

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



Bioplynová stanice Žákava

Bakalářská práce

Autor práce: Veronika Saláková

Vedoucí práce: Ing. Marcela Synáčková, CSc.

© 2016 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Veronika Saláková

Vodní hospodářství

Název práce

Bioplynová stanice Žákava

Název anglicky

Biogas station Žákava

Cíle práce

- 1) Shromáždíte rešeršní odkazy o obecném čištění odpadních vod, především o zpracování čistírenských kalů
- 2) Popište bioplynovou stanici Žákava
- 3) Posuďte možnosti různého využití bioplynu

Metodika

- 1) Zpracování rešerše o čištění odpadních vod a o likvidaci kalů
- 2) Uskutečnění rekognoskace na bioplynové stanici Žákava
- 3) Konzultace s provozovateli biostanice
- 4) Sepsání bakalářské práce

Doporučený rozsah práce

bude upřesněn v průběhu zpracování

Klíčová slova

likvidace kalů, bioplyn, čištění odpadních vod

Doporučené zdroje informací

CIAHOTNÝ, K. – STRAKA, F. *Bioplyn : [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]*. Praha: GAS, 2010. ISBN 978-80-7328-235-6.

internet: bioplynové stanice

Posta, J. (2005): Čištění odpadních vod. ČZU Praha

Schulz, H.-Eder, B. (2014): Bioplyn v praxi. nakl. HEL, 167s., ISBN 80-86167-21-6

Sobota, J. (2008): Úprava pitných a čištění odpadních vod. Studijní texty ČZU Praha

Předběžný termín obhajoby

2015/16 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Marcela Synáčková, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 12. 2. 2016

prof. Ing. Pavel Pech, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 17. 2. 2016

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 07. 04. 2016

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Bioplynová stanice Žákava" jsem vypracovala samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autorka uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 12.4.2016

Veronika Saláková

Poděkování

Ráda bych touto cestou poděkovala Ing. Marcele Synáčkové, CSc. za mé převzetí a odborné vedení mé práce, dále pak Ing. Josefu Sobotovi za cenné rady a Ing. Pavlu Bláhovi za poskytnuté materiály a čas.

Bioplynová stanice Žákava

Souhrn

Bakalářská práce se zabývá výrobou energie z obnovitelných zdrojů pomocí bioplynových stanic. Úvod se dotýká historie těchto účelových výstaveb, které jsou schopny prostřednictvím cenné biomasy vyrábět řadu cenných produktů pro společnost. Produktem je hnojivo a bioplyn, záměrně získávaný mnoha procesy z kalů a obsahující podstatnou část metanu, obecně známým jako hlavní složku zemního plynu. Spalováním bioplynu v kogeneračních jednotkách vyrábíme elektrickou a tepelnou energii.

Teoretická část je věnována především výrobě zelené energie z organogenních kalů přitékajících na čistírny odpadních vod, dále pak ze zemědělských kalů a jiných odpadních kalů. Dalším z cílů úpravy kalů je zabránit emisím a dalším nepříznivým účinkům na lidské zdraví i na životní prostředí v souladu s legislativou.

Názorným příkladem je vybrána zemědělská bioplynová stanice Žákava, která se zabývá především výrobou bioplynu z organických hmot a jejím hlavním zdrojem příjmu je prodej elektřiny.

Záměr bakalářské práce je porovnání výroby alternativní energie nejen pomocí bioplynových stanic a určení limitů pro likvidaci kalů vzhledem k odpadové politice EU.

Klíčová slova: bioplyn, likvidace kalů, obnovitelné zdroje energie, anaerobní fermentace, bioplynová stanice

Biogas plant Žákava

Abstract

The bachelor thesis deals with the production of energy from renewable sources using biogas. The introduction talks about the history of these special-purpose constructions, which are able to produce a range of products. These products are mainly biomass and biogas, extracted from many processes from sewage sludge and containing a substantial portion of methane, generally known as the main component of natural gas. Combustion of biogas in cogeneration units produce electricity and thermal energy.

The theoretical part is devoted mainly to the production of green energy from organogenous sludge draining to the wastewater treatment plant, agricultural sludge and other kinds of sewage sludge. Next objective in sewage sludge cleaning is to prevent emissions and other adverse effects affect human health and the environment in accordance with legislation.

An example is the selected agricultural biogas plant Žákava, which deals mainly with the production of biogas from organic materials and its main source of income is the sale of electricity.

The intention of the bachelor thesis is a comparison of production of alternative energy not only using biogas plants and determination of limits for the disposal of sewage sludge due to the waste policy of the EU.

Keywords: biogas, sewage sludge disposal, renewable energy sources, anaerobic fermentation, biogas plant

Obsah

1 Úvod.....	1
2 Cíl práce.....	3
3 Literární rešerše	3
3.1 Bioplyn.....	5
3.2 Bioplynové stanice čistíren odpadních vod.....	14
3.2.1 Mechanické čištění odpadních vod	15
3.2.2 Biologické čištění odpadních vod	16
3.2.3 Chemické a fyzikálně chemické procesy čištění	17
3.2.4 Kalové hospodářství čistíren odpadních vod.....	18
3.3 Zemědělské bioplynové stanice.....	21
3.4 Ostatní bioplynové stanice.....	25
3.4.1 Komunální bioplynová stanice	25
3.4.2 Netypické bioplynové stanice	27
4 Bioplynová stanice Žákava.....	28
4.1 Identifikační údaje obce a provozovatele.....	28
4.2 Bioplynová stanice.....	32
5 Využití bioplynu	39
6 Diskuse	42
7 Závěr.....	43
8 Přehled literatury a použitých zdrojů	46
9 Přílohy	50

Seznam použitých zkratk a symbolů

BPS	Bioplynová stanice
OV	Odpadní voda
ČOV	Čistírna odpadních vod
OZE	Obnovitelný zdroj energie
EO	Ekvivalentní obyvatel
CO	Oxid uhelný
CO ₂	Oxid uhličitý
N	Dusík
H ₂	Vodík
H ₂ O	Voda
CH ₃ COOH	Kyselina octová
CH ₄	Metan
P ₂ O ₅	Oxid fosforečný
K ₂ O	Oxid draselný
VL	Veškeré látky
NL	Nerozpuštěné látky
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
BSK	Biochemická spotřeba kyslíku
kWh	Kilowatthodina (10 ³ Wh)
MWh	Megawatthodina (10 ⁶ Wh)

1 Úvod

Současná situace ve světě kriticky hledá východisko z likvidace životního prostředí způsobeným námi lidmi. Lidská aktivita se dotýká mnoha problematik. Velkým problémem společnosti je znečišťování planety různorodými látkami. Skutečnost, že lidé jsou bezprostředně závislí na pohodlí a blahobytu, vyvrací od ideální myšlenky symbiózy člověka s přírodou. Řešením jsou alternativy pro udržitelný rozvoj a motivace společnosti k zavedení jistého standardu k odpovědnému chování k přírodě.

Přírodě můžeme odlehčit využíváním alternativní obnovitelné energie. Za pomoci státních dotací na výzkum o zjištění celkových nákladů na elektřinu, byla společností Greenpeace Energy pověřena německá firma Green budget Germany (GBG). Z výzkumu je jasně patrné, že obnovitelná energie je nejen čistější, ale i levnější než konvenční zdroje energie především jaderné a uhelné. Při kurzu eura 27 Kč vychází průměr celkových nákladů na výrobu elektřiny u jaderné energie na 9,22 Kč/kWh, u hnědého uhlí je to 3,6 Kč/kWh, černé uhlí 4,24 Kč/kWh a zemní plyn 3,17 Kč/kWh. Z ekologicky výhodnějších jako vítr je průměr 1,86 Kč/kWh, dále voda 3,24 Kč/kWh a fotovoltaiky 3,71 Kč/kWh (KÜCHLER a WRONSKI, 2015). Průměrná cena nákladů na výrobu elektřiny z biomasy je v různém cenovém rozmezí s ohledem na výkup primárních surovin. Rozmanitá poptávka je rozhodujícím faktorem, pohybujícím se okolo 0,36 Kč/kWh (MZE, 2012). Dle rozboru Slámy (2013) biomasové elektrárny vyrábí dnes elektřinu s cenou 3,5 Kč/kWh a Bioplynové elektrárny 3,1 Kč/kWh. V roce 2001 se tyto ceny pohybovaly okolo 2,5 Kč/kWh (Kozler, 2001).

Obr. č. 1: Náklady na výrobu elektrické energie 2014

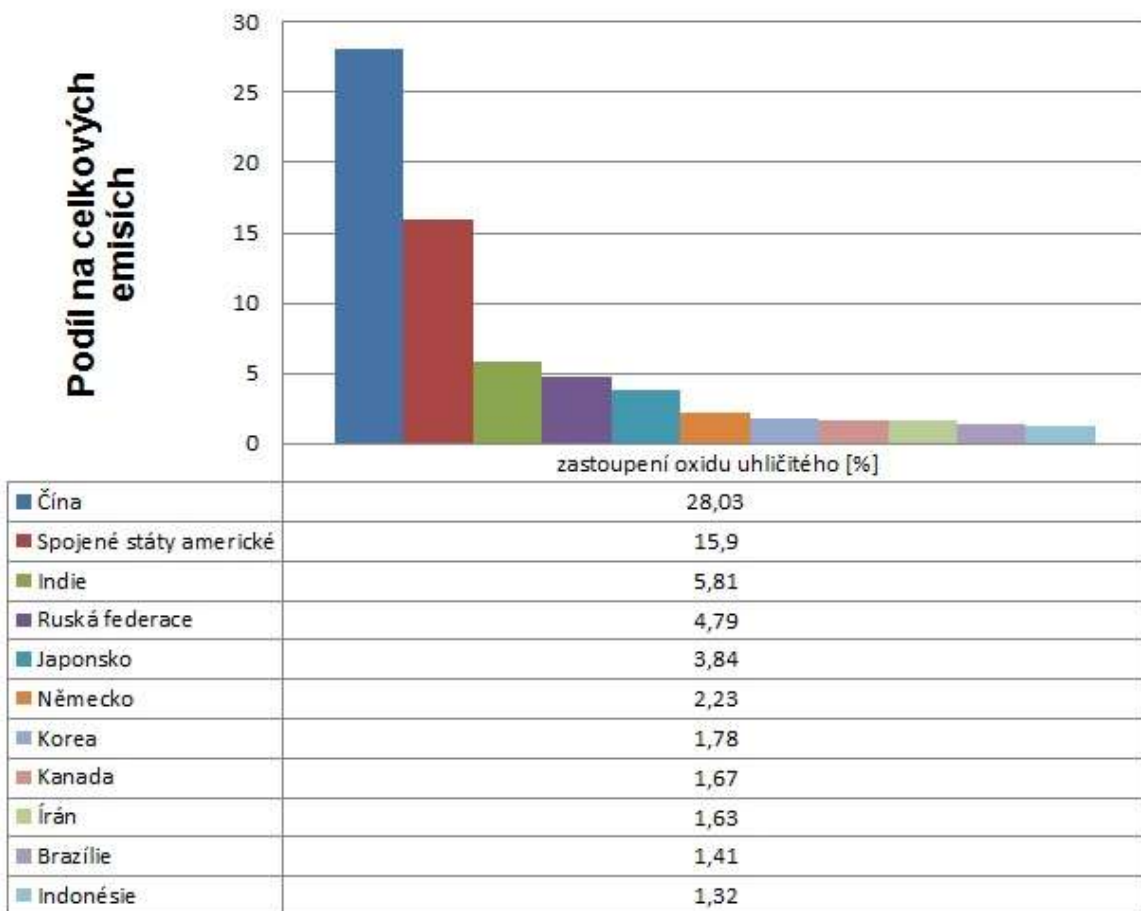


Zdroj: (Küchler a Wronski, 2015)

V rámci Rámcové úmluvy OSN na loňském prosincovém, v pořadí 21. Pařížské klimatické konferenci, vznikla nová mezinárodní dohoda o změně klimatu. Změna klimatu má negativní vliv na tání ledovců, korálové útesy, zemědělství, živočišstvo, nemoci a podobně. Této konferenci se zúčastnilo téměř 200 států zastoupených 40 000 delegáty. Podmínky platnosti dohody spočívají v tom, že byla podepsána 55 státy, a zároveň podepsaní musí být zodpovědní za 55% ročních emisí skleníkových plynů. Prioritou konference je zrušit extrémní závislost lidstva na fosilních palivech a nasměrovat globální energetiku směrem k obnovitelným zdrojům. Proto je nutné zastavit růst teploty a zůstat pod hranicí 2°C, optimálně 1,5 °C. Mezivládní panel pro klimatické změny IPCC ukazuje nejhorší případy růstu průměrné teploty na Zemi do roku 2100 o 2,6-4,8°C.

Tato změna klimatu je výsledkem emisí skleníkových plynů. Skupinu skleníkových plynů zejména zastupuje CO₂ sloučený s vodním plynem a metan CH₄. Skleníková vrstva se stává pro tepelné záření méně prostupná, tím pádem nám atmosféra vrací více vysálaného tepla než dříve, čímž průměrná teplota na Zemi pomalu roste. Tomuto procesu, zapříčiňující globální oteplování, se říká skleníkový efekt (Marčík, 2016).

Obr. č. 2: Největší světoví producenti CO₂ v roce 2015



Zdroj: (Peterka, 2016)

Dohoda podporující energetickou transformaci má v plánu miliardové investice na podporu a periodické pětileté revize. Závislost na uhlí, ropě a zemním plynu trvá už celé století. Podle OSN i v nejlepším případě nebude hned možné optimální hodnotu 2°C nepřekročit, nýbrž je to dlouhodobý proces. Konec fosilních paliv je odhadován do roku 2050, nejpozději 2070. Dohoda je k dispozici k podpisu od 22. dubna 2016 (Peterka, 2016).

Příznivý vliv na omezení obsahu oxidu uhličitého v atmosféře má energetické využití biomasy a následná výroba bioplynu. Při tvorbě biomasy je oxid uhličitý spotřebován při fotosyntéze a následně uvolněn při energetickém zpracování biomasy zpět do atmosféry. Jde tedy o uzavřený urychlený koloběh CO₂ v přírodě (Kára a kol., 2007).

2 Cíl práce

Cílem práce je popis technologie a procesů odehrávajících se v bioplynových stanicích, následně jejich popis produktů společně s určením výhod i záporů. Zhodnotíme pestré využití bioplynu u nás i ve světě. Podrobněji pak popíšeme čistírenskou bioplynovou stanici a zemědělskou bioplynovou stanici. Vzniklý kal z těchto stanic je různorodý. Někdy obsahuje velmi agresivní látky a je nutno s ním správně hospodařit, proto vyhodnotíme jeho zpracování v souladu s životním prostředím. Jako příklad zemědělských bioplynových stanic bude popsána zemědělská bioplynová stanice v Žákavě nedaleko města Plzně. Na závěr budou porovnány ceny a výkony různých bioplynových stanic a jejich umístění na žebříčku k jiným energeticko-úcelovým stavbám.

3 Literární rešerše

S intenzivním výzkumem jednotlivých bioplynových stanic započaly rozvojové státy. V Indii bylo zjištěno, že v důsledku nekvalitního topiva při vaření vzrůstá počet onemocnění zánětu očí a v ojedinělých případech i slepota. První BPS zde vznikla roku 1887 v Bombaji. Ve většině těchto zemí i v Číně se rozrůstala výstavba malých BPS s důrazem na spotřebu tamních dostupných materiálů za nízké ceny. Jedná se především o kámen a cihly i beton. Většinou mají princip nádrže s kamennou pevnou kopulí. Ocelový zvon není nutný, ale nashromážděním plynu pod kopulovitým krytem s sebou nese rizika silného kolísání tlaku a nebezpečí netěsnosti. V Číně jich většina funguje dodnes. V 90. letech 20. století se rozvinul trend budování větších zařízení pro velkovýkrmny vepřů a hovězího dobytka. Zájmu o technologii podlely obří farmy Asie, Afriky i Latinské Ameriky. V USA s patrným potenciálem vlastní biomasy proběhl výzkum, ale neproběhl zde paradoxně s ohledem na současnost nijak značný zájem.

Historie bioplynové technologie v Evropě sahá už do 70. let 20. století, i když vinou politiky v zásobování elektřiny a ropnými produkty se vývoj zpomalil. Přední příčky ve vývoji

zaujímalo především Německo, dále pak Švýcarsko, Francie, Itálie, Dánsko (Schulz a Eder, 2004).

V České republice byla první bioplynová stanice postavena v Třeboni roku 1974. Funguje dodnes, její provoz nebyl nikdy přerušen a zpracovává 120 m³ kejdy denně. Po roce 1989 neudělalo Česko ve výstavbě stanic moc velký pokrok. Privatizace s sebou přinesla nejasné vlastnické vztahy a Češi se rozpadem družstevních a státních konglomerátů vrátili k malým rodinným farmám (Kajan, 2005).

V současné době významný podíl na zájmu o výstavbu bioplynových stanic narůstá díky evropské energetické politice. Evropská unie usiluje o rozšiřování pole působnosti. Po vstupu Česka do EU v roce 2006 se zlepšily podmínky výkupní ceny elektřiny z obnovitelných zdrojů a investoři začali čerpat dotace. Po roce 2013 se výstavba ustálila, z důvodu menší provozní podpory nových obnovitelných zdrojů. Dle České bioplynové asociace byl prováděn součet BPS k 31.12.2014. V České republice se nacházelo pro výrobu energie 507 bioplynových stanic s celkovým instalovaným výkonem 358 MW. Tento počet BPS vyrobil 2566 GWh elektřiny (CZBA,2014). Dnes je v ČR 554 BPS.

