes 4,6 tisíc stanic. Nejvíce veřejných CNG stanic je v Německu (1103), Itálii (904), Rusku (252), Rakousku (204). V České republice je v současnosti okolo 130 veřejných plnicích stanic na CNG a jejich počet roste. [26]

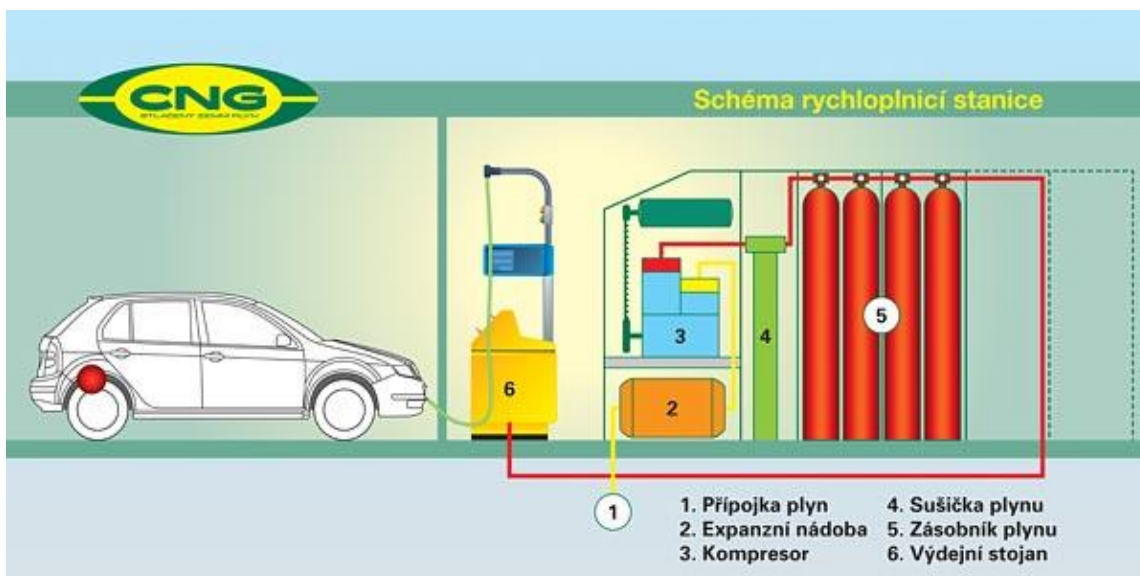
První čistě biometanová stanice byla uvedena do provozu v Německu roce 2006 firmou OMV. V roce 2010 jich bylo v provozu 32 a jejich počet se stále zvyšuje. [25]

Druhy

- Stanice pro rychlé plnění:

Prívodní plyn nejprve prochází sušícím zařízením a molekulovým sítem, kde se plyn zbaví vlhkosti. Následně projde filtračním zařízením, kde dojde k finálnímu vyčištění plynu. V kompresoru je plyn stlačen na tlak 25 až 30 MPa, ale to záleží na typu a využití zařízení a požadavkům provozovatele. V tomto stavu je plyn dopravován buď do zásobních lahví, nebo rovnou do výdejního stojanu. Do tlakové nádrže ve vozidle je stlačený plyn dopravován plnicí hadicí. Plnicí pistole se připojí pomocí rychloupínacího systému na

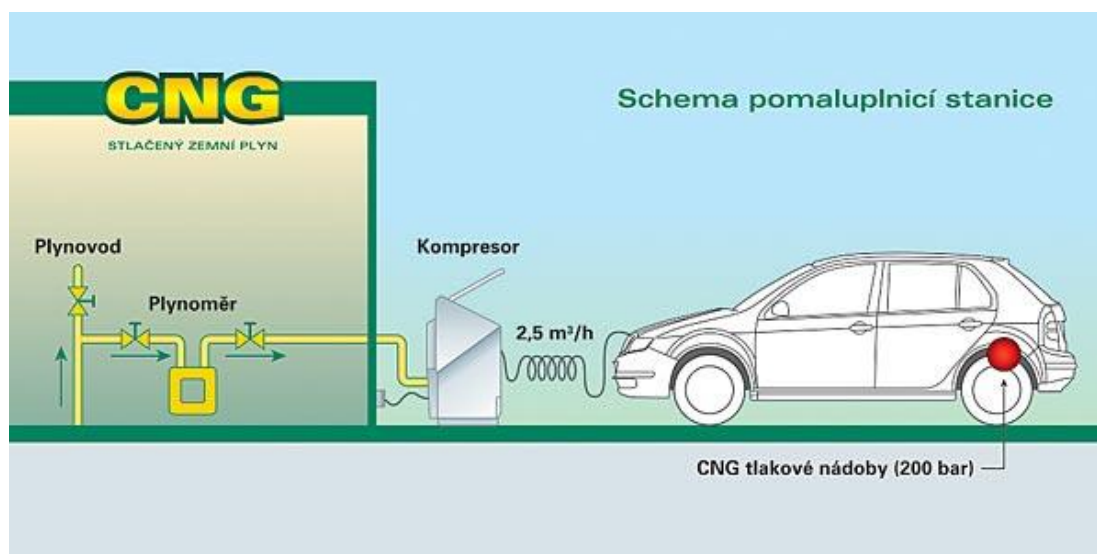
plní koncovku vozidla. Že je nádrž ve vozidle plná ukáže tlakoměr ve vozidle. Obvykle je tlak v nádrži zhruba 20 MPa. Po dosažení této hodnoty (3 – 5 minut) se proces plnění automaticky ukončí. Plnicí hadice se následně odpojí a stojan je připraven k dalšímu plnění. [27]



Obr. č. 28. Schéma rychloplnicí stanice. Zdroj: [26]

- Stanice pro pomalé plnění:

Plyn se do vozidel čerpá přímo pomocí plnicího zařízení (bez tlakových nádob). Hlavní součásti v tomto systému jsou kompresor, výdejní zařízení, měření a regulace. Výkon kompresoru se pohybuje okolo $20 \text{ m}^3 \cdot \text{hod}^{-1}$. Toto plnění se používá, když vozidlo není v provozu například v nočních hodinách. [26]



Obr. č. 29. Schéma pomaluplnicí stanice. Zdroj: [26]

5 DISKUZE

V praktické části této diplomové práce je popsán provoz bioplynové stanice pro mokrou fermentaci s podrobnými technickými parametry jednotlivých technologických částí a naměřenými daty z běžného provozu v měsíci prosinec 2016. Z naměřených hodnot uvedených v příloze č. 3 vyplývá, že bioplynová stanice Bláto s instalovaným elektrickým výkonem 265 kW a tepelným 218 kW je za měsíc (při provozu KGJ 737 mth) schopna vytěžit z 383,9 tun kukuřičné siláže 87 415 m³ bioplynu, který pomocí kogenerační jednotky přetransformuje na 195 201 kWh elektrické energie a 182,5 GJ tepla. Hodnota metanu (CH₄) se ve sledovaném období pohybovala mezi 54 – 65 % obj. Obsah metanu závisí především na složení a kvalitě aplikovaných substrátů a na teplotě ve fermentoru.

Pokud bychom chtěli tento vyrobený bioplyn využít k jiným účelům např. v dopravě, museli bychom, ho vyčistit na požadované hodnoty uvedené v tab. č. 8. za pomoci technologií pro čištění bioplynu. Tyto technologie jsou podrobně popsány v praktické části a. jejich srovnání je uvedeno v tabulce č. 9. Z hodnot uvedených v této tabulce vyplývá, že technologie vodní vypírky má poměrně nízkou spotřebu el. energie na m³ biometanu. Nutné přídatně technologie pro odstranění vodní páry, N₂ a O₂ jsou celkem levné, tudíž se tato technologie jeví jako nejideálnější k použití. Pokud by se v budoucnu zlevnili náklady na vymrazování tak by kryogenní metoda měla nejlepší výstupní hodnoty.

Investiční a provozní výdaje jednotlivých technologií jsou zobrazeny na obr. č. 23 a v tabulce č. 10. Z pohledu nákladů na provoz se metoda vodní vypírky jeví oproti ostatním jako velmi výhodná. U metody membránové separace záleží na velikosti čističky a množství pravidelně čištěného plynu, proto jsou náklady uvedeny od do.