Obr. č. 3: Výřez z mapy rozložení všech druhů BPS v České republice

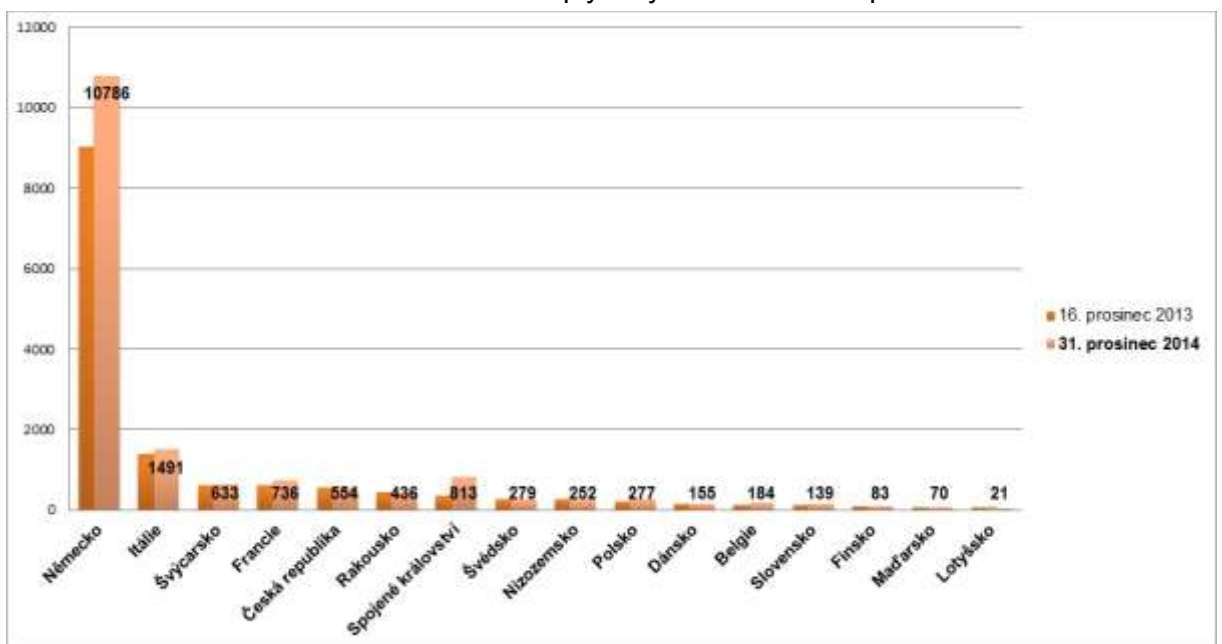


Zdroj:(CZBA, 2016)

V Evropě se aktuálně nachází 14 560 bioplynových stanic s celkovou instalovanou kapacitou na výrobu elektřiny 7,9 GW. Zhruba polovina 3,9 GW kapacity připadá Německu, následuje pak Itálie, Švýcarsko, Francie. Evropa je nejsilnějším výrobcem bioplynu. Roku 2013 byl zaznamenán zvláště silný růst ve Spojeném království (15,4%) a v České republice (+15%) (REN21, 2015). Nárůst výstavby BPS byl zaznamenán ještě u dalších

středoevropských států v roce 2013. Jedná se o Maďarsko, Slovensko a Polsko (EBA, 2014). Průzkum ukázal, že v rozmezí roku 2013-2014 vzrostl počet výstaveb BPS o 18%. U nás se momentální vývoj zcela zastavil, u Spojeného království vzrost dvojnásobně (EBA, 2015). Nápad se šíří nejen ve státech Evropské unie. V současné době zájem o fermentační technologie, čištění bioplynu, duální využití paliva a další s tím spojené náležitosti roste, Česká bioplynová asociace proto podporuje možnosti uplatnění i v Brazílii (CZBA, 2016). Dále pak ve velké míře v Asii, Číně a Indii. Také Spojené státy mají více než 170 BPS zemědělských, více než 560 odpadních a 1500 BPS u čistíren odpadních vod, z nichž 250 i využívá energii na místě. V malém měřítku byly zaznamenány i pokusy v Africe například roku 2014 v Keni (REN21, 2015).

Obr. č. 4: Početní vzrůst bioplynových stanic v Evropě 2013-2014



Zdroj: (EBA, 2015)

3.1 Bioplyn

➤ Složení bioplynu

Majoritní chemické složení bioplynu tvoří oxid uhličitý a metan. V ideálním případě pro naše účely by byl tvořen bioplyn jen těmito. V praxi se dá přiblížit jejich obsah metanu 50-75% a zbytek oxidu uhličitému 25-50% za předpokladu ideálních podmínek jak fyzikálních, tak chemických (Kára a kol., 2007). Jinak další plyny už nejsou nejobsáhlejšími, protože jejich zastoupení u kvalitního bioplynu nepřevyšuje desítky procenta a můžou mít i původ v biologických pochodech. Patří mezi ně vzduch bez oxidu uhličitého, vzdušný dusík, čistý dusík, argon, kyslík, vodík, elementární dusík, oxid dusný, chlorovodík, amoniak či občasný sulfan (H₂S). V tomto majoritním složení je velký rozdíl mezi skladovým bioplynem a reaktorovým bioplynem ve stopových složkách. Reaktorový bioplyn je výsledkem zpracování dřevní či rostlinné biomasy i jiných mas pomocí reaktorů či nádrží. Skládá se hlavně z

metanu a oxidu uhličitého a mívá velmi malý zlomek minoritních příměsí. Oproti tělesu reaktoru skládka odpadů není ideálně plynotěsná. Nese s sebou difúzní procesy a vlivy nestálého barometrického tlaku, který zapříčiní naředění skládkového plynu o vzdušný dusík, nezreagovaný kyslík a občasný argon (Straka a kol., 2010).

Minoritní složky většinou souvisí s různými plyny podle jejich původu či vzniku. Dle Káry (2007) je proces anaerobního (bezokyslíkatého) rozkladu v přírodě samovolný a rozeznávají se rozličné druhy bioplynů:

- Zemní plyn – vznikl už v dávných časech v nahromaděné biomase. Obsahuje až 98% metanu a je klasifikován jako neobnovitelný zdroj energie.
- Důlní plyn – je obdobou plynu zemního, ale obsahuje 92,5% metanu, vyšší uhlovodíky 2,25% a inerty (převážně dusík a oxid uhličitý), a tak představuje ve směsi se vzduchem vysoce třaskavou směs (pouze ale v koncentraci od 5 do 15 %).
- Kalový plyn – jeho intenzita i chemické složení jsou velmi rozmanité v závislosti na podmínkách vzniku. Kupříkladu se tvoří v čistírnách odpadních vod, rašeliništích, nevyčištěných nádržích a podobně.
- Skládkový plyn – převážné množství skládek komunálních látek obsahuje až 60% organického materiálu. Tyto plyny mohou být nebezpečné, proto je výhodné využít jej k energetickým účelům nebo likvidovat hořákem.

Minoritní složky z hlediska bioplynu jsou tak oproti majoritním složkám bioplynu velmi pestré. V současné době je počet identifikovaných látek odhadnut na 500. Lze je rozdělit na přirozené a uměle vyrobené, i když u některých nelze tuto hranici přesně určit. Některé minoritní složky si žádají velmi vysoký bod varu (např. 209° C). Zařazujeme sem uhlovodíky alifatické, což jsou alkyly, alkeny či alkyly, dále pak uhlovodíky alicyklické a aromatické, alkoholy i thioly, aldehydy i ketony, karbonové kyseliny, estery, ethery, sulfidy, aminy, halogenderiváty a jiné. Mezi známější příměsi v podobě derivátů uhlovodíků je metanol, etanol, 1-2 propanol, 1-2 butanol, aceton, kyselina octová atd. V praxi jsou obsahy uhlovodíků téměř bezcenné, protože nijak zvlášť nepřispívají k energetickému obsahu bioplynu (Straka a kol., 2010).

➤ Složení biomasy

Jedna z prvních a základních otázek při přípravě projektu výstavby BPS je zabezpečení dostatečného množství kvalitních vstupních surovin, jejich případná konzervace a uskladnění, a následně vývozu fermentačního zbytku, tedy digestátu. Hlavními složkami zdroje metanu podílejících se v biomase nebo v biologicky rozložitelných odpadech jsou polysacharidy, proteiny a lipidy. U běžných organických substrátů pramení majoritní podíl methanu nejvíce z polysacharidů, většinou celulózových typů. Výjimkou je zpracování průmyslových odpadů, odpadních vod či jatečních odpadů (Straka a kol., 2010).

Polysacharidy bývají nejvíce obsaženy v rostlinné biomase. Jedna z látek složení fytomasy je lignin, z hlediska metanogeneze je balastním materiálem a tvorby metanu se téměř neúčastní, pokud není předem zpracováván fyzikálně chemickými procesy (Kára a kol., 2007). Bez pomalu se rozkládajícího ligninu by nebylo huminových kyselin, humusu či úrodných půd. Dalším prvkem polysacharidů kromě celulózy a ligninu jsou hemicelulózy.

Oproti celulózám podléhají rychleji enzymatické hydrolyze a i výrazně převažují. Do polysacharidů patří ještě škrob, sloužící jako energetická rezerva, protože je lehce rozložitelný.

Proteiny, jinak klasifikovány jako bílkoviny, jsou děleny na jednoduché a složené. Jednoduché jsou tvořeny aminokyselinami, které se skládají ze dvou a více sloučenin odlišného charakteru. Problémem, dobře se rozkládajících proteinů, je obsah dusíku a síry. Síra se do bioplynu dostává většinou jako nežádoucí sulfan (H_2S). V porovnání je horší dusík, jelikož má větší obsah v proteinu a ve velkém množství se váže do podoby amonných solí. Fermentační proces se pak vlivem postupu volného nedisociovaného amoniaku při větším pH nebo vyšších koncentrací amonných iontů značně zpomalí.

Lipidy, nebo-li tuky, mají také vynikající výtěžnost bioplynu, ale nebývají příliš zastoupeny ve fermentované surovině. Do této skupiny patří obecně estery vyšších mastných kyselin, které jsou v organických tkáních. Jsou zde zastoupeny alkoholy, jedná se o glycerin, alkoholové cukry či cholesterol a jiné (Straka a kol., 2010).

Tab. č. 1: Teoretická produktivita rozličných substrátových skupin

Látka	Produkce bioplynu [m^3] vztahovaná na kg organické sušiny	Složení bioplynu [% obj.] $CH_4:CO_2$
Tuky	1,10 - 1,60	80:20
Polysacharidy a monosacharidy	0,75 - 0,90	54:46
Proteiny	0,60 - 0,80	60:40

Zdroj: (Mendelova Univerzita, n.d.)

- Sušina kalů

Pojem sušina je používán z důvodu hodnocení vlastností různých typů kalů. Celková sušina kalu se stanovuje stejným způsobem jako při určování nerozpuštěných látek (NL) či látek veškerých (VL). Problém se vyskytuje při stanovení organické sušiny kalu, protože nevíme, která metoda ke stanovení výsledku byla použita, proto je nutné psát do závorky postup. Organická sušina kalu čili spalitelné látky se značí NL_{org} a VL_{ord} . Bývá vyjadřována v procentech a ukazuje obsah biomasy v aktivovaném kalu či stupeň stabilizovanosti kalu. U tekutých kalů se předpokládá s hustotou vzorku 1 kg/l, což je 1%. Platí, že číselná procentuální hodnota sušiny v kalu je desetkrát nižší než sušina v g/l (Švehla, 2012).

Kromě substrátů vysokého organického podílu biologicky rozložitelných látek jsou vhodné materiály pro anaerobní fermentaci s nízkým obsahem anorganického podílu, což jsou v podstatě popeloviny (Kára a kol., 2007).

Základní rozdělení materiálů využívaných na bioplynových stanicích, kdy se proces pro výrobu bioplynu za pochodů anaerobní digesce neomezuje pouze na odpady, ale i biologické zplynění záměrně pěstované biomasy (Židek, 2004).

- Rostlinné zbytky ze zemědělských prvovýrob, které většinou předchází předúpravou před výrobou bioplynu pro bezproblémové zpracování. Nutné je ještě promísení fermentoru, aby nedocházelo k zanášení.
- Organické sušiny z čistíren odpadních vod - jejich produkované množství kalů jsou ve srovnání s jinými organickými odpady poměrně nízké.

- Organické odpady ze statků - především hnůj a kejda je základem zemědělské kofermentace.
- Odpady z agroprůmyslu vznikají zpracováním potravin. Odpadní produkty většinou nejsou zatíženy škodlivými látkami a poskytují vysoký výnos bioplynu.
- Jateční a jídelní odpady mají též vysoký výnos bioplynu, ovšem problémem jsou hygienické požadavky, které navazují na dražší zařízení technologických zařízení, ale i opatření. V odpadech se vyskytují hlavně patogenní zárodky.
- Komunální odpady jsou biologicky dobře rozložitelné, jde hlavně o typy odpadní zeleně, listů, trvalé travní porosty. Heterogenní struktura a vyšší podíl nežádoucích látek jako jsou plasty nebo kovy vyžaduje opět předúpravu tříděním či drcením, než dojde k fermentaci v BPS. Je nutné míchání i čerpání. Nejčastější bývá výroba bioplynu ze zemědělských, odpadních, čistírenských i skládkových substrátů.

Tab. č. 2: Produkce bioplynu ze specifických substrátů

Substrát	Obsah sušiny	Organická sušina v sušině	Produkce bioplynu		Koncentrace metanu v bioplynu
	[%]	[%]	[m ³ /t] org. sušiny	[m ³ /t] vlhké hmoty	[%]
Hovězí kejda	8,8	85	280	21	55
Prasečí kejda	6	85	400	20,4	60
Silážní kukuřice	33	96	586,1	185,3	52,2
Travní siláž	35	89	583,8	182,3	54,1
Krmné zbytky (kukuřičná a travní siláž)	34	92,5	585	184	53
Podestýlka (pšeničná sláma)	86	91,5	369	290	51
Žito – zrno	87	98	701,7	597	52
Tuky z lapolů	5	90	1000	45	68
Kuchyňské odpady bohaté na tuky	18	92	761,5	126,5	61,9

Zdroj: (Kára a kol., 2007)

Byly zkoumány různé druhy odpadů a mezi netypické odvětví spadá například odpad z pivovarů, sladoven, živnostenských i zemědělských palíren, z průmyslu pro zpracování ovoce a zeleniny, výroben droždí, škrobáren, cukrovarů, jatek, pražírén kávy, ale i z lisoven oleje (Schulz a Eder, 2004).

➤ Energetické využití bioplynu

Prakticky se dá bioplyn využít všude tam, kde za předpokladu přizpůsobení spotřebiče je zapotřebí jiných plynných paliv.

Do energetického využití patří:

- **Přímé spalování** – V současné době nabízí snad každý výrobce hořáků modifikace pro kotle a využití bioplynu. Problém, který může ovlivnit spotřebič, se vyskytuje v oblasti charakteru bioplynu. Především v kvalitě a stálosti parametrů. Bioplyn by neměl obsahovat vysoký obsah sirnatých sloučenin jako je sulfan (H_2S), proto je nutné provádět kontroly.
- **Výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média** – Jedná se o nejčastěji používaný pístový spalovací motor pro bioplyn i zemní plyn, který se skládá z turbíny a generátoru. Obecně se tato výroba pojmenovává **kogenerace** a dosahuje velké účinnosti konverze energie z bioplynu okolo 80 - 90%. Obecně se počítá, že 30% se převádí na energii elektrickou a 60% na tepelnou. O zbytku se hovoří jako o tepelných ztrátách. Některé špičkové kogenerační jednotky jsou schopné docílit i 41% účinnosti výroby elektrické energie. Kogenerační jednotka představuje v BPS 30% investičních nákladů (Jiránek a kol., 2011).
- **Výroba elektrické energie, ohřev teplotnosného média a výroba chladu**
 - Princip je podobný jako u kogenerace, proto se používá kombinovaný název **trigenerace**. Zdroj tepla v kogeneraci složí pro výrobu chladu. Oproti klasickým kompresorům pro chlazení, které spotřebují elektřinu, je výroba chladu lacinější. Provoz vyrábí chlad s použitím tepla a elektřiny jen pro provoz čerpadla.
- **Pohon spalovacích motorů nebo turbín pro získání mechanické energie.**
- **Využití bioplynu v palivových člancích** (Horáková, 2014)

➤ **Technologie a princip tvorby bioplynu**

Základem pro výstup bioplynu je anaerobní metanová fermentace organických látek, v praxi též nazývaná anaerobní digesce, biometanizace, biogasifikace. V čistírenské sféře se tento proces pojmenovává spíše anaerobní stabilizací či vyhníváním, ale jde o totéž. Jednoduše by se dal tento proces popsat jako rozklad organického substrátu bez přístupu vzduchu. V přírodě přirozeně probíhá na dně jezer nebo v bažinách. Bioplyn ale není jediným výtěžkem anaerobní digesce. Zbytkovým fermentovaným produktem je digestát, tedy hnojivo a fugát, což je odpadní voda dále odváděná na čistírnu odpadních vod. Potíže v procesu bývají často charakteru materiálu s baktericidními anebo antibiotickými účinky. Rozkladný proces je zpomalen například přívodem vysokého obsahu dusíku, síry, pryskyřice nebo antibiotik z lidí či hromadných medikací hospodářských zvířat (Straka a kol., 2010).

V anaerobním procesu se odbourává velký podíl organické sušiny, materiál se prakticky nemnoho zahřívá. Zvýšením sušiny kalu se sníží objem zpracovávaného kalu a tím se zvýší spotřeba energií při ohřevu balastní vody (Pošta a kol., 2005). Akumulace biomasy a dlouhá doba zdržení napomáhá pomnožení mikroorganismů (U218, n.d.).

Při aerobních procesech je zhruba 60% energie spotřebováno na syntéze nové biomasy, proto zůstává velké množství stabilizovaného samostatně ohřívajícího se substrátu v podobě kompostu. Ztratí se tedy 40% ve formě reakčního tepla. Rozdíl mezi aerobní a anaerobním procesem je viditelný na Obrázku č. 6.

Obr. č. 5: Rozdíl mezi procesem aerobním a anaerobním

Aerobní proces										
$C_6H_{12}O_6$	+	6 O_2	→	6 CO_2	+	6 H_2O	+	biokal	+	Teplo
1 kg	+	0,53 kg	→	0,72 kg	+	0,40 kg	+	0,41 kg	+	6360 kJ
Anaerobní proces										
$C_6H_{12}O_6$	→	3 CH_4	+	3 CO_2	+	biokal	+	Teplo		
1 kg	→	0,25 kg	+	0,69 kg	+	0,06 kg	+	0,38 kJ		

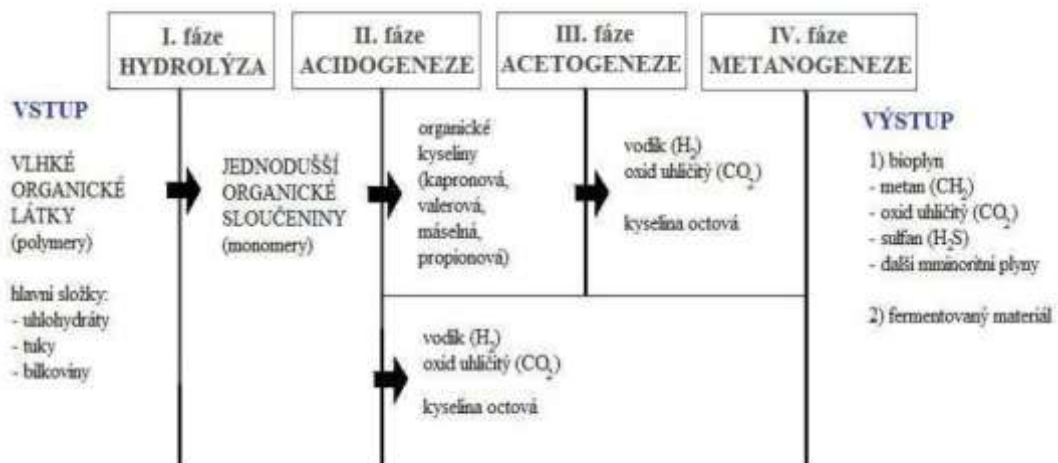
Zdroj: (Kára a kol., 2007)

Výhodou anaerobního procesu je tvorba některých typů anaerobních mikroorganismů, které mají metabolické dráhy, které by za aerobních podmínek vzniknout nemohli, protože by byly těžko rozložitelné (U218, n.d.).