Pokud by společnost provozující BPS na Farmě Bláto zvažovala rozšíření technologie o čištění bioplynu musela by zvážit v dané oblasti poptávku po CNG. V budoucnu by mohla zemědělské stroje pohánět právě CNG a tím by se stala nezávislou na fosilních palivech. Pravděpodobně by zvolila právě technologii vodní vypírky, která nevyžaduje nijak zvlášť velkou dodávku bioplynu pro stálý provoz.

6 ZÁVĚR

V první části bakalářské práce bylo popsáno využití energie, její členění, plánování a význam pro lidskou společnost. Dále byly popsány druhy obnovitelných zdrojů a vývoj jejich využití v ČR. Druhá část se zabývá cílem a metodikou. Cílem této práce bylo uskutečnit analýzu technických zařízení pro energetické využití bioplynu s ohledem na jejich ekologické aspekty a následně uskutečnit technicko-ekonomické vyhodnocení.

Metodika bakalářské práce vycházela z určených klasifikačních, jakostních a specifikačních rámců vstupních surovin a finálního bioplynu z bioplynových stanic v návaznosti na legislativu a jednotlivé technologie. V třetí části se od legislativy v ČR přes energetické využívání biomasy dostáváme až k bioplynu a jeho využití v ČR a dopravě. Po ní navazuje praktická část jejímž cílem bylo podrobně popsat jednotlivé části sledované bioplynové stanice a zjistit kolik je schopna vyrobit bioplynu, který se dále za pomoci kogenerační jednotky přetransformuje na elektrickou a tepelnou energii. V druhé polovině praktické části jsem se snažil popsat a porovnat vybrané technologie pro čištění bioplynu včetně jeho dalšího využití v dopravě. Závěry z praktické části popisují v diskuzi.

Výsledkem diskuze je vyhodnocení všech dostupných ukazatelů, z kterých vyplývá, že technologie tlakové vodní vypírky je pro úpravu bioplynu finančně nejvýhodnější a je v praxi nejrozšířenější. I když biometan nemůže konkurovat ceně zemního plynu a je v současné době závislý na systému podpor. Stává se čím dál větším fenoménem, který za předpokladu pokračování dosavadního masivního rozvoje technologií, může být schopen změnit ekonomickou realizovatelnost a v následujících letech zemní plyn a ostatní fosilní paliva kompletně nahradit.

Seznam obrázků

Obr. č. 1. Podíl primárních zdrojů energie na výrobě elektřiny.

Obr. č. 2. Stadia rozkladu při jednostupňové anaerobní digesci.

Obr. č. 3. Statistika výroby bioplynu.

Obr. č. 4. Porovnání jednotlivých druhů paliva v produkci oxidu uhličitého na 100 ujetých kilometrů.

Obr. č. 5. Blokové schéma technologie mokré fermentace.

Obr. č. 6. Princip KGJ s pístovým spalovacím motorem.

Obr. č. 7. Blokové schéma výrobního procesu.

Obr. č. 8. Silážní plato.

Obr. č. 9. Dávkovač pevných substrátů V-Mix Bio 16.

Obr. č. 10. Fermentor.

Obr. č. 11. Plynojem.

Obr. č. 12. Jednotka úpravy plynu GAM120-V3.

Obr. č. 13. Kogenerační jednotka ZS 265TC-V5.

Obr. č. 14. Čerpací centrum.

Obr. č. 15. Koncový sklad digestátu.

Obr. č. 16. Pojistný hořák HSB 150.

Obr. č. 17. Rozvodna tepla.

Obr. č. 18. Rozpustnost CO_2 a CH_4 ve vodě v závislosti na teplotě.

Obr. č. 19. Schéma tlakové vodní vypírky.

Obr. č. 20. Schéma tlakové vodní vypírky.

Obr. č. 21. Princip membránové separace plynu.

Obr. č. 22. Schématické znázornění procesu kryogenní separace CO₂ z bioplynu.

Obr. č. 23. Investiční a provozní výdaje jednotlivých technologií.

Obr. č. 24. Počet biometanových stanic ve státech EU.

Obr. č. 25. Vlak poháněný bioplynem Linköping, Švédsko.

Obr. č. 26. Mercedes-Benz E 200 NGT s pohonem na CNG.

Obr. č. 27. Mapa plnicích stanic CNG společnosti E.ON.

Obr. č. 28. Schéma rychloplnicí stanice.

Obr. č. 29. Schéma pomaluplnicí stanice.

Seznam tabulek

Tab. č. 1. Základní rozdělení v současnosti využívaných obnovitelných zdrojů energie.

Tab. č. 2. Výchřevnost biopaliv s proměnným obsahem vody.

Tab. č. 3. Elementární složení bioplynu.

Tab. č. 4. Vybrané fyzikálně-chemické vlastnosti bioplynu.

Tab. č. 5. Přehled základních způsobů využití bioplynu.

Tab. č. 6. Lokalizace BPS Bláto.

Tab. č. 7. Sledované hodnoty v rámci biologického dozoru.

Tab. č. 8. Přehled naměřených hodnot z běžného provozu BPS Bláto v měsíci prosinec 2016.

Tab. č. 9. Přehled požadovaných a reálných hodnot bioplynu.

Tab. č. 10. Porovnání nároku jednotlivých technologií úpravy bioplynu.

Tab. č. 11. Porovnání nákladů na úpravu bioplynu u jednotlivých technologií.

Tab. č. 12. Úspory emisí skleníkových plynů podle jednotlivých druhů biopaliva.

Seznam příloh

Příloha č. 1. Situační plán BPS Bláto.

Příloha č. 2. Provozní schéma.

Seznam použitých zdrojů (literatury)

- [1] Kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, ČEZ, Praha, 2003
- [2] Kolektiv autorů: Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice, ČEZ, Praha, 2007
- [3] Kolektiv autorů: Projektová a technická dokumentace BPS Bláto, Bláto, 2012
- [4] Oddělení statistiky a sledování kvality: Roční zpráva o provozu ES ČR 2015, ERÚ, Praha, 2016
- [5] CZBA.CZ, *Česká bioplynová asociace* [online] 2014 [cit. 2017-02-10] Načteno z: <http://www.czba.cz/aktuality/biometan-jako-palivo-budoucnosti.html>
- [6] TECHNOLOGIE ČIŠTĚNÍ BIOPLYNU, *Technologická agentura České republiky*, 2013
- [7] BIOMETAN, *Hospodárné užití obnovitelných zdrojů energie*, 2012
- [8] Čištění bioplynu. *ECoGas Technology* [online]. Klatovy [cit. 2016-05-20]. Dostupné z: <http://www.ecogas.cz/technologies/portfolio-2/>
- [9] ŠRÁMEK, Zbyněk: *Technologie čištění bioplynu pro pohon vozidel pomocí membránové separace* Brno 2016, Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství.
- [10] GAS s.r.o. [online] 2006 [cit. 2016-12-14] Dostupné z: <https://www.gasinfo.cz/>
- [11] ČERMÁKOVÁ, Jiřina a kol.: Výroba a využití biometanu. *Petroleum.cz* [online]. 2008 -4-16 [cit. 2017-02-13]. Dostupné z : http://www.petroleum.cz/upload/aprochem2008_ap_08.pdf.