❖ Anaerobní fermentace

Fermentace zahrnuje několik biochemických procesů prováděných různorodým spektrem mikroorganismů, které mají nesterilné požadavky na substrát a prostředí. Fermentace probíhá v umělých technických zařízeních, jako jsou reaktory, digestory či laguny s mechanismem na odebrání bioplynu, a probíhá v teplotě od 0 °C do 70 °C (Kára a kol., 2007). Digesce se skládá ze čtyř fází, přičemž samotná tvorba bioplynu představuje až poslední článek v biochemickém žebříčku.

Obr. č. 6: Schéma anaerobní fermentace



Zdroj: (Pastorek a kol., 2004)

- První fází je **hydrolýza**

Jedná se o enzymatický rozklad působící mimobuněčně na rozpuštěné i nerozpuštěné makromolekulární látky. Jako makromolekulární látky se vyskytují především polysacharidy, lipidy, bílkoviny a proteiny (Straka a kol., 2010). Tyto děje probíhají většinou ještě za přítomnosti kyslíku v anaerobním či aerobním prostředí. Hydrolytická, tedy rozkladná činnost je zajištěna hydrolytickými mikroorganismy, jejichž původ je z obligátních nebo fakultativních skupin. V důsledku primárního enzymatického štěpení vznikají zejména nízkomolekulární látky. Jedná se o jednoduché cukry, alifatické karbonové kyseliny, aminokyseliny apod. Tyto látky jsou již schopny transportu dovnitř buňky mikroorganismu.

- Druhá fáze **acidogeneze**

V této části, jinak přezdívané kyselinotvorná fáze, jsou občasně se vyskytující zbytky vzdušného kyslíku. Ty jsou odstraněny vlivem kmenů bezkyslíkatých a fakultativních mikroorganismů, aktivních v obou prostředích. Vznik oxidu uhličitého (CO_2), vodíku (H_2) a při nízkém parciálním tlaku kyseliny octové (CH_3COOH) umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu (CH_4) a mimo něj i jednodušší organické látky v podobě nižších kyselin a alkoholů. Zastoupení je opět závislé na počátečním charakteru substrátu nebo na podmínkách prostředí (Kára a kol., 2007).

Při vyšším parciálním tlaku vodíku jsou tvořeny ještě vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná a ethanol (Žídek, 2004).

- Třetí fáze **acetogeneze**

Slouží jako mezifáze, kdy dochází k oxidaci produktů acidogeneze na kyselinu octovou (CH_3COOH), vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2). Kyselina octová je tvořena acetogenní respirací CO_2 , H_2 a homoacetogenními mikroorganismy. Působením těchto mikroorganismů, které produkují vodík, vzniká rozklad kyseliny propionové a ostatních organických kyselin vyšších než ve fázi acidogeneze. Jsou to zástupci minoritních skupin organismů sulfátoreduktantů a nitrátoreduktantů a vedle kyseliny octové a vodíku pomáhají produkci sulfanu a dusíku (Žídek, 2004).

- Čtvrtá fáze **metanogeneze**

Poslední fáze je nejpomalejší částí, trvá zhruba 5 krát déle než ty předešlé. Proto je nutná správná rovnováha v kinetice jednotlivých fází s ohledem na rychlost a přizpůsobení technologie systémů i dávkování substrátu. V důsledku zanedbání optimální rovnováhy může nastat přetížení fermentoru a s tím přivodit negativní dopad. Metanotvorná fáze obsahuje metanogenní organismy, které rozkládají kyselinu octovou a jednoduhlíkaté látky jako je metanol, kyselina mravenčí, metylamin, CO_2 , H_2 , CO . Tyto organismy jsou nejdůležitější trofickou složkou vedle acetogenních mikroorganismů, mající různorodé požadavky na substrát a podmínky k životu.

Metanogenní organismy rozdělujeme na acetotrofní a hydrogenotrofní. Působením acetotrofních bakterií vzniká podíl metanu z bioplynu více než ze 2/3. Jsou schopné totiž rozložit kyselinu octovou na směs CH_4 a CO_2 a udržují pH fermentačního media. Oproti jim hydrogenotrofní metanogenní bakterie vytváří podíl metanu z vodíku a CO_2 . Fungují jako

samoregulátor a bakterie nabývají velmi rychle, zhruba v 6 hodinách. Díky nim je odstraněn všechny zbytek vodíku. Určité kmeny metanogenních organismů se dokáží chovat dokonce obojetně. Jejich aktivitu podporují některé stopové prvky jako je nikl, kobalt či molybden. Zlehčené schéma metanového kvašení je patrné v Tabulce č. 4 (Žídek, 2004; Kára a kol., 2007).

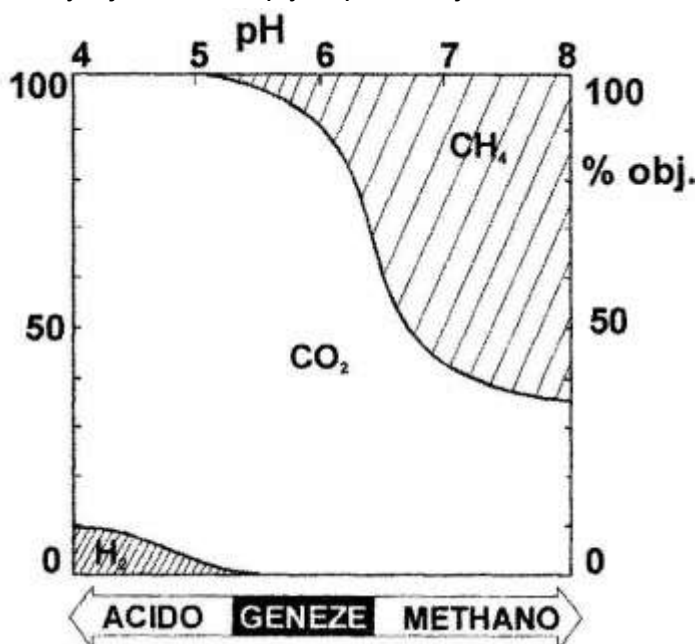
Tab. č. 3: Metanové kvašení

Glukóza	$C_6H_{12}O_6 \rightarrow 3 CH_4 + 3 CO_2$
Kyselina octová	$CH_3COOH \rightarrow CH_4 + CO_2$
Metanol	$4 CH_3OH \rightarrow 3 CH_4 + CO_2 + 2 H_2O$

Zdroj: (Kára a kol., 2007)

Podle druhů konzistence biologických substrátů rozlišujeme dva druhy anaerobní fermentace - mokrou a suchou fermentaci. Suchá fermentace zahrnuje hnůj, siláž, senáže a nečerpatelnou biomasu, oproti tomu mokrá zase klasické biologické substráty, kejdu a čerpatelné zdroje. Pevné odpady mají vyšší obsah sušiny přibližně v průměru o 12% než odpady tekuté. Dle Švehly (2012) je zpracování vlhkých materiálů reálné od kapacity zhruba 10 000 tun/ rok. Při správně vedené digesci je proces časově poměrně stabilní.

Obr. č. 7: Vývoj složení bioplynu při rozvoji metanizace



Zdroj: (Straka a kol., 2010)

➤ **Vlivy a podmínky pro zvýšení výtěžnosti bioplynu**

Základem pro zvýšení výtěžnosti bioplynu je předúprava suroviny před hydrolýzou. Tyto metody jsou založeny na zpřístupnění složek enzymového rozkladu. Mechanické zmenšení velikosti částic prohloubí biologický rozklad a tím se zvýší produkce metanu, dále pak hygienizace fermentovaného materiálu, která se posuzuje legislativou, a minimalizace

množství výstupního stabilizovaného materiálu u čistírenských kalů a mnoho dalších (CZBA, 2015).

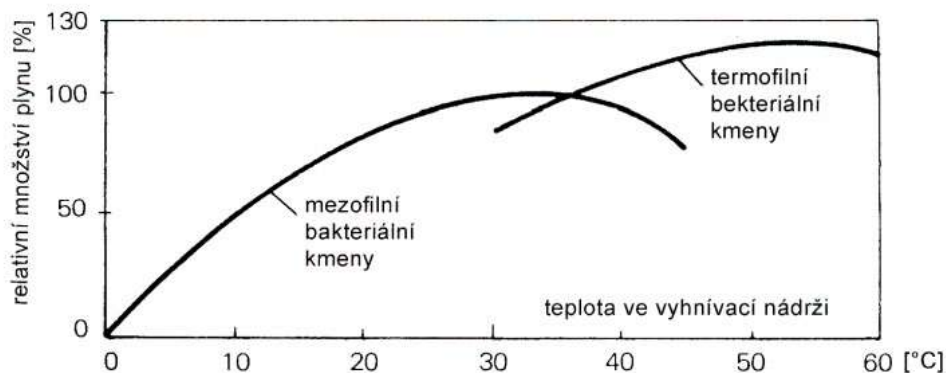
- **Rozdíl v provozní teplotě**

Je další podstatný vliv na rychlost chemických a biochemických reakcí, které jsou limitovány rychlostí růstu určitého mikroorganismu. Obecně je stabilnější anaerobní fermentace za mezofilních podmínek, ač má nižší konstantu rozkladu biomasy. V termofilních podmínkách při snížených teplotách je zjištěna řada nevýhod. Počínaje náhlými změnami teplot, přerušovanému živení a s tím i spojené šokové zatížení, zátěž reaktoru, vyšší koncentrace mastných kyselin a dále pak větší náchylnost k pění. Proto se v praxi převádí v anaerobní stabilizaci z mezofilní na termofilní podmínky (Straka a kol., 2010). Tento převod zlepšuje výkonové parametry jeho provozu než zemědělské provozy setrvávající v mezofilním režimu. Někdy se ale vyskytují komplikace kvůli technologickým možnostem fermentorů nebo skladbou substrátu (CZBA, 2015).

Platí, že při narůstající rychlosti teploty roste rychlost dějů, které probíhají v procesech. Mezofilní podmínky jsou v rozmezí teplot od 30-40°C a termofilní od 45-60°C. Při termofilní teplotě od 53°C a dobou zdržení minimálně 24 hodin v nádrži garantuje uspokojivou hygienizaci materiálu (Žídek, 2004). Mez výbušnosti při sloučení směsi metanu s kyslíkem je 55°C (Kára a kol., 2007).

Při 8°C jde o psychofilní podmínky, kde je anaerobní stabilizace nevyhřívána a s delší dobou zdržení okolo 100 dní (Sobota, 2008).

Obr. č. 8: Vliv teploty na dosažitelné množství plynu



Zdroj: (Schulz a Eder, 2004)

- **Vliv Ph**

Pro správný růst metanogenních bakterií je hodnota pH velmi důležitým faktorem. Nejlepší je ustálit hodnotu kyselosti vody v neutrální sféře od 6,5 do 7,5. Hodnoty nad 8 a pod 6 činnost mikroorganismů zabraňují. U kejdy a hnoje inhibice nastává většinou až v třetí fázi acetogeneze vlivem přítomnosti amoniaku. Výkyv pH může být v nejčastějším případě způsoben přetížením reaktoru, kdy dochází k nahromadění se mikroorganismů v systému, protože produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy je vyšší než jejich spotřeba. Z toho důvodu se sleduje zatížení množství i složení mastných kyselin a do média se dávají alkalizační činidla, aby neutralizovala kapacitu (Žídek, 2004).

- **Přítomnost nutrientů**

Pro zvýšení efektivity při výrobě bioplynu je nutný poměr dusíku a fosforu k organickým látkám. Vedle nich pak ještě řada mikronutrientů jako je sodík, draslík, vápník, železo, síra, mangan nebo selen. Potřebný poměr živin je často udáván CHSK : N : P s rozdělením od 300 : 6,7 : 1 do 500 : 6,7 : 1.

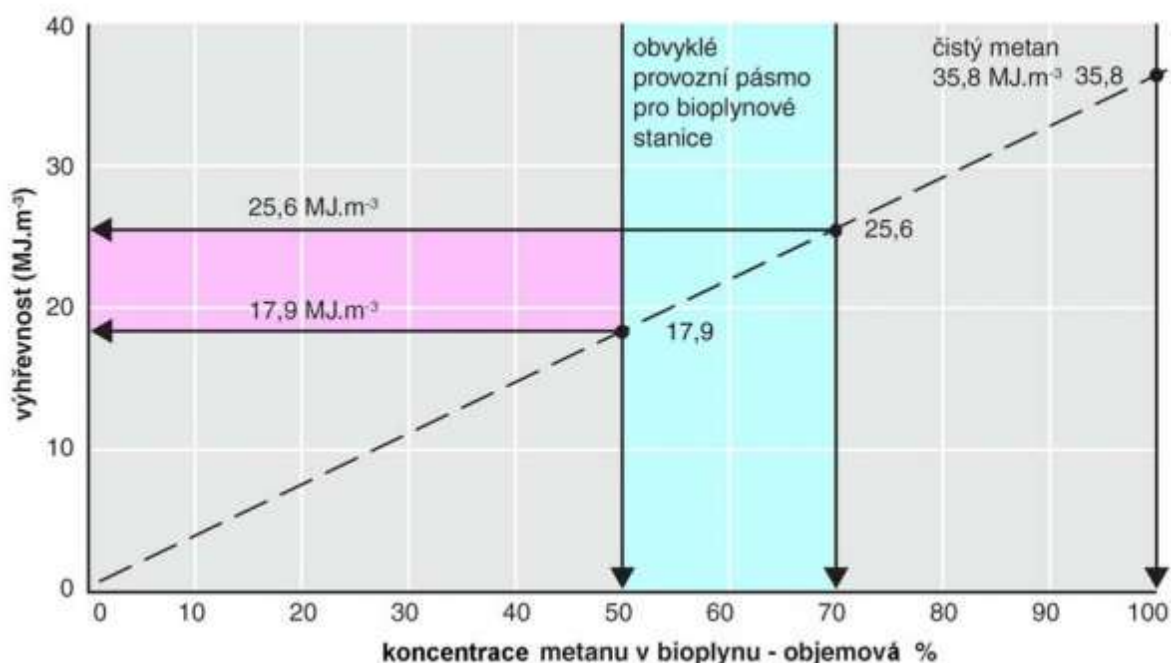
- **Přítomnost toxických a inhibujících látek**

Mají velmi negativní účinky v biologických procesech. Nejčastější příčinou inhibice je amoniak a nižší mastné kyseliny, které jsou závislé na pH prostředí.

- **Výhřevnost**

Pro určení výhřevnosti bioplynu je potřeba sledovat koncentraci majoritních plynů a to metanu, protože minoritní plyny mají energeticky minimální význam. Výhřevnost bioplynu se pohybuje v rozmezí 17,9 - 25,6 MJ/m³ při obvyklé ideální koncentraci metanu provozního pásma 50 - 70% (Kára a spol., 2007).

Obr. č. 9: Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu



Zdroj: (Pastorek a kol., 2004)

3.2 Bioplynové stanice čistíren odpadních vod

Technologie výroby bioplynu je ekologicky výhodná a proto ji oceňují i lidé mimo zemědělství. Příkladem jsou čistírny odpadních vod, kterých je u nás 98 (CZBA, 2016). Čistírny jsou schopny vzniklou energii nejen využít ve svém provozu, ale i ji dodávat do

veřejných sítí. Ročně tak ušetří desítky milionů korun. Provozovatelé ČOV se snaží optimalizovat náklady na elektrickou energii. Základním principem optimalizace není jen snížení spotřeby související s výměnou strojírenských příslušenství ČOV, ale i zvyšováním výroby z obnovitelných zdrojů energie. Složky energetické spotřeby zahrnují především provzdušňování, čerpání, míchaní, vytápění či dmýchání, jde o více než 75% veškeré spotřeby elektrické energie na ČOV. Pro funkci čistíren by samozřejmě neměla být prioritní výroba energie, i když některé vykazují absolutní energetickou nezávislost. Jde například o ČOV v Praze, Plzni, ale i v Budapešti či Braunschweigu. Provoz zde dosahuje 75% až 90% energetické soběstačnosti (Chudoba a kol., 2010).

Bioplyn je produkován anaerobním vyhníváním kalu, který představuje 1 - 2 % objemu čistěných vod. Důležité je však vybrat přijatelné zpracování a využití kalů, obvykle totiž stojí něco přes polovinu celkových provozních nákladů čistírny odpadních vod (Pošta a kol., 2005).

Před tím než se ocitne čistírenský kal na bioplynové stanici, prochází mnoha procesy na čistírně. Způsoby čištění odpadní vody kopírují samovolný koloběh vody v přírodě, i když je však podstatně urychlen. Probíhá na principu mechanickém, biologickém, chemickém nebo fyzikálně-chemickém. Volba technologie čištění je ale různá, v závislosti na vlastnostech surové vody a hospodárnosti investičních nákladů (Žáček, 1998).

3.2.1 Mechanické čištění odpadních vod

Počátek čištění odpadních vod je v mechanickém čištění. Slouží k odstranění hlavně nerozpuštěných látek, což je podstatná část znečištění odpadních vod. Jedná se o první stupeň čištění, někdy však může být i jako třetí stupeň a to jako filtrace, která se používá před vyústěním do čisté vodoteče. Jak zmiňuje Pošta a kolektiv (2005), obvyklá velikost znečištění se udává 55 g na jednoho ekvivalentního obyvatele za den. Z toho se počítá cca 40 g, že jsou látky usaditelné. Odstraněním nerozpuštěných látek by mělo organické znečištění, tedy BSK₅ klesnout cca o 30%.

Pro separaci hrubých plovoucích látek slouží česle. Je to mříž, jejíž průlinami protéká samospádem voda minimálním průtokem 0,3 m/s, aby se nezanášela. Česle hrubé a jemné bývají stírány ručně nebo strojně a zachycené nečistoty se nazývají shrabky. Někdy se ještě při cezení místo česlí používají síta či mělníci čerpadla, která příměs rozdrtí. Ta pak koluje nadále čistírnou.

Dalším procesem je usazování a zahušťování. Pro zachycení velkých a těžkých předmětů, které přicházejí především společně s přívalovými dešti, se budují na přivaděči před čistírnou lapáky šterku. Tato jímka se staví obvykle jen na velkých čistírnách, které jsou situovány pro připojené EO nad 20000 a mající rozsáhlé stokové sítě a bohatě odvodněné území.

Menší částice se oddělují pomocí lapáku písku, využívá rozdíly hustot separovaných složek a gravitační sílu, proto je schopen oddělovat plovoucí látky jako jsou tuky a písek, který by v kalovém hospodářství či biologickém čištění překážel. Aby došlo k úplnému vyčištění od organických látek, zachycený písek se u některých druhů lapáků znovu „propírá“. Po usazení se písek odváží na skládky, kde se skladuje jako nebezpečný odpad. Na jednoho EO připadá 12 l písku za rok.

Další krok v čištění je usazovací nádrž, která je pro nás z hlediska výroby bioplynu nezanedbatelná, jelikož zde dochází k usazování energeticky cenného primárního kalu. Tyto nádrže se dimenzují jako průtočné nebo také dekantační s přerušovaným provozem. (Pošta a kol., 2005). Primární kal je především charakteru zrnitého či směsného. Tvar nádrže se volí tak, aby byla plocha a objem nádrže co nejvíce využita. Nádrž má možnost odstraňování plovoucích látek. Kvůli vyrovnanému rozložení vtokových proudů, probíhá nátok do nádrží ze žlabu. Do usazovacího prostoru se nepočítá kalový prostor usazovací nádrže. Kal je odčerpáván či vypouštěn pod vodním přetlakem (Sobota, 2008).

Na stejném principu fungují dosazovací nádrže, ty budujeme za účelem zadržení sekundárního kalu. Dosazovací nádrže mají větší objem za účelem delší doby zdržení a v čistírně se umísťují za biologickou fázi čištění, která je podrobněji popsána v další kapitole. Kal dosazovací nádrže je především vločkovitý a je tvořen mikroorganismy z tohoto aktivačního procesu čištění, proto jej nazýváme aktivním kalem. Primární a sekundární kaly s obsahem sušiny 0,5 - 2% jsou přiváděny do zahušťovací nádrže určené pro skladování a zahušťování, tyto sušiny jsou se zde schopny zahustit zhruba na 5 - 8% (Pošta a kol., 2005).

Štěrbínové nádrže jsou dvě souběžné horizontální usazovací nádrže. Pod šikmými stěnami je vyhnívací prostor, kam sklouzává usazený kal. V zimě musí být tento prostor izolován, aby nezpomaloval rozklad. K odebírání kalového plynu slouží prostor mezi sedimentačními nádržemi nad vyhnívacím prostorem a ve výši štěrbin. Prostor s kalovým plynem slouží i pro ochranu před metanem, který se uvolňuje při anaerobním rozkladu. U větších zařízení se kalový plyn zachycuje už v jímačích, které jsou na bocích usazovacího prostoru (Sobota, 2008).

3.2.2 Biologické čištění odpadních vod

Po mechanickém čištění využívají čistírny působením mikroorganismů biologického čištění odpadních vod. Základem je již zmíněný aktivovaný kal, jehož součástí mohou být organismy jako bakterie, sinice, plísně, roztoči, bičíkovci a mnoho jiných. Dochází k oxidačně-redukčním reakcím.

Charakterizace jednotlivých směsí organických látek v odpadní vodě je velmi pestrá a zdoluhavá, proto se určuje hlavní základní stanovení. Mezi ty základní patří zejména metoda chemické spotřeby kyslíku, dále pak metoda biochemické spotřeby kyslíku, organického uhlíku a podobně. Dnes už je vyžadováno detailnější určení složení odpadní vody. Parametr CHSK, udávaný v mg/l, je definován jako hmotnostní koncentrace kyslíku, která je ekvivalentní hmotností silného oxidačního činidla spotřebovaného za přesně vymezených podmínek na oxidaci oxidovaných látek obsažených v 1 litru vody (Pošta a kol., 2005). Oxidačním činidlem bývá používán dichroman draselný. Organické látky se až na výjimky oxidují na 90 – 100%. Hodnota druhého parametru BSK, též udávaná v mg/l, říká, jaká je míra znečištění biologicky organických a rozložitelných látek obsažených ve vodě. Často bývá psáno BSK₅, číslo na konci určuje jaká je doba inkubace. Poměr mezi odstraněnými organickými látkami a množstvím nově vzniklé biomasy vyjadřuje koeficient produkce biomasy. Bývá uváděn v jednotkách sušiny biomasy na BSK₅.

Mezi nejvíce rozšířený způsob biologického čištění odpadních vod řadíme proces aktivace. Smísením odpadní vody s vratným aktivovaným kalem se vytvoří aktivační směs,

kteřá je provzdušňována v aktivační nádrži. Kal se oddělí od vyčištěné vody až v dosazovací nádrži a pak se opět zahuštěný vrací zpět do fáze aktivace. Aktivovaný kal závisí na složení odpadní vody i stáří a má schopnost flokulovat. To znamená, že tvoří shluky částic, které je pak možné prostě oddělit od kapaliny.

Méně používaným způsobem biologického čištění je biofilmový systém, využívaný spíše malými městskými čistírnami. Je uplatňován, pokud nejsou vysoké nároky na výstupní kvalitu vody. Z důvodu vysokých nákladů na aktivační proces se využívá jejich kombinace. Nazýváme jej ABF Procesem. Biofiltry si ve velké míře poradí s organickým znečištěním a aktivační proces slouží už k dočištění. Praktické je umístění biofiltru přímo do aktivační nádrže (Pošta a kol., 2005).

V určitých podmínkách se může stát, že mikroorganismy aktivního kalu zastaví aglomeraci a přestanou vyrábět usaditelné vločky. Pakliže se vyskytují jednotlivě v disperzním charakteru a odtok má vysoké hodnoty BSK₅ a CHSK, mohou být dvě příčiny. Prvním důvodem mohou být nevhodné technologické parametry procesu a druhým faktorem souvisejícím opět se složením a vlastnostmi odpadní vody. Faktory druhého procesu lze rozdělit na přechodnou a trvalou deflokaci. Přechodná deflokace je způsobena vlivem náhlé změny teploty vody, její slanosti a kyselosti. Trvalá může mít příčinu jak nedostatku určitých makronutrientů, kam patří fosfor i dusík, tak mikronutrientů, což jsou těžké kovy a anorganické i organické toxické látky (Dohányos a kol., 1998). Dle Pošty (2005) dusík zapříčiní ztráty lehce rozložitelných substrátů, proto je třeba jej eliminovat. Pro jeho odstranění je využíván pomalý proces nitrifikace, posléze denitrifikace. Důležité je také pro naše účely odstranění fosforu fyzikálně chemickými způsoby, kterými zajistíme zvýšení celkového množství kalu až o 30%.

3.2.3 Chemické a fyzikálně chemické procesy čištění

V této fázi probíhá kontrola kvality vody probíhající v reaktorech zvolenou operací. Jako reaktor může sloužit akumulační nádrž nebo se odpadní voda přečerpává do nádrže jiné. Převážná většina čistících pochodů záleží na dávkování chemikálií (Žáček, 1998).

Způsob operace čištění odpadních vod je zvolen vzhledem k velikosti částic a s pomocí vyhlášky č. 48/2014 Sb., o vodovodech a kanalizacích, v platném znění. Nerozpuštěné látky tvořené částicemi, které jsou větší než 1 mikrometr, odstraňujeme nejčastějším způsobem sedimentací či filtrací, speciálně flotací, hydrocyklony, ale i odlučováním na hladině, použité je-li menší hustota vody než hustota částice. Sedimentace částic ve vodě závisí nejen na velikosti, ale i hustotních a teplotních proudech. Uplatňuje se zde zákon povrchového zatížení, který rozděluje usazování do fáze sedimentace a zahušťování suspenze. Lze jím zachytit částice větší než 10 mikrometrů (Pošta a kol., 2005).

Filtrace je možná přes vrstvu zrnitého materiálu či vhodnou přepážkou, principiálně s ohledem na velikost a molekulovou hmotnost. Nejčastějším filtračním materiálem bývá křemičitý písek, vyšší kapacity filtrů používají kombinace antracitu či hydroantracitu. V jiných ojedinělých případech se používají materiály například koksu, perlitu, kuličky z pěnového polystyrénu nebo filtrační papírové vložky a mnoho jiných (Pošta a kol., 2005). Pro nás je velmi výhodná separace částic flotací vzhledem k ostatním separačním procesům. Díky

mikrobublinám vzduchu, kyslíku nebo jinému plynu nám vločkovou suspenzi vznáší ke hladině a tím vzniká zahušťovací kal (Žáček, 1998).

Částice o velikosti 1 nanometr až 1 mikrometr jsou ovlivněny svým povrchovým elektrickým nábojem, který zapříčiní tvorbu koloidních disperzí. K odstranění je možná ultrafiltrace nebo proces koagulace, který slouží k narušení a změně náboje. Shlukování částic vnějším vlivem zapříčiní flokulaci, což je vločkový mrak, který se na konci separuje podobně jako u nerozpuštěných látek (Pošta a kol., 2005). Vnější vlivy čiření spočívají v dávkování solí dvojmocného či trojmocného železa a hliníku, které hydrolyzou poskytují hydroxid železitý a hydroxid hlinitý. Na jejich částicích se adsorbují ionty, ze zástupců kationtů jde o ionty Al^{3+} a Fe^{3+} , z aniontů značně sírany, méně chloridy a hydrogenuhličitaný. Rozpustnost hydroxidů a doba vločkování je závislá na pH vody, teplotě a také na malé dávce koagulantu hlinitanu sodného (Žáček, 1998). Mezi běžné koagulanty se řadí síran železitý, síran hlinitý, chlorid železitý, hlinitan sodný, síran železitý, polyaluminiumchlorid a směsi těchto látek (Pošta a kol., 2005).

Další částice vytvářejí roztoky, jsou totiž menší než 1 nanometr a jejich chemické vlastnosti rozpuštěných látek v roztoku disociují na ionty a vytvářejí soli, alkálie či polární organické látky. Může jít i o látky nepolární, které jsou v roztoku tvořeny nerozloženými molekulami. Mezi procesy odstraňující tyto rozpuštěné látky se řadí neutralizace, srážení, chemická oxidace a redukce, elektrochemické procesy, ionexové technologie, difuzní procesy, membránové separační postupy, a také dnes velmi aktuální termické způsoby pro vysoce koncentrované OV.

Termické procesy zahrnují likvidaci spalováním či odpařováním a patří mezi nejnáročnější způsoby z hlediska ekonomického i technického. Používá se pro likvidaci odpadů ve farmaceutickém průmyslu, pro oxidaci kalů z městských ČOV i pro spalování sulfidových výluhů v papírenském průmyslu. Produktem procesu je CO_2 , voda a nerozpuštěné látky v podobě popílku a organické kyseliny. Proto je nutné biologické dočištění (Pošta a kol., 2005). Po roztřídění dle kvality a frakce materiálu, předúpravě pomocí flokulantů a zvýšení koncentrace sušiny odvodněním a zhuštěním je na pořadí hygienizace.

3.2.4 Kalové hospodářství čistíren odpadních vod

Před samotnou realizací by měla dbát technologie na využití kalu, minimalizaci bezpečnostních rizik a respekt veřejnosti. Možnosti konečného využití kalu jsou v zemědělství nebo při rekultivacích, termických zpracování a uložení na skládky, kdy je vyžadováno kal zbavit veškeré sušiny a vody. Z toho důvodu je nutné dodržování mezinárodní legislativy v souladu s životním prostředím. Kvalitu kalu můžeme zlepšit prevencí před vypouštěním znečišťujících látek do kanalizací. Může jít o těžké kovy, pesticidy, prací prostředky, antibiotické látky a další toxické látky. Velký podíl na zlepšení mají oddělené kanalizační systémy průmyslových podniků. Celkové množství kalů přitékajících na ČOV závisí tedy na typu kanalizace, způsobu čištění a na počtu EO, s kterým souvisí množství upravovaného množství vody.

Složení kalu na ČOV představuje disperzní soustavu pevných a koloidních částic organického i neorganického charakteru. Složení kalu obsahuje vodu, netoxické organické

látky až v 60% sušině, sloučeniny dusíku a fosforu, patogenní či jiné mikroorganismy z procesů čištění, anorganické sloučeniny křemíku, železa, hliníku, hořčíku, vápníku i jiné sloučeniny a toxické látky. Koncentrace toxických látek se pohybuje od 1 – 1000 mg/l, jsou sem řazeny těžké kovy jako je zinek, měď, chrom, nikl, olovo, kadmium, rtuť či argon. Dále pak také pesticidy, alkylsulfofenoly, polyfenoly, dioxiny a jiné. V odpadních vodách je důležité věnovat pozornost čiřidlům, které čistírna využívá v chemických procesech k čištění. Hlavně se jedná o polymery, vápna, soli železa a hliníku a jiných (Pošta a kol., 2005).

Způsob hygienického zpracování kalů tkví dle Soboty (2008) nejprve v zahušťování, následuje vyhnívání (stabilizace) a nakonec odvodňování či vysoušení. Kalová voda se odvádí zpět do čistícího procesu. Typické zařízení na ČOV pro kalového hospodářství jsou zahušťovací nádrže, vyhnívací nádrže, kalolisy a odstředivky.

- **Zahušťování kalu**

Etapa usazování a vyrovnávání probíhá v zahušťovacích nádržích, kde jsou nashromážděné primární kaly:

- z mechanického předčištění surové vody,
- kaly sekundární z dosazovacích nádrží:
 - z čiření solemi hliníku, železa případně polymerními flokulanty,
 - z filtrace.

Zahušťování obvykle směsného surového kalu by se mělo provádět ihned po jeho separaci, aby nedocházelo k aerobnímu rozkladu organických látek vlivem přístupu kyslíku. Kal se zahušťuje sedimentací, přičemž přednostně v provozně přerušovaných nádržích, také flotací cezením, vysoušením, odstředěním, gravitačně a jinak. Funkcí zahušťování se snižuje v kálech obsah vody před stabilizací. Doba zahušťování v provozně přerušovaných nádržích je závislá na jakosti a teplotě kalu. Zahušťovací nádrže jsou povětšinou kruhové se stíracím a míchacím zařízením. Budují se ze železobetonu zasazené do země nebo pozemní ocelové.

Z důvodu úspory plochy se u ČOV do 500 EO s aerobní vyhníváním kalu používají zahušťovací nádrže k uskladnění před jejich převozem v tekuté formě na větší ČOV ke zpracování.

Před tím než dojde k vyhnívání bez přístupu kyslíku, popř. oddělené vyhnívání s přístupem kyslíku u ČOV nad 500 EO slouží k zahuštění kalů uskladňovací provzdušovaná nádrž. Kal je zde zahušťován při přerušení aerace a voda z kalů je odtahována po odebrání kalu. Minimální doba uskladnění je 30 dní.

V čistírnách pro více než 100 tisíc EO (ojediněle i 25 tisíc EO), by se primární a sekundární kal měl zahušťovat odděleně (Sobota, 2008).

- **Stabilizace kalu**

Vyhnívání má za úkol snížit obsah organických látek v kalu do stavu, kdy už kal intenzivně nepodléhá žádnému rozkladu. Může být aerobní nebo anaerobní (Sobota, 2008).

Kritéria pro posouzení stabilizace kalu se sumerizuje podle Pošty (2005) do tří skupin:

- Přímá - zde se kontroluje toxicita, infekčnost a zápach.
- Nepřímá - charakterizuje se obsah organických látek, který je nejdůležitějším faktorem pro posuzování, dále pak množství odstraněných organických látek, CHSK,

BSK, respirační rychlost, produkce bioplynu, ATP, enzymové aktivity a mikrobiologie a jiné.

- Doplňující – zkoumá se odvoditelnost, viskozita a kalorická hodnota sušiny.

- Aerobní stabilizace

Aerobní stabilizace může probíhat současně nebo odděleně v čistících procesech, dochází k mikrobiálnímu rozkladu organického podílu sušiny kalu při provzdušňování. U čistíren do 10 tisíc EO se jí dává přednost (Sobota, 2008). Pro úspěšné aerobní vyhnívání kalu je podmínkou vysoká koncentrace sušiny kalu (Pošta a kol., 2005).

- Anaerobní stabilizace

U čistíren větších se volí anaerobní stabilizace, jde opět o mikrobiální samovolný rozklad organické sušiny v anaerobních podmínkách za současného vzniku bioplynu (Sobota, 2008). Přednosti jsou v malých požadavcích na živiny i nízké energie, protože nemá aeraci a produkuje bioplyn. Má 10krát nižší produkci biomasy, protože kal už nemusí být nadále stabilizován. Nevýhody jsou vidět na odtoku ve vysoké formě koncentrace organických látek, proto se občas používá v konečné fázi před vypuštěním do recipientu ještě aerobního dočištění. Další nevýhodou je citlivost metanogenních bakterií na změny životních podmínek a dlouhá doba zpracování.

Technicky vzato představa anaerobního způsobu má energeticky málo náročné metody související s anaerobní stabilizací kalů a anaerobního čištění OV. Odstranění jednotkového množství tímto způsobem je ekonomicky vždy výhodnější než aerobním způsobem (U218, n.d.).

Anaerobní stabilizace se může navrhovat také ve třech pásmech, přičemž nevyhřívané psychofilní podmínky jsou pro čistírny do 15 tisíc EO a probíhají ve šterbinových nádržích. Mezofilní teploty ve vyhnívacích nádržích (33 - 40°C) jsou pro čistírny většího rázu (Sobota, 2008).

Podle Chudoby (2010) z výsledků, které vytvořila skupina Veolia Water, plyne, že ČOV s termofilním vyhníváním či aplikovaným spoluvyhníváním dosahují energetické soběstačnosti více jak 70%. Vyhřívání probíhá potrubním systémem s horkou vodou, ohříváním kalu ve výměníku tepla, párou i topnými tělesy (Sobota, 2008).

Za vyhnívacího procesu se uvolňuje kalová voda a odvádí se zpět do aktivačních nádrží, nejedná se o více než 0,1 - 0,4% čištěných odpadních vod (U218, n.d.).