- [12] Natural & bio Gas Vehicle Association [online]. EU: Natural & bio Gas Vehicle Association (Evropská asociace pro pohon vozidel na zemní plyn), © 2013 [cit. 2016-12-5]. Dostupné z: <http://www.ngvaeurope.eu/>.
- [13] EkoWATT CZ, Možnosti využití energetických úspor a obnovitelných zdrojů energie v Ústeckém kraji, listopad 2012
- [14] Alena Adámková: Stát podporuje čistou mobilitu, PRO-ENERGY magazín, Praha, leden 2017
- [15] Česká bioplynová asociace (CzBA): Bioplyn [online] 2010 [cit. 2017-03-01], Dostupné z: <http://www.czba.cz/bioplyn/>
- [16] Česká bioplynová asociace (CzBA): Detailní statistiky, statistiky výroby bioplynu, [online] 2015 [cit. 2017-03-01], Dostupné z: <http://www.czba.cz/statistiky-vyroby-bioplynu.html>
- [17] EkoBonus (E.ON): Magazín, ekologická doprava, auta na plyn (CNG), E.ON jako první v republice obohacuje CNG o bioplyn, 2011 [cit. 2017-03-01], Dostupné z: <https://www.ekobonus.cz/eon-jako-prvni-v-republice-obohacuje-cng-o-bioplyn>
- [18] AUTO.CZ: Testy, redakční testy, Mercedes-Benz E 200 NGT [online], 2011 [cit. 2017-03-01], Dostupné z: <http://www.auto.cz/test-mercedes-benz-e-200-ngt-koruna-za-kilometr-62263>
- [19] E.ON: Domácnosti, energie od E.ON, CNG, mapa CNG stanic,[online] březen 2017 [cit. 2017-03-01], Dostupné z: https://www.eon.cz/vypocet-spotreby-a-ceny-cng/mapa-cng-stanic#_ga=1.218226330.265730819.1490122940
- [20] Energetický regulační úřad: Právní předpisy ČR, [cit. 2017-03-01] Dostupné z: <http://www.eru.cz/cs/legislativa/pravni-predpisy-cr>
- [21] Erdgas und Biometan im künftigen Kraftstoffmix [online] (Zemní plyn a biometan jako budoucí palivo) [cit. 2017-05-01] Dostupné z: http://www.biogaspartner.de/fileadmin/biogas/Downloads/Studien/100121_dena-Studie_Erdgas_und_Biomethan_im_Kraftstoffmix.pdf
- [22] SMĚRNICE EVROPSKÉHO PARLAMENTU A RADY 2009/28/ES o podpoře využívání energie z obnovitelných zdrojů [cit. 2017-01-20] Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:cs:PDF>
- [23] EBA *European Biogas Association (2014)* (Evropská bioplynová asociace) [cit. 2017-02-02] Dostupné z: <http://european-biogas.eu/biogas/>

[24] SVENSK BIOGAS : Erfarenheter från trafik med Biogaståget [online] Dostupné z: <http://www.jlt.se/globalassets/dokument/dokument-2016/tankesmedja/biogastaget-amanda-jkpg-bertil-carlson-160404.pdf>

[25] ŽÁKOVEC, Jan. Prezentace: *Biometan, konference Bioplyn*. Třeboň, 2011
[cit. 2017-03-01] Dostupné z: http://www.czba.cz/files/ceska-bioplynova-asociace/uploads/files/19_VPBPS2011_zakovec.pdf




[26] CNG [online] 2008. [cit. 2017-03-01] Dostupné z: <http://www.cng.cz/cs/stanice/>

[27] GASCONTROL, společnost s.r.o. *Plynofikace a energetika, plnicí CNG stanice*. [online] leden 2008. [cit. 2017-03-01] Dostupné z: <http://www.gascontrol.cz/produkty/plnici-stanice-cng.html>

[28] BPS Bláto: Naměřená data z běžného provozu BPS, monitoring a stanovené měřidla, Bláto, prosinec 2016

Příloha č.1

- ZPEVNĚNÁ PLOCHA PRO ULOŽENÍ VAKŮ
- OBJEKTY BIOPLYNOVÉ STANICE
- KOGENERAČNÍ JEDNOTKA
- DEPONE SLÁMY
- ŠACHTA KONTROLNÍHO SYSTÉMU

-  LÉKÁRNIČKA
-  HYGIENICKÉ ZÁZEMÍ
-  UMÍSTĚNÍ HAVARIJNÍHO PLÁNU a PROVOZNIHO ŘÁDU

LEGENDA STAVEBNÍCH OBJEKTŮ

SO 01 – STÁVAJÍCÍ OBJEKT
A – KOGENERACE + SKLAD LTO
B – SUŠÁRNA DŘEVA
C – NEVYUŽITÝ PROSTOR
SO 02 – KONCOVÝ SKLAD DIGESTÁTŮ
SO 03 – PLYNOJEM
SO 04 – DÁVKOVAČ PEVNÝCH SUBSTRÁTŮ
SO 05 – FERMENTOR
SO 06 – ČERPAČÍ CENTRUM
SO 07 – ROZVODNA
SO 08 – VÝDEJNÍ MÍSTO
SO 09 – STÁVAJÍCÍ JÍMKA (PŘÚMŮVÁ), 100m
SO 10 – SILÁŽNÍ PLOCHA, 1800m ²
SO 11 – MANIPULAČNÍ PLOCHA – STÁVAJÍCÍ
SO 12 – POJISTNÝ HOŘÁK
SO 13 – TRAFOSTANICE
SO 14 – POŽÁRNÍ NÁDRŽ