Tab. č. 4: Složení kalové vody

Ukazatel	Hodnota	Rozměr
BSK celk.	200-2000	mg/l
Veškeré látky	900-3200	mg/l
Nerozpuštěné látky	200-2100	mg/l
Amoniakální dusík	440-700	mg/l
Těkavé mastné kyseliny [např. CH ₃ COOH]	50-300	mg/l

Zdroj: (U218, n.d.)

- **Odvodňování a vysoušení kalu**

K odvodnění aerobně stabilizovaného kalu slouží vakuové filtry. Tyto válcovité filtry jsou potažené filtrační tkaninou, na které se uchycuje kal a odsává voda. Odvodněná vrstva se v otáčejících válcích odškrabuje a transportuje se do zásobníku. Další možností odvodnění jsou ostředivky. Při konečném procesu lze využívat vápno i chlorid železa. Vyhnitý kal je cítit dehtem a podobá se černé tekuté hmotě. Po vyhnití pořád obsahuje vysoké množství humusových látek, vhodné pro hnojení. Nebezpečí je v tomto případě v obsahu nebezpečných kovů, z toho důvodu se musí kal spalovat (Sobota, 2008).

- **Nakládání s kaly**

Nejlepší představa zpracování kalu je jako hnojivo v zemědělství. Tomuto kroku ovšem předchází důležité vyhodnocení parametrů kalu z provozu čistírny odpadních vod. Podle části 4 dle vyhlášky č. 428/2001 Sb., o kalech z provozu z čistíren odpadních vod v pozdějším znění. V případě potřeby se musí stanovit agrotechnické hodnoty: pH, sušiny, organických látek, dusík (celkový, amoniakální a dusičnanový), fosfor, vápník, hořčík, draslík. Dále pak rizikové prvky: olovo, kadmium, rtuť, zinek, měď, nikl, chrom, arsen; polychlorované bifenylly (PCB): adsorbovatelné organické halogeny a mikrobiologické ukazatele: enterokoky, koliformní bakterie, salmonela.

3.3 Zemědělské bioplynové stanice

Cílem zemědělské bioplynové technologie je nejen získání hodnotných energií či ušetření ovzduší od metanu a čpavku, ale i zmenšení zatížení pachem, vyplavování dusíku či žíravých účinků. Dalšími aspekty kromě neplacení stočného je také zlepšení tekutosti, zabránění ztrátám na živinách, zlepšení odolnosti rostlin a jejich zdravotnímu stavu, omezení klíčivosti semen plevelů a také především hygienizace kejdy a zpracování organických zbytků (Schulz a Eder, 2004). Aktuální počet zemědělských stanic v České republice je 382 (CZBA, 2016).

- **Zemědělské substráty**

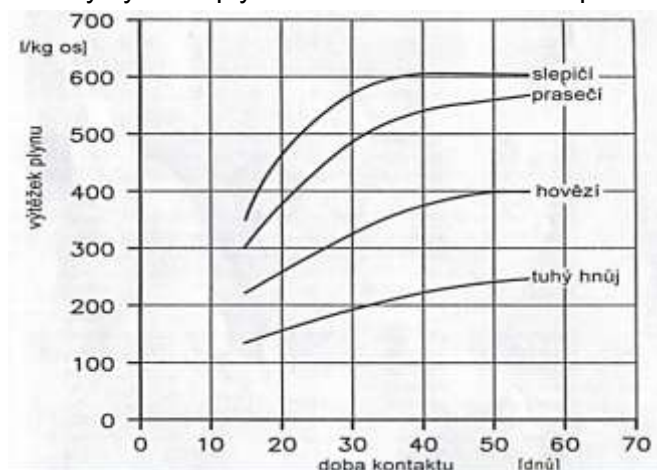
Zemědělské bioplynové stanice zpracovávají zemědělská hnojiva kejdu, hnůj a krmiva, těmi mohou být kukuřičná siláž, senáž, sláma, seno a další (Houček a Smatanová, 2016). Kejda je směs tuhých i kapalných exkrementů zvířat ustájených bez podestýlky či na nízkých podestýlkách, kterou můžou být štěrbínové podlahy, boxy nebo rošty, na kterých může dobytek ležet. Na tak vysoké podestýlce už je tak obvyklé ustájení jalovic, telat, sviní, ovcí, koz a koní. Lze ale také použít kejdu z ustájení volného, která je pro BPS vhodná kvůli vysokému obsahu vody, protože kal má charakter jak exkrementů zvířat, tak dešťových vod z výběhů a krmišť. Ke kompostování není vhodný, z důvodu kompostování po částech a naředěním směsí s velkým množstvím slámy či jiných substrátů s obsahem surových vláken.

Složení kejdy a hnoje je závislé nejen na druhu zvířat, ale i jejich využití, způsobu ustájení i úrovni výkonu. Od toho se odvíjí faktory ztrát při odpařování čpavku a vody, následně pak faktory typu krmení, srážkové vody i čistících vod. Při realizaci BPS se

zemědělcům proto doporučuje nechat si udělat rozbor obsahu organické sušiny a zohlednit výkyvy substrátu v průběhu roku, především u chovu skotu, u nichž se počítá s volnou pastvou v letních časech (Schultz a Eder, 2004).

V zemědělství je nejvíce rozšířen bezstelivový způsob ustájení zvířat. Proto je nejčastějším substrátem kejda hlavně prasat (Jiránek a kol., 2011). Prasata mají velký obsah surového tuku, který se dobře rozkládá a přináší tak vysoký objem bioplynu. Nevýhodou je snad jen vysoký obsah vody a nízký obsah sušiny. Jejich kejda má tendence tvořit usazeniny, protože obsahuje špatně stravitelné kukuřičné a obilně slupky, proto je kejdu nutno optimálně promíchat. Slepice mají vzhledem k velikosti špatnou trávicí soustavu, proto jejich trus přináší nejvyšší výnosy plynu. Trus ale nemá téměř žádnou sušinu a je nutné ho naopak vodou ředit. Mimo to má trus obsah usaditelného písku a nejvyšší pH. Hovězí dobytek má též vysoký obsah sušiny, ale pro nízký výnos plynu nedopadá nijak zvlášť dobře. Navíc je třeba dávat pozor na bakterie salmonely, ty jsou nejdéle schopny přežít v hovězí kejdě, jelikož je prokázáno, že bakterie salmonely přežívají nejdéle při obsahu sušiny vyšší než 7%. Proto se kompenzují s úspěchem nevýhodou smícháním hovězí, prasečí i slepičí kejdy, ale většina zemědělských družstev není specializovaná v hojném počtu na všechny (Schulz a Eder, 2004).

Obr. č. 10: Specifický výtěžek plynu vzhledem k substrátu při termofilním teplotním rozmezí



Zdroj: (Schulz a Eder, 2004)

Pro vyšší energetickou hustotu se rozšířilo primární pěstování rostlinné biomasy. Nejvíce jde o silážní kukuřici, siláže obilovin jako je žito, ječmen či tritikále, trávy. Vliv na toto pěstování je vzhledem k velkým zkušenostem zemědělců s těmito plodinami, dostupné mechanizaci na výrobu, ale i konzervace, která umožňuje substráty využít po celý rok. Výhodou kukuřice oproti trávě je vysoký obsah bílkovin, který je závislý na hnojení, a tvoří vysoký obsah metanu. Trávy vyčnívají vyšší koncentrací ligninu, který se v anaerobních podmínkách téměř nerozkládá a je závislý na stáří trav. Specifická produkce bioplynu je pak oproti kukuřici o 10 - 30% nižší.

Oproti kejdě jsou rostlinné substráty možné bez problému použít ke spalování v kogeneračních jednotkách vzhledem k nízkému obsahu sirných aminokyselin, které tvoří sulfan a tak se využívá technologie mikrofilní aerace nad suspenzi, kdy se vhání vzduch 1 - 2

objemových procent z celkového produkované bioplynu. Výsledná koncentrace sulfanu je v desítkách ppm (Jiránek a kol., 2011).

Kejda nebo hnůj se jako vstupy do BPS zatím dostatečně nevyužívají, příčina je v nižší výtěžnosti bioplynu i horší ekonomice provozu. Výtěžnost bioplynu z prasečí či hovězí kejdy bývá při 8 - 10% sušiny optimálně 15 - 25 Nm³/t. V porovnání s rostlinnými substráty je výtěžnost z hnoje nízká. Kukuřice nebo travní siláže běžně dosahují s 33 % sušinou 160-220 Nm³/t. Smícháním různých typů kejdy s energetickými plodinami se výtěžnost zvýší. Navíc různé typy organických odpadů mají různou koncentraci dusíku a proto je kombinovat výhodné, protože je důležité, aby poměr C:N byl co nejvíce optimální. Obecně tato funkce nekolísá kvůli obsahu uhlíku, ale funkcí dusíku (JiT,2016).

- **Technologické zařízení**

Použití nízkосуšiny (rozmezí 3 - 7% sušiny) substrátů nese usnadnění i zlevnění technologických operací zahrnující čerpání, míchání a ohřev. Na druhé straně je ale nižší produkce bioplynu na jednotku reaktorového prostoru. Horizontální suspenzní reaktory jsou vhodné pro vysokосуšiny substráty, protože v sobě mají nainstalovaný míchací mechanismus. Který je výkonný i energeticky úsporný. Důležité je aby pojmul celý reakční prostor. Hřídel míchadel je poháněna hnacím motorem několikrát denně a je umístěna v horizontální ose, ale může být i v ose vertikální. Dříve se používaly takzvané ocelové tanky, dnes jsou nahrazeny pravoúhlými betonovými nádržemi. Reaktor je propojen často s vertikálním válcovým fermentorem, jinak zvaným postfermentorem, který zadržuje plyn i uskladňuje digestát. Z hlediska investic se vyplácejí vertikální reaktory s původním účelem jímek na kejdu. Tyto nádrže jsou opatřeny míchadlem, ohřevem a plastovou přiklopenou fólií za účelem plnění funkce plynojemu. Využitím kogenerační jednotky se nabízí využití tepla i elektrické energie pro přímou spotřebu na farmě (Jiránek a kol., 2011). Teplo se využívá v zemědělských areálech hlavně pro přípravu teplé vody a vytápění v objektech pro chov, dílenské provozy, sklady i sociální účely. Je možná i dodávka jiným odběratelům v okolí, může se jednat o vytápění skleníků, dosušování dřevní štěpky a jiných produktů. Absorbovaný chlad při výrobě pomocí trigenerace lze pak využít pro klimatizaci v budovách, chlazení zařízení, chladírny ovoce či mléka, zkrátka i v průmyslových provozech (Horáková, 2014).

Je možné zvolit i umístění v podzemní i nadzemní konstrukci. Nadzemní konstrukce se volí při vysokém stavu spodních vod. Její další výhodou je, že díky tepelné izolaci lze použít levnější materiál. Nevýhodou pak tepelné ztráty v zimě vzhledem k povětrnostním podmínkám. Podzemní konstrukce nezabírá místo a po jejím stropě se dá jezdit. V zimě se nemusí pro běžný chod tolik zatápět, což je velká výhoda pro úsporu energie. Nevýhodou jsou však vysoké částky za izolační materiály chránící nádrž před vlhkostí a jinými vnějšími vlivy (Schulz a Eder, 2004).

Nejrozšířenějším typem reaktorů k anaerobní digesci nejen u nás v ČR jsou vertikální, suspenzní a válcové reaktory vyrobené z oceli či betonu. Průměrná výška dosahuje 6 m. Objem těchto fermentorů je průměrně 1 000 až 3 000 m³, i když výjimkou nejsou ani objemy 6 000 m³. Kvalitní betonová konstrukce zabraňuje úniku plynu nebo se propojuje s plynojmem. Reaktory bývají dva i více, každý se provozuje samostatně buď sériově, nebo

paralelně. Reaktory jsou vzájemně propojeny potrubím. Nejčastější příčina nefunkčnosti BPS bývá porucha míchadel nebo dávkovacích zařízení na substrát (Jiránek a kol., 2011).

Kromě plynojemů, reaktorů a motorů a míchadel jsou další součásti BPS skladovací nádrže, čerpadla pro pohon míchadel i vyrovnání výškových rozdílů, rozvodná potrubí s armaturami, topná zařízení a dále pak zařízení spojená s revizí, měřením, instalací a ovládáním (Schulz a Eder, 2004).

- **Vlivy na produkci**

Nejčastějším problémem zemědělských BPS jsou proteiny. Mívají totiž obsah dusíku a síry. Síra je v bioplynu jako sulfan a jeho obsah je velmi proměnlivý. Z výzkumu orientačního zastoupení sulfanu v bioplynu vyplynulo, že u rostlinné hmoty je jen do 80 mg/m³ a u kalů z ČOV v rozmezí do 50-300 mg/m³. U hospodářských zvířat je v exkrementech drůbeže a prasat velmi vysoký, naopak u exkrementů skotu je zanedbatelný (Kára a kol., 2007).

Substráty hospodářských zvířat mají obsah sulfanu od 600 do 3000 ppm. Pokud je bioplyn s takto velkým množstvím spalován, oxiduje na korozivní oxidy síry a díky kondenzátům vzniká kyselina sírová. Koroze plynových motorů i pomocných mechanismů je závažná z hlediska životnosti, proto prodejci motorů mají podmínku pro záruku, aby hodnota sulfanu ve spalovaném bioplynu nepřekročila hodnotu 250 ppm. Každé stanici se proto doporučuje mít detektor na určení obsahu síry a dle potřeby BPS odsiřovat, protože redukce síry je nutná pro zvýšení výtěžnosti bioplynu. Odsiřování se provádí různými metodami.

Nejběžnější metodou je biologické odsiřování. Je možné docílit snížení o 200-500 ppm sulfanu, kdy se nejprve rozpustí ve vodě a následně se odstraní aerobně biologicky pomocí mikroorganismů. Vzduch se vhání do reaktoru nebo plynojemu v koncentraci 4 - 6%.

Další možností je adsorpce aktivním uhlím za anaerobních podmínek. Využívá se hlavně při vysokých hodnotách sulfanu vzhledem k velké účinnosti, nevýhodou však je cena a po vyčerpání se musí aktivní uhlí vyměnit a recyklovat.

Poměrně levnou záležitostí na odbourání sulfanu v bioplynu se prosadila metoda dávkování dvojmocného železa, který se dle potřeby přidává přímo do reaktoru nebo příjmovým košem BPS. Tento proces je známý z čištění odpadních vod pomocí koagulace, kdy je využíván spíše hydroxid železa. Oxid železa je velmi šetrný k fermentoru. Na trhu jsou ještě dostupné tekuté formy železa. Mají tu výhodu, že dokáží snížit i amoniak v plynu a korozivitu, ale nesou s sebou i negativní vliv přítomnosti siřných solí, které vznikají při odsiřování chloridu železnatého, který je při pH nižším jak 2 velmi agresivní a korozivní (Hůrka a Paradovský, 2016).

Dánská společnost Kinetik Biofuel A/S přišla s rozvinutou technologií zahrnující úpravu slámy a smíchání s kejdou. Dánsko vyniká velkým vývozem vepřového masa, počet prasat v roce 2013 převyšoval 12 milionů. Dánsko podporuje produkci bioplynu a stanovila cíl ročně energeticky zpracovávat 50% celkového množství hnoje a kejdy. Dánsko ročně produkuje 5,5-6 miliónů tun slámy. Z toho třetina se využívá jako biopalivo, druhá třetina jak podestýlka a krmění a zbytek se zadržává nebo nevyužívá. Výtěžnost slámy se pohybuje 240 - 320 Nm³/t. Její uplatnění nebylo dosud nijak zvlášť využíváno, jelikož stébla slámy jsou pevná, nesmáčivá a mají lignocelulózní strukturu, která tvoří krustu a zanáší potrubí i míchadla v reaktorech. Proto je nutná předúprava. Technologie společnosti Kinetik Biofuel A/S upravují slámu na brikety pomocí lisů. Rozemleté části slámy jsou stlačeny pod velkým

tlakem. Při nárazu pístu kinetická energie spolu s vysokou teplotou navodí explozi páry, která naruší vlákna a buněčné stěny slámy. Brikety mají objemovou hustotu cca 550 kg/m³ než běžný balík slámy, který má 150 kg/ m³. To vytváří další výhodnou úsporu při dopravě a skladování. Testy prokázaly, že výtěžnost ze slámových briket je o 10 – 20 % vyšší a výstupní digestát má kvalitní vlastnosti. Navíc použitím slaměných briket se velmi omezuje obsah sulfanu. Tato technologie by mohla pomoci BPS používající jako hlavní vstupní substrát kejdu a kejdu (JiT, 2016).

Problémem rostlinných plodin je větší výměra půdy k pěstování a větší náklady na jejich nákup, ale i distribuce a vyluhování dusíku do půdy za účelem hnojení. Digestáty, kejdy i močůvky obsahují rychle uvolnitelný amonný dusík (NH₄⁺), který je v této chvíli dobře absorbován rostlinami a podléhá nitrifikačním procesům. Dochází k transformaci na dusík nitrátový, který se proplavuje do podzemních vod, ale také se uvolňuje do ovzduší denitrifikačními procesy. Na trh jsou proto uváděny tzv. stabilizátory dusíku, které zamezí negativním vlivům tím, že zabrání přeměně dusíku z amonného na nitrátový a tak nechá dusík přístupný rostlinám po delší dobu a maximalizuje tím výnosy pěstovaných plodin (Vlažný, 2016).

3.4 Ostatní bioplynové stanice

Bioplynové stanice ostatní zpracovávají kromě čistírenských a zemědělských materiálů i masokostní moučky, G-fáze vznikajících při výrobě metylenu olejnaté řepky (MEŘO), gastroodpady, lihovarnické výpalky, lanoliny, bioodpady, odpady tukového průmyslu, konzervárny, mlékárny a jiné. Výstupem ostatních BPS jsou vždy netypové digestáty (Houček a Smatanová, 2016). Netypové mohou být i z rizikovějších BPS jakou je například jateční, která má převahu flotačních tuků a podobně. Jsou i různé kombinované BPS.

K zajímavému experimentu došlo i v Třeboni na bioplynové stanici, kde docházelo ještě k následné výrobě řasové biomasy například chlorelly (*chlorella pyrenoidosa*). Řasy výrazně požírají CO₂ ze spalin a tvoří hodnotný výživový doplněk pro zvířata i lidi, čímž se koloběh uzavírá (Smrčka, 2003).

3.4.1 Komunální bioplynová stanice

Vstupem je biologicky rozložitelný odpad, včetně odpadů z údržby městských parků, zahrad, komunikací, břehů řek a zemědělské výroby atd. Princip tvorby metanového kvašení skládkového plynu je v uzavřeném tělese, které je utěsněné a zhutnělé. V tělese jsou podmínky výborné k anaerobnímu rozkladu díky teplotě a vlhkosti. Skládkový plyn má obsah objemového metanu 55 – 60 %. Intenzita produkce není stálá, nýbrž je velmi proměnlivá. Prvním rokem její produkce vzrůstá, později klesá se stářím uskladněného materiálu.

Důležitým faktem je podmínka pro odčerpávání plynu, která nesmí překročit limit pro skutečnou produkci plynu. Při zavzdušnění totiž dochází k útlumu a narušení procesů metanogenních bakterií, které metan produkují, ale také by mohl hrozit výbuch při směsi metanu s kyslíkem.

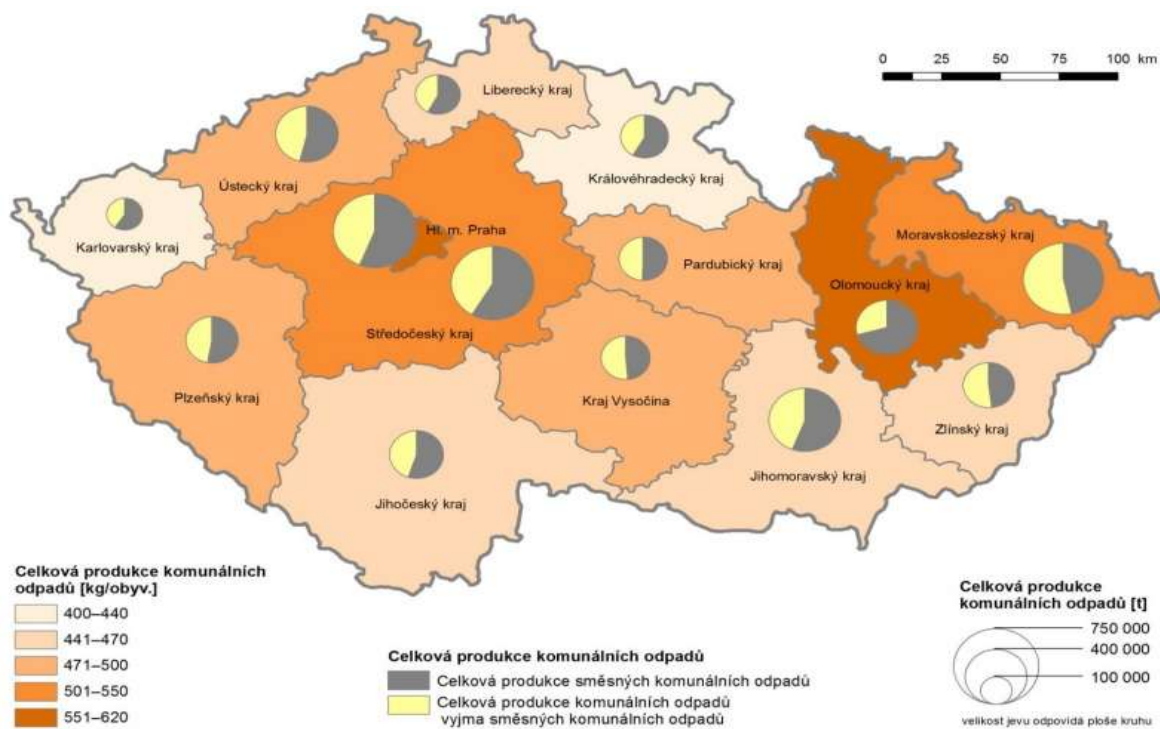
Proto se průběžně kontroluje obsah metanu a kyslíku. Dále se musí sledovat teplota plynu kvůli případné havárii výbuchem při manipulaci s plynem. Negativní účinky

skládkového plynu jsou nejvíce v kogeneračních jednotkách, protože jim ubližují chemické a fyzikální škodliviny v bioplynu. Reakce síry s křemíkem vytvoří siloxany, které vyvolávají mechanické obrušování pístů a válců motorů kogenerace. Skládkový plyn se může odčerpávat až po dobu 30 let. Sběrné odplyňovací systémy se budují už při zakládání (Kára a kol., 2007).

V České republice se aktuálně vyskytuje prozatím 7 komunálních BPS. S největším instalovaným výkonem elektřiny 1052 kW se nachází BPS pro zpracování komunálního odpadu ve Svojšíně.

Další BPS se vyskytují u Benešova, v Kněžnici, v Jezbořicích, ve Vysokém Mýtě, Žďáru nad Sázavou a v Úpicích nedaleko Trutnova (CZBA, 2016).

Obr. č. 11: Celková produkce komunální odpadu v ČR k roku 2014



Zdroj: (CENIA, 2015)

Skládkový plyn není na malých i středních skládkách využíván a musí se bez efektu spalovat ve flérách nebo separovat biofiltry, kde se za působení metanotrofů a metylotrofů odbourává metan. Fléry jsou poněkud nákladné, jelikož je nutný servis a dohled nad spalováním.

Z důvodu nekvalitního skládkového plynu i nízké produkce byl vymyšlen firmou GasBox, která využívá zdokonalený Stirlingův motor pracující s periodickým stlačováním plynu při nízké teplotě a expanzí plynu při vysoké teplotě. Tím přeměňuje tepelnou energii na mechanickou práci. Tento motor má uzavřený cyklus termodynamického systému, který vydává ven tepelnou energii výměníky. Avšak nikoliv plyn, takže případné škodliviny jsou izolovány a bioplyn je využit bez dalšího čištění a úprav. To je podstatný rozdíl od spalovacího motoru, kdy tepelná energie je výstupem při spalování bioplynu uvnitř stroje. Výkon GasBoxu udává, že například bioplyn o 30 % obsahu metanu dosahuje při průtoku vody 1,5 m³/h teploty vody na výstupu 50°C a výroby 7 kW elektrické energie. Tato

technologie by mohla být dobrým řešením na několika skládkách a dala by se využít i mimo odpadové hospodářství, například na menších ČOV (Novák a Neumann, 2015).

3.4.2 Netypické bioplynové stanice

K zajímavému experimentu došlo v Třeboni na bioplynové stanici, kde docházelo ještě k následné výrobě řasové biomasy a to především chlorelly (*chlorella pyrenoidosa*). Řasy výrazně požírají CO₂ ze spalin a tvoří hodnotný výživový doplněk pro zvířata i lidi, čímž se koloběh uzavírá (Smrčka, 2003).

S dalším zajímavým nápadem minimalizace emisí přišla Němka M. SC. Katrin Pütz, bývalá studentka univerzity v Hohenheimu. Roku 2013 přijala nabídku na otestování své technologie od Horn of Africa Regional Environment Centre (Hoa-REC), což je regionální centrum životního prostředí zaměřené na státy Afrického rohu, ležících na poloostrově ve Východní Africe. Jako zakladatelka projektu vytvořila společnost B (energy), která uskutečnila aplikaci i v chudších zemích světa jako je Etiopie a Súdán. Spalování dřeva s sebou nese následky na životní prostředí. Nápad spočívá v zasvěcení společnosti do užití bioplynové energie ve vaření (Jeffrey, 2015).

Vyrobili jednoduché BPS o ploše 10 m², která zpracovává hospodářský trus a rostlinné odpady. Jednoduchost BPS je v její podobě skleníku, který je zahříván okolní teplotou. Nezbytnou součástí jsou také vyhřívací nádrže, které je nutné správně technicky navrhout. K výrobě 1,5 m³ bioplynu prý postačí zhruba 15 kg kravského trusu a 15 kg odpadní vody. Obyvatelé si odnáší bioplyn v ohnivzdorných pytlích o objemu 1,2 m³ a vážící téměř 3 - 4 kg. S tímto množstvím si domácnost vystačí na 5 hodin vaření. Cena je 43,5 €. Díky vyrovnaným tlakům lze tento pytel v podobě batohu snadno připojit. Hnojivo o 20 litrech je také nadále zužitkováno ((B) Energy, 2016). Představitelka projektu Katrin Pütz říká: „pečlivé pozorování počátečního období a sběr dat s jejich vyhodnocováním je klíčem udržitelného podnikání.“ Dále také zdůrazňuje, že: „tento projekt není konečným řešením, nýbrž je pouze odrazovým můstkem pro rychlejší šíření bioplynu.“ Sběr dat a analýz je pak podkladem obchodních plánů pro soukromé investory za účelem nezávislého konceptu na dotacích. Výsledkem sociálního konceptu je jak snížení emisí oxidu uhličitého, metanu, ale také odlesňování. Aktuálně proráží mimo Afriku do Asie a Latinské Ameriky. Projekt je patentován a mimo to oceněn nadací Siemens (Anonym, 2015).

Anaerobní technologie využil i ostrov Rodrigues, který je součástí republiky Mauricius, z důvodu nedostatku kapalného uhlovodíkové plynu LPG, který se na ostrov nepravidelně dovážel. LPG je znám obecně svými složkami propanu C₃H₈, butanu C₄H₁₀ či jejich kombinací a na ostrově se využíval především v domácnostech na vaření. Dalším velkým problémem bylo nakládání s odpady vzhledem k nízkému počtu skládek. Průzkum prokázal, že zdejší průměrná produkce komunálního odpadu na jednoho obyvatele činí 0,65 kg/den. Ostrov je oblíbenou turistickou oblastí, od které se odvíjí velká produkce odpadů kuchyňského charakteru. Proto je tento odpad smíchán s kravským trusem v poměru 1 : 2.

Charakter provedení BPS je nízkonákladový a rozmístěný v malém lokálním měřítku. Jedná se o BPS, které využívají anaerobní fermentaci v semikontinuálním provozu při okolních podmínkách a protože průměrná teplota na ostrově je 28°C, probíhá vyhřívání v mezofilním prostředí. Konstrukce se skládá ze tří nádrží, přičemž konstruktéři se snaží co

nejvíce zapojit vysokohustotní polyethylen (HDPE-UHMW) a polyvinylchlorid (PVC), jelikož jsou to materiály cenově dostupné, nerezavé, lehké a odolné proti větrům, kyselinám a luhům. Samotný reaktor s pevnou kopulí má kapacitu 120 kg a je schopen generovat 30 l bioplynu s průměrným metanem o 64% při době rozkladu 47 dní a průměrném pH 7,1. Součástí konstrukce je regulovatelný dávkovač bioplynu s hořákem a plynojem, do kterého se ventilem dává vápenná voda, která pohlcuje oxid uhličitý. Zásobní prostor pro bioplyn má 200 kg. Ostrov se tak především zaměřil na dodávku bioplynu pro obyvatelstvo s využitím pro vaření. Zbytkové digestáty jsou aplikovány na půdu. Ekonomickou analýzou bylo odhadnuto, že reaktor s kapacitou 3300 kg by optimalizoval celý proces výroby bioplynu a zároveň by mohlo být ušetřeno 1,33 USD na spotřebu LPG za den, s dobou návratnosti 6,4 let (Mudhoo, 2012).

4 Bioplynová stanice Žákava

4.1 Identifikační údaje obce a provozovatele

Obec Žákava se nachází nedaleko krajského města Plzně, přibližně 21 km jižně. Jedná se o jednu z nejstarších vesnic Plzeňského kraje, pochází z 13. století. Podle informací z roku 2013 zde je 181 domů a 83 rekreačních chatek, bydlí zde 452 obyvatel. Údajně dle statistiky by měl počet obyvatel do roku 2030 vzrůst o 100 -150 obyvatel. Průměrná roční teplota je 7 - 8,5°C. Průměrný srážkový úhrn za vegetační období je 345 mm a roční úhrn srážek je 520 mm.

Obr. č. 12: Výřez z katastrální mapy pro vymezení oblasti řešeného území M 1 : 10 000

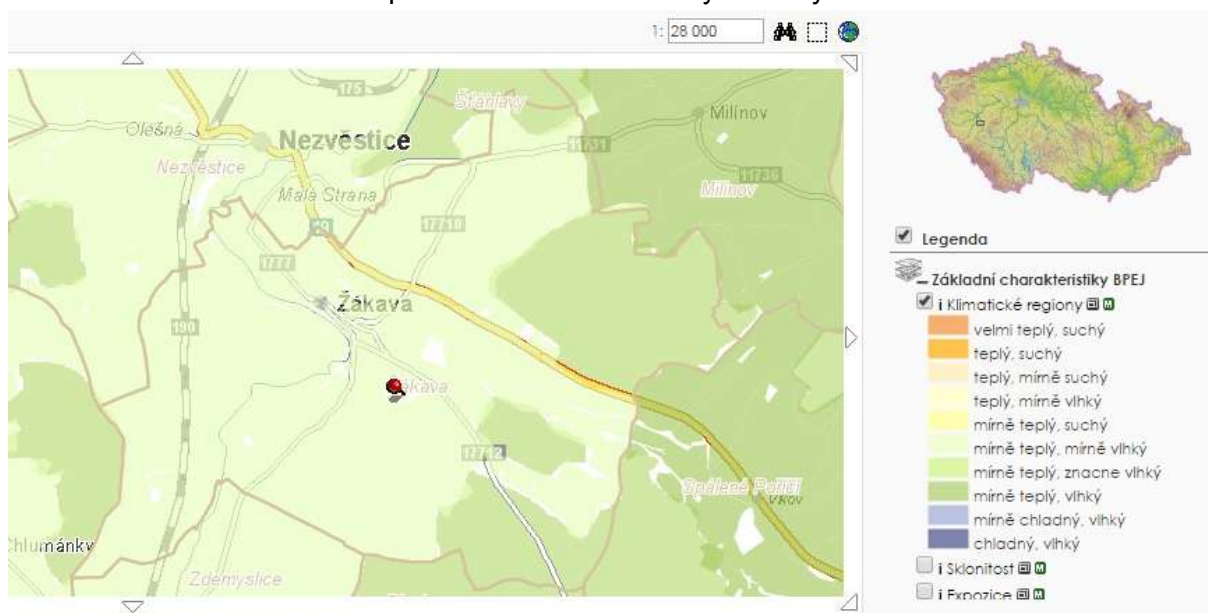


Zdroj: (ČÚZK, 2016)

Urbanistický sektor řešeného území je vyčleněn jihozápadně od obce pravým břehem řeky Úslavy, tok IV. řádu přitéká z jihu a je významným vodním zdrojem pitné vody pro město Plzeň. Číslo hydrologického pořadí je 1-10-05-043. Severozápad obce lemuje levým břehem a okrajem údolní nivy tok V. řádu Bradava (ČHP: 1-10-05-050). Mimo jiné potok bystřinného charakteru Bradava má úpravnu vody pro průmysl. Toky mají protipovodňová opatření, jelikož se jedná o záplavová území. Je zde ochranné pásmo I. (OPVZI) i II.(OPVZII) stupně. S rozlohou 1,5 ha je v obci Žákavský rybník. V obci je okolo 200 ha odvodněných ploch, do kterých byly investice převážně vloženy v 60. až 70. letech 20. století.

Území se nachází v mírně teplém a vlhkém klimatickém regionu v nadmořské výšce od 300 do 450 m n. m. Celkově se jedná o příznivé klima pro zemědělství. Převážné složení půdního typů jsou luvizemě, pseudogleje, fluvizemě, kambizemě a silně svažitě půdy. Z geomorfologického hlediska je oblast zařazena do hercynského systému; Provincie: Česká Vysočina; Subprovincie: Podberounská soustava; Oblast: Brdská oblast; Celek: Plzeňská vrchovina; Podcelek: Radyňská pahorkatina; Okrsek: Blovická pahorkatina. Geologicky je sprašového charakteru. Podle územního plánu se jedná o oblast předpokládané redistribuce uranu s možností výskytu lokálních kontrastních anomálií objemové aktivity radonu v půdním vzduchu. Koeficient ekologické stability má hodnotu 1,19.

Obr. č. 13: Výřez mapy pro určení klimatického regionu v měřítku 1: 28 000 z Geoportálu SOWAC-GIS s vyznačeným bodem BPS

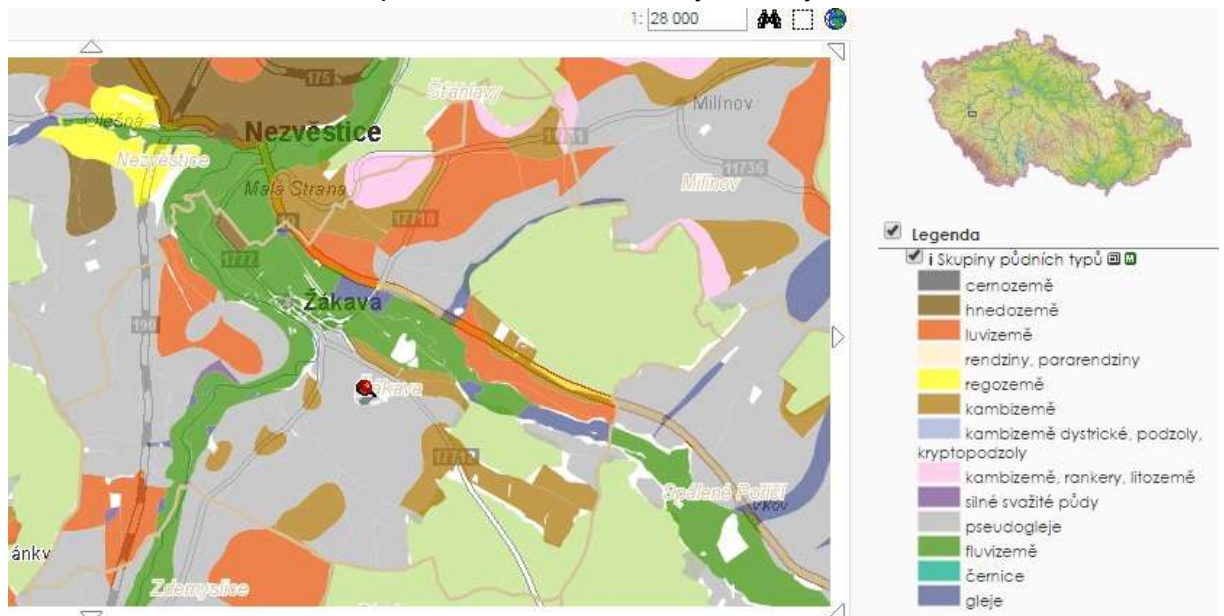


Zdroj: (VÚMOP, 2016)

Katastrální území č. 704504 Žákava má celkem 946 ha, z toho 154 ha zaobírá les. Lesy zde převážně vlastní obec. Zemědělské půdy je cca 600 ha. Z toho orné půdy zhruba 394 ha odpovídá 41,60% z celkové plochy katastrálního území. Zbýlé plochy zemědělského půdního fondu pokrývají trvalé travní porosty, sady, zahrady.

V oblasti technické infrastruktury se vyskytuje zdroj elektrické energie v bioplynové stanici, která produkuje elektřinu do rozvodné sítě, rozvody spravuje síť ČEZ a.s. Zásobování plynem je zajištěno středotlakou větví z regulační stanice Nezvěstice ve vedlejší vesnici. Obec je zásobována teplem využitím hlavně zemního plynu. U stabilizovaných i nově navržených objektů mimo dosah rozvodné sítě plynu se počítá s užitím elektrické energie pro ohřev vody i vytápění. Mimo dosah této rozvodné sítě plynu se připouští s ohledem na životní prostředí spalování ekologických tuhých paliv, těmi se rozumí dřevo, brikety a dřevní odpad. Na území prozatím není sběrný dvůr, do budoucna se jeho realizace plánuje přestavbou objektu bývalého Panského dvora. Dopravní infrastruktura zahrnuje silnici I. a III. třídy. Kanalizační síť je prozatím jednotná s výhledem přestavby po etapách na oddílnou. Zásobování vodou prozatím funguje z vlastních zdrojů ze studní a vrtů.

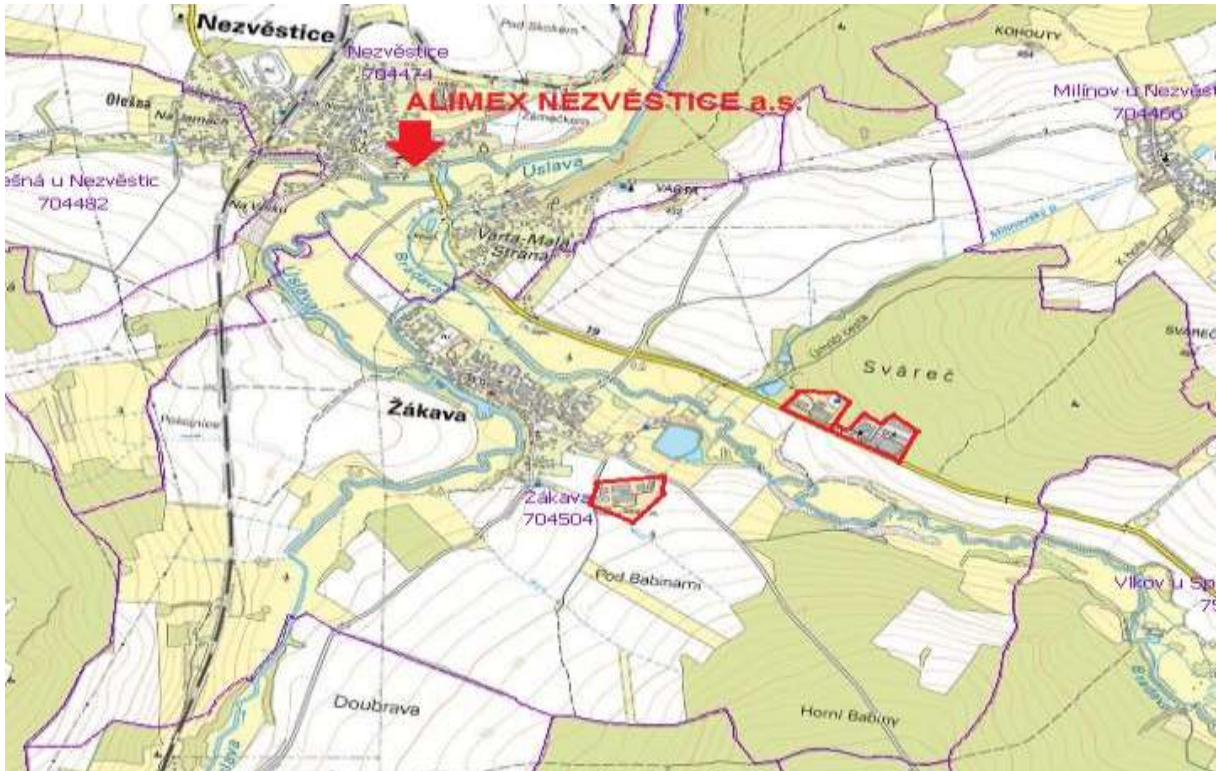
Obr. č. 14: Výřez mapy pro skupinu půdních typů z Geoportálu v měřítku 1: 28 000 z Geoportálu SOWAC-GIS s vyznačeným bodem BPS



Zdroj: (VÚMOP, 2016)

Bioplynovou stanici v Žákavě spravuje společnost ALIMEX NEZVĚSTICE a.s. Vznikla 21.6. 1999 a dle institucionálního sektoru ESA2010 se řadí do oblasti č. 11002 - Nefinanční podniky soukromé národní s udávaným počtem zaměstnanců v kategorii 100-199. Společnost sídlící v Nezvěsticích, v okrese Plzeň-město s PSČ 332 04 a IČ 251 96 049, má širokou škálu ekonomických činností. Kromě provozování bioplynové stanice se věnuje chovu mléčného skotu, živočišné výrobě, pěstování plodin jiných než trvalých rostlin, podpůrné činnosti pro zemědělství, nákladní silniční dopravě a výrobě průmyslových krmiv pro hospodářská zvířata.

Obr. č. 15: Výřez z katastrální mapy s vyznačenými objekty firmy ALIMEX v měřítku 1:25 000

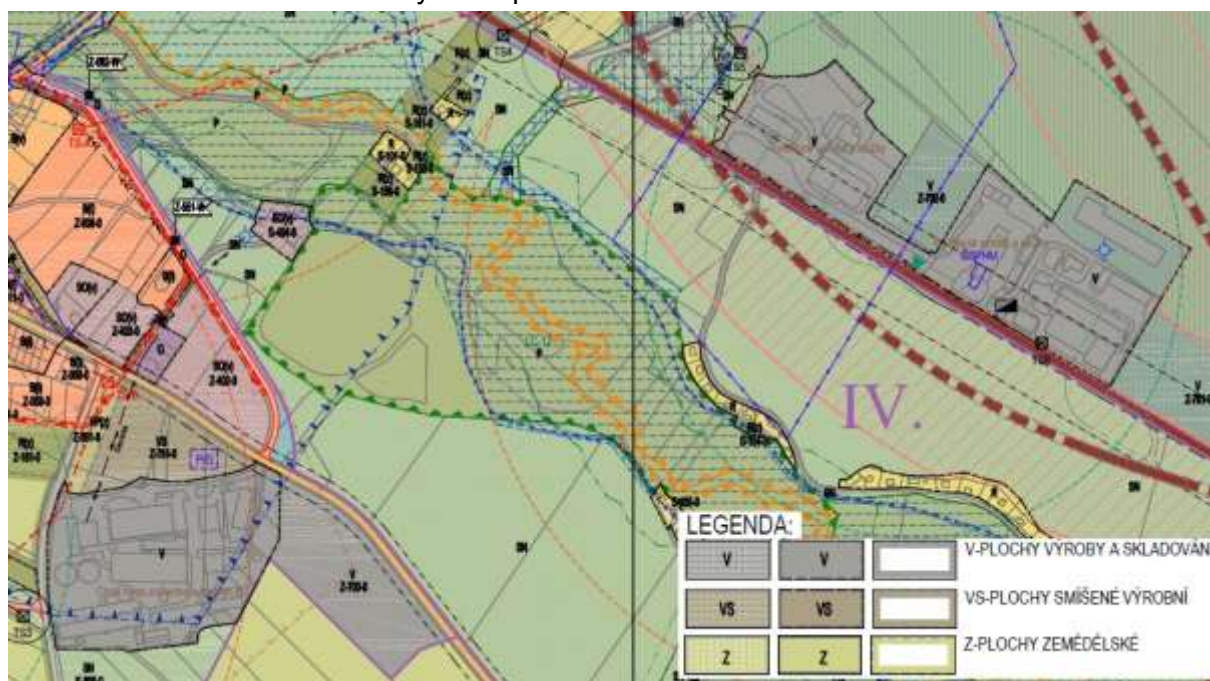


Zdroj: (ČÚZK, 2016)

V 39 katastrálních územích obhospodaruje zhruba 4 500 ha zemědělské půdy, z toho je 3 100 ha orné půdy rozděleno pro rostlinnou výrobní sféru. V oblasti živočišné výroby hospodaří s uzavřeným obratem stáda skotu, plemena Holštýnských dojnic v počtu 1100 ks produkují mléko a kejdu pro BPS. Další provozy mají celkovou kapacitu krav kolem 1800 ks, včetně zemědělské farmy VVK Žákava s počtem 500 ks dojnic. Výhodou podniku jsou vlastní jímky pro vyvážení, technika pro sklizeň a kapacita pro sušení, čištění a skladování jejich produkce. Firma je vedena Krajským soudem v Plzni v obchodním rejstříku ve vložce 962 oddílu B. Číslo listu vlastnictví je 1394. Základní kapitál činí 152 323 000,- Kč a roční obrat firmy převyšuje 230 milionů Kč. Hlavní zdroj příjmů je živočišná i rostlinná výroba a prodej elektrické energie z bioplynové stanice Žákava.

Tato akciová společnost má vlastní zdroje vody v podobě samostatných vodovodů s lokálními studnami. Zásobují také rekreační chaty, které jsou poblíž. Dešťové vody z areálů jsou odváděny dešťovou kanalizací do Milínovského potoka. Areál je také vybaven recirkulační čistírnou mycích vod a u čerpacích stanic pohonných hmot je využíván odlučovač ropných látek. Nevýhodou je prozatím omezení výstavby objektů bydlení, škol, potravinářství, zdravotnictví a rekreace kolem zemědělské farmy, z důvodu nekompletní výstavby splaškové kanalizace, čistírny odpadních vod a zápachu. Pro zlepšení situace je vymezené hygienické ochranné pásmo. Územní plán stanovil tyto pásma, která jsou závislá na snížení počtu a druhu hospodářských zvířat. Mimo to se ve spodních vodách vyskytují vysoké parametry koncentrace železa a manganu.

Obr. č. 16: Schématické znázornění z územního plánu obce znázorňující rostlinnou a zemědělskou výrobu společnosti ALIMEX NEZVĚSTICE a.s.



Zdroj: (Územní plán, 2013)

4.2 Bioplynová stanice

Bioplynová stanice byla zřízena na základě povolení stavby odborem životního prostředí KÚ Plzeňského kraje (č.j. ŽP/5797/11). Přibližné souřadnice objektu S-JTSK odpovídají Y:812840.91; X:1084737.04 a WGS-84: 49°37'35.73"N, 13°32'22.74"E. Bioplynová stanice se nachází v mírném sklonu při nadmořské výšce 390 m n. m. v areálu zemědělského družstva. Tento areál s přibližnou rozlohou 4,4 ha je oplocen a má ornou půdu s BPEJ 54811, proto je v třídě ochrany IV. Dle územního rozhodnutí vydaném na Městském úřadu ve Spáleném Poříčí se stavební objekty BPS vyskytují na pozemcích s pozemkovým č. 194/1, 314/1, 349 a parcelním číslem 897/2, 914/46, 930/22, 930/36, 930/38, 930/51, 930/52, 930/53, 930/56, 930/57, 930/58, 930/59, 930/60, 930/64, 930/66, 930/68, 930/79, 930/95, 972/3, 1625/1, 1630, 1631, 1633, 1634, 1647 v katastrálním území Žákava. K zemědělskému areálu vede silnice III. třídy.

Obr. č. 17: Výřez zemědělského areálu z katastrální mapy v měřítku 1 : 1 000



Zdroj: (ČÚZK, 2016)

Bioplynová stanice získala licenci roku 2012, její provoz je 24 hodin denně a bez plánovaných odstávek dosahuje minimálně 8300 provozních hodin za rok, průměrně ale dosahuje 8500 hodin za rok. Hlavní objekty novostavby BPS zahrnují fermentor pro produkci bioplynu, plynojem, sušárnu, čerpací centrum, koncovou jímku. Přítomné jímky byly upraveny a proběhla i rekonstrukce zděné provozní budovy s kogenerační jednotkou. BPS využívá dvoustupňovou anaerobní fermentaci s mezofilním teplotním optimem. Instalovaný výkon kogenerační jednotky pro výrobu elektrické energie je 998 kW a využitelný tepelný výkon činí 1032 kW. Kogenerační jednotka je na bázi pístového spalovacího motoru. Bioplyn je produkován mokrou fermentací z organických hmot vzniklých zemědělskou výrobou. Jedná se hlavně o kukuřičné siláže, senáže a kejdy skotu. Vyrobená elektrická energie je dodávána do rozvodné sítě. Využité je i teplo pro vyhřívání fermentorů a pro sušárnu a vytápění objektů v areálu, především dojírny. Tím, že je ale dodáváno pouze do vlastních objektů zemědělského podniku, se nejedná o záložní zdroj energie. Měření složení bioplynu pro výsledné řízení BPS je nepřetržitě prováděno analyzátozem plynů na obsah CH_4 , CO_2 , H_2S a O_2 . Tyto údaje jsou uváděny v provozní evidenci vedené dle vyhlášky č. 406/2015 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a zjišťování o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění pozdějších předpisů.

Předpokládané množství a vlastnosti bioplynu z hlediska energetické vydatnosti a splnění emisních limitů uvádí tabulka č. 6, přičemž poslední údaj maximální dospalování je vypočten na neredukovaném dávkování, ve skutečnosti je bioplyn minimální, jelikož nastává převážně při revizních odstávkách, kdy je dávkování předem redukováno.

Tab. č. 5: Předpoklad množství a vydatnost bioplynu

Projektovaná produkce bioplynu [m ³ /rok]	3 990 485
Projektovaná produkce metanu [m ³ /rok]	2 094 721
Výhřevnost bioplynu [MJ/Nm ³]	18,9
Spodní výhřevnost plynu H _u [kWh/m ³]	10
Obsah CH ₄ [%]	52,49
Primární energie bioplynu [MWh/rok]	20 950
Předpokládaná spotřeba bioplynu při proběhu 8300 hodin ročně [m ³ /rok]	3 822 743
Předpokládaná spotřeba bioplynu při proběhu 8500 hodin ročně [m ³ /rok]	3 914 857
Maximální dospalování bioplynu na fléře [m ³ /rok]	75 628

➤ **Vstupní suroviny**

Substrátem jsou exkrementy z vlastních chovů hospodářských zvířat a cíleně pěstovaná fytomasa na zemědělské půdě provozovatele. Množství je zapisováno do provozního deníku.

Tab. č. 6: Množství biomasy a produkce bioplynu

Substrát	Hmotnost [t/rok]	Objem [m ³ /rok]	Celková sušina-VL [%]	Organická sušina [%]	Denní vsádka		podíl [%]	Produkce bioplynu		podíl [%]
					m ³ /den	t/den		Nm ³ /h	Celkem Nm ³	
kejda skotu	11 317	10 288	10	8	29	32	100	38,6	327 803	9
siláž kuřice	11 500	17 692	32	30	50	32,5	63	283,3	2 408 365	60
senáž travní směs	6 700	12 182	35	33	34,4	51,4	37	147,6	1 254 317	31
Celkem	29 517	40 162			113,4	83,3		469,5	3 990 485	100

➤ Technologie procesů cesty substrátu

Pro dočasné uskladnění nízkosušinyového substrátu slouží příjmová jímka, do které je kejda dopravována gravitačně ze stájí. Pomocí čerpadla se dávkuje ve stanovených intervalech substrát do fermentoru. Substrát s vyšším obsahem sušiny siláž a senáž je umístěn v silážním žlabu v areálu, dopravuje se čelním nakladačem do dávkovače, který je složen z vážícího mechanismu, násypky a šnekového dopravníku, díky kterému se dopravuje též v intervalech do fermentoru.

Reaktor je proveden železobetonovou monolitickou technologií jako válcová jímka a je rozdělen vnitřní stěnou tvaru prstence na dvě nádrže. Vnější nádrži se říká hlavní fermentor a vnitřní prstenec nádrže je koncový fermentor. Převod z hlavního reaktoru do dofermentoru zvýší kvalitu bioplynu obsahem metanu.

Do hlavního fermentoru jsou dákovány pevné či tekuté substráty a kejda z příjmové jímky. Dochází zde k mezofilnímu zahřívání na 40°C a za anaerobních podmínek homogenizace substrátu cyklickým promícháváním. Během 40 dní dojde ke kvašení a současně uniká metan, který je přiveden do kogenerační jednotky. Ve fermentoru je šest plynotěsných otvorů určené k revizi. Ve stropu nádrže pak prostupy pro míchadla a plnicí šnek. Pro přepad plynu z hlavní fermentoru do koncového je ve stropu umístěn otvor, který má podtlakovou i přetlakovou pojistku proti prasknutí nádrže k odvodu i k přívodu vzduchu s odsířením.

Poté dochází v koncovém fermentoru k dokvašení substrátu za stejných podmínek jako v hlavním fermentoru s časovým rozdílem 22 dní a 30% výtěžkem bioplynu z celku. Bioplyn je opět odsířován a veden do kogenerační jednotky. Koncový fermentor opět doplňují revizní otvory, prostupy pro míchadla a pro přepad z hlavního fermentoru. Oproti hlavnímu fermentoru doplňují stopní konstrukci rozvody vody a elektrické připojení strojních částí. Ty zakrývá tepelná izolace s krycí vrstvou betonu. Výstup na stropní konstrukci je možný obvodovým schodištěm se zábradlím. Pode dnem nádrže je provedena uzemňovací soustava z pozinkovaného drátu a pásku. Navíc je zde vybudována kontrolní šachta pro zjišťování úniku odpadních vod. Kontrola systému se provádí v souladu s manipulačním a provozním řádem.

Tab. č. 7: Základní projektové parametry

Typ procesu	Mezofilní, dvoustupňový, semikontinuální, mokrá fermentace
Reakční teplota	35-40°C
Průměrná doba zdržení v hlavním fermentoru	40 dní
Průměrná doba zdržení v dofermentoru	22 dní
Celková dávka substrátu [t/den]	83,3
Ředění recyklovaným digestátem [t/den]	0
Průměrný obsah celkové sušiny na vstupu do fermentoru	22,20%
Předpokládané odbourání obsahu organické sušiny v substrátu	80%

Součástí celé technologie se stále účastní čerpací centrum, které je umístěno u vnější stěny reaktoru a které umožňuje přečerpávat materiál z nádrží příjmové jímky, hlavního fermentoru i dofermentoru. Koncept čerpání má funkci i recyklace provozní kapaliny, kdy je část kapaliny zpět použita k ředění vstupního substrátu a tím umožňuje lepší stabilitu fermentace.

Přepadem z dofermentoru do stávající přečerpávací jímky o objemu 476 m³, dochází k odtoku průběžného vyhořelého materiálu. Tento materiál se odděluje čerpáním na pevný separát a tekutý fugát je odváděn do koncové soustavy jímek, což jsou tři kruhové železobetonové nádrže částečně zapuštěné do země. Při objemu nádrže 7 000 m³ a dvou nádrží o objemu 2400 m³ je jejich kapacita schopná uskladnit fugát na minimálně 6 měsíců. Pro odvoz digestátu z jímek k zemědělskému využití je prováděno jímání míchadlem a čerpadlem do mobilního prostředku.

Před tím než jde bioplyn z fermentorů plynovým potrubím do kogenerační jednotky, svede se do sběrače vznikajícího kondenzátu, ten je tvořen kondenzujícími parami. Tímto způsobem se plyn zbaví vodních par a je odváděn do externího plynojemu o objemu 800 m³.

V plynojemu je bioplyn objemově hromaděn tak, aby se zabránilo nadměrnému množství a kolísání tlaku. Externí uskladnění plynu je ještě žádoucí z důvodu zabránění častého vypínání a zapínání kogenerační jednotky, ale i vzhledem k pravidelné údržbě.

Plynové potrubí vedoucí od plynojemu ke kogenerační jednotce je vybaveno manuálně obsluhovatelným uzavíracím ventilem, zabezpečením proti zpětnému zákalu a elektromagnetickým ventilem. Součástí kogenerační jednotky je redukční stanice plynu, zařízení analyzátoru plynu a nízkotlaký plynoměr. Analyzátor plynu nám ukazuje výskyt sulfanu v bioplynu. Princip odsiřování spočívá v mikroaerofilní oxidaci plynného sulfanu, kterou vykonávají sulfát redukující bakterie. Jejich činnost je podporování zavzdušňovacího prostoru v reaktorech, obvykle 0,1 - 4% objemového prostoru reaktorů, aby nedošlo k poškození kvality bioplynu. Toto zavzdušňovací zařízení se nachází ve vnějším plynovém propojení hlavního a koncového fermentoru.

Nutným vybavením BPS je bezpečnostní plynový hořák, který zabraňuje úniku produkovaného zbytkového bioplynu do volné atmosféry. Fléra je konstruována s otevřeným hořením s vysokonapětovým zapalováním a má vysokou účinnost. S maximální navrženou spotřebou plynu 600 m³/h je fléra vzdálena 15 m od povrchové stavby na volné ploše. Je nutné, aby se na volné ploše nevyskytovaly žádné předměty. Tím, že je přívod plynu k nouzovému hořáku umístěn za dmychadlem a před hlavním uzavíracím šoupákem, má tu výhodu, že je provoz zajištěn i po odpojení plynové části kogenerační jednotky.

Nakonec je plyn přiváděn do objektu kogenerace. V provozní budově se nachází velín pro ovládací a kontrolní činnost obsluhy, strojovna kogenerační jednotky, předsíň a sklad oleje. Uvnitř strojovny se nachází automatická kogenerační jednotka s veškerým příslušenstvím. Větrání je zajištěno přívodem vzduchu tlačným ventilátorem, filtrem vzduchu a tlumičem sání. Vedle objektu je umístěn chladič kogenerační jednotky a výfuk ve výšce 9 m nad terénem.

Tab. č. 8: Základní údaje o kogenerační jednotce a parametry při 100% zátěži

Typ kogenerační jednotky	MWM TCG 2020V12
Jmenovitý elektrický výkon [kW]	998
Využitelný tepelný výkon [kW]	1032
Příkon v palivu (spotřeba) [kW]	2418
účinnost elektrická [%]	41,3
účinnost tepelná [%]	42,7
účinnost celková (využití paliva) [%]	84
spotřeba bioplynu při 100 % výkonu [Nm ³ /h]	460

Obr. č. 18: Fotografie kogenerační jednotky bioplynové stanice v Žákavě



Zdroj: (Vlastní zdroj, 2016)

Před zahájením provozu byla na smontovaném potrubí provedena tlaková zkouška vzduchem a zařízení prošlo revizí provedenou oprávněnou firmou. Po provedení funkčních zkoušek byla provedena výchozí revize plynového zařízení revizním technikem a obsluha kogenerační jednotky a plynového zařízení byla proškolená. Plynové zařízení podléhá pravidelným zkouškám a provozním revizím. Plynovod a každý spotřebič má vyhotovenou revizní knihu dle ČSN 38 6405, změna 1. Obsluha provádí pouze kontrolní činnost.

V případě poruchy zařízení jsou změny signalizovány odpovědnému zástupci formou SMS zprávy.

Obr. č. 19: Schématické znázornění hlavních objektů BPS v měřítku 1 : 1 000



Zdroje: (ČÚZK, 2016)

➤ Výstupy z technologie

Kromě bioplynu, fermentačního zbytku, které zemědělské družstvo využívá na vlastní pozemky, jsou dalšími výstupy z BPS emise. Emise pachových látek vzniká manipulací s biomasou a fermentačním zbytkem. Proto se příčiny minimalizují například optimálním řízením anaerobních procesů a překrytím úložných prostorů i dopravní techniky a s tím i skrápění cest pro snížení prašnosti při dopravě. Emise plyných škodlivin z provozu hořáku zbytkového plynu se ovlivní optimalizací dávkování substrátu, vhodnou velikostí i využívání plynojemu a řízením provozu kogenerační jednotky.

Výstupy z kogenerační jednotky je produkovaná energie a také emise plyných látek ve spalínách. Musí se dodržovat vyhláška č. 406/2015 Sb., o přípustné úrovni znečištění, v pozdějších znění, která určuje emisní limity vztažené na normální stavové podmínky. Přibližný Emisní limit plyného paliva je: 500 NO_x mg/m³; tuhé znečišťující látky 130 mg/m³ a CO 1300 mg/m³. Pravidelné měření kogenerační jednotky se provádí jednou za tři roky.

Tab. č. 9: Přibližná projektová energetická bilance BPS při provozu 8500 h/rok

Výroba elektřiny [MWh/rok]	8 483
Výroba tepla [MWh/rok]	8 772
Vlastní spotřeba elektřiny [MWh/rok]	615
Vlastní spotřeba tepla [MWh/rok]	2 346
Produkce elektřiny netto [MWh/rok]	7 868
Dále využitelné teplo [MWh/rok]	6 426

Obr. č. 20: Fotografie fermentoru bioplynové stanice



Zdroj: (Alimex-Nezvěstice, 2016)

5 Využití bioplynu

V současné době nabírá bioplynová technologie na celosvětovém významu. Bioplyn využíváme jako alternativní zdroj energie. Jako jeden z mála je obnovitelný, jelikož je výsledkem zpracování biomasy, což je materiál rostlinného či živočišného původu s obsahem organické hmoty. Složení bioplynu je především lákavé z hlediska vysokého obsahu metanu.

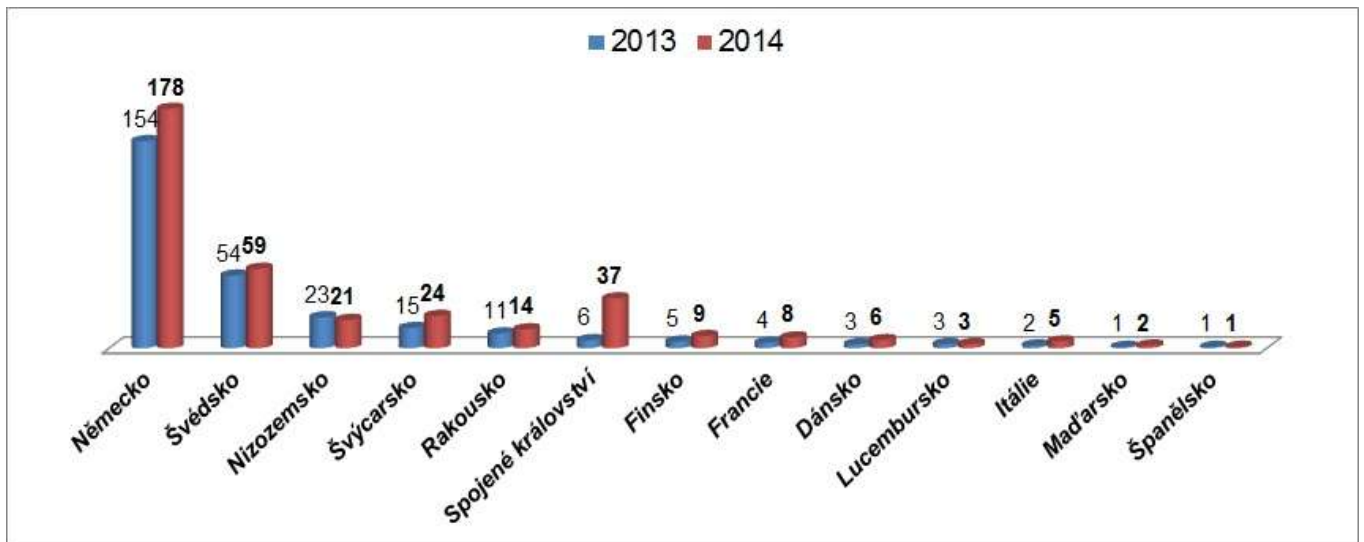
Vzhledem k diskuzím o ochraně klimatu pro snížení obsahu oxidu uhličitého v ovzduší byl v minulosti na trh kapalných paliv zařazen poměrně neefektivní metylester řepkového oleje (MEŘO). Zisky z prodeje jsou relativně nestabilní vzhledem ke kurzu cen základní suroviny na světových trzích (MZe, 2012). Cennější palivo představuje vyrobený bioplyn po dodatečném odstranění oxidu uhličitého, vody a sirovodíku. Má vyšší tepelný obsah a je méně korozivní (Capodaglio a kol., 2016). Představuje tak neutrální palivo a může být použit všude, kde využíváme zemní plyn, avšak pro tuto aplikaci do sítí je nutné vyčištění a tím i zvýšení surového bioplynu. Přečištění bioplynu je závislé na konečném využití. Energie v zařízení na výrobu bioplynu mohou být využity ve formě tepla, elektřiny či transformací na kinetickou energii při použití jako pohonné hmoty (Wellinger a kol., 2013). Vyčištěním bioplynu na kvalitu zemního plynu (SNG) je nazýván biometan (Straka a kol., 2010).

Biometan má stejné specifikace a vlastnosti jako zemní plyn, je možno jím pohánět vozidla podporující zkapalněný zemní plyn (LNG) či stlačený zemní plyn (CNG). Navíc ho lze dobře skladovat a přepravovat, což zvyšuje po tomto palivu poptávku. Zdokonalování bioplynu na biometan je relativně nová technologie, u které je v současné době ekonomická modernizace možná pouze u velkých zařízeních vzhledem k nákladným technologiím, proto je často dražší než zemní plyn (Capodaglio a kol., 2016).

Spotřeba stlačeného zemního plynu v České republice loni meziročně vzrostla o více než 45%. Podle Českého plynárenského svazu přibylo o více než 4 000 z 13 000 plynových vozidel, rozvoji v dopravě brání hlavní nedostatek vozů na CNG (Knížek, 2016).

V současné době je v Evropě vyhotoveno 367 stanic, zabývajících se výrobou biometanu na pohon vozidel. V Německu koncem roku 2014 se vyskytuje už 178 z celkových 367 stanic zaměřených na výrobu biometanu (EBA, 2015). Stabilní růst nastává i ve Švédsku a Finsku. Bioplynová technologie dokonce dorazila i mimo Evropu do Jižní Koreji. Se 6 biometanovými stanicemi a 600 autobusy poháněnými biometanem obměňuje tamní infrastrukturu (REN21,2015). Podle EBA (2015) 367 stanic v Evropě vyprodukuje 310 tisíců m³ biometanu za hodinu. V časovém rozmezí 2013-2014 byl zaznamenán růst produkce o 9%, nyní produkce mírně poklesla navzdory deregulace cen nafty (REN21,2015). U nás zatím biometan ještě nebyl schopen vytlačit znečišťující fosilní paliva z předních příček, přestože má budoucnost ve využití a jeho ekologický dopad je vhodný vzhledem k životnímu prostředí.

Obr. č. 21: Vzestup počtu BPS s účelem výroby biometanu v rozmezí 2013-2014



Zdroj: (EBA, 2015)

Bioplynové využití není jen v pohonu vozidel a zemědělských strojů. Dalším výrobním faktorem je teplo a výroba elektřiny. Podle Evropské bioplynové asociace (2014) celkové množství vyrobené elektrické a tepelné energie z BPS v Evropě odpovídá roční spotřebě domácností Belgie a Slovinska dohromady. Takovou výrobou je možné nahradit 15 uhelných elektráren s průměrným výkonem 500 MW.

Vlastní technologická spotřeba energie u výroben elektřiny a tepla v bioplynových stanicích představuje 10% - 15% celkové energie v bioplynu. Při dnes obvyklých cenách vstupních surovin lze při správném dimenzování BPS a částečně využitého tepla pro jiné účely než na potřeby technologie dosáhnout průměrných cen energie v rozmezí od 2,5 - 3,5 Kč/kWh. Není-li teplo z bioplynové kogenerace využito pro jiné účely než vlastní potřeby, převyšuje průměrná cena efektivně využitě elektrické energie hranici 3 Kč/kWh (MZe, 2012).

K letošnímu roku 2016 vzrostly obavy provozovatelů BPS a jejich institucí kvůli podpoře bioplynu. Nové cenové rozhodnutí č. 9/2015, vydané dne 29.12. 2015 Energetickým regulačním úřadem, ukazuje nové cenové rozhodnutí o výkupních cenách a ročních zelených bonusech na elektřinu. Tento ceník je platný od 1.1. 2016. Cenové relace jsou

informativní a na jejich nárok je nutno splňovat určité podmínky a právní předpisy. Odchylna předpokládané ceny je 15 Kč/MWh (ERÚ, 2015).

Tab. č. 10: Cenové rozhodnutí o výkupních cenách a ročních zelených bonusech na elektřinu pro rok 2016

Podporovaný druh energie	Datum uvedení výroby do provozu		Kategorie biomasy a proces využití	Jednotarifní pásmo provozování	
	od	do		Výkupní ceny [Kč/MWh]	Zelené bonusy [Kč/MWh]
Spalování skládkového plynu a kalového plynu z ČOV	-	31.12.2003	-	3 270	2 570
	1.1.2004	31.12.2005	-	3 151	2 451
	1.1.2006	31.12.2012	-	2 794	2 094
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroje nesplňující podmínku výroby a efektivního využití vyrobené tepelné energie podle bodu 1.8.3.	1.1.2012	31.12.2012	AF1	3 550	2 820
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích pro zdroje splňující podmínku výroby a efektivního využití vyrobené tepelné energie podle bodu 1.8.3.	1.1.2012	31.12.2012	AF1	4 120	3 390
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích	-	31.12.2011	AF1	4 120	3 390
	-	31.12.2012	AF2	3 550	2 850

Zdroj: (ERÚ, 2015)

Zařazení jednotlivých druhů biomasy do příslušných kategorií pro proces využití AF stanovuje § 3 zákona č. 477/2012 Sb., o stanovení druhů a parametrů podporovaných OZ pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů, v platném znění; Kategorie AF 1 zahrnuje BPS zpracovávající anaerobní fermentací cíleně pěstované zemědělské plodiny. Základní podmínkou je jejich přímé využití bez předcházející technologické úpravy. Kategorie AF 2 nemá primární účely využití biomasy jen ve výrobě bioplynu. Podmínku splňuje také v případě, že energetická biomasa tvoří v daném kalendářním měsíci méně než 50% hmotnostního podílu v sušině vstupní suroviny do BPS.

Celková cena tepelné energie v bioplynu při započtení nákladů na vstupní suroviny a investice do technologie na výrobu zpravidla převyšují cenu zemního plynu a tak není v praxi cenově konkurenceschopná. Cena tepla v bioplynu se pohybuje v rozmezí 1,4 - 1,6 Kč/kWh jeho výhřevnosti (MZe, 2012).

K roku 2016 je vyhlášena operačním programem systémem podnikání a inovací pro konkurenceschopnost nová vyhláška, kdy si investoři mohou dosáhnout až na 50% dotaci za

účelem vývodu tepelné energie z BPS a budování bioplynovodů. Tento krok by mohlo výrazně zvednout efektivitu provozu BPS (CZBA, 2015).

6 Diskuse

Domnívám se, že by bioplynové stanice měly budovat hlavně za účelem zpracování odpadní a zbytkové biomasy, a proto by se mělo předcházet velkoplošné výrobě širokořádkových plodin, při které dochází k velké erozi půd. Příkladem je kukuřice, která roste hlavně v suchých oblastech, je velmi náchylná k zaplevelení a vyžaduje si značné hnojení. Hnojiva mají především velký obsah špatných pesticidních látek. Pro tyto látky by měly platit přísnější evropské normy pro ekotoxikologický profil, aby zemědělci, pouštějící se touto cestou, nezapříčinili mimo degradace půd i znečištění podzemních vod těmito chemickými levnými látkami, dováženými třeba z Číny. Tyto látky absorbuje kukuřice v 5 - 10%, zbytek látek putuje do vody a půdy. V sedimentech se pak dají dohledat negativní složky, jako jsou aoxiny, těžké kovy, případně arseny v podloží. V České republice se výsadba kukuřice rok od roku rozšiřuje. V roce 2010 ji naši pěstitelé vyseli na více než 280 tisících hektarech, v roce 2015 už zaujímala necelých 324 tisíc hektarů (Honsová, 2016). Výsadba meziplodin by obecně zvýšila obsah organické hmoty v půdě, protože brání vyplavení a sorbuje živiny, na riziko eroze má tedy příznivý vliv. A dále také střídání plodin.

Je nutno podotknout, zda-li přes snahu MŽP o snížení dotací na podporu kukuřice mělo banální efekt, příčina může být, že BPS mají pronajaté půdy i na 10 - 20 let dopředu. V této souvislosti poukážeme na zákon ve Švýcarsku. Zde je zakotveno, že to, co se vypěstuje na poli, slouží jako potravina či krmení pro hospodářská zvířata, proto zde není ze zákona možné pěstovat plodiny na zemědělské půdě primárně pro bioplynové stanice (Malíková, 2016). V posledních letech u nás vzrostla podpora chovu prasat. Dá se říct, že od roku 2013 jde z národního rozpočtu stabilní pomoc. V průměru za loňský rok stát přispěl 2,5 Kč na kilogram vyprodukovaného masa (Jedlička, 2015). Tento fakt by mohl zvednout ohlasy pro využití kejdy jako substrátu.

Stát si musí uvědomit, že energetika už nikdy nebude vypadat jako v minulých desetiletích. Více než půl století výroba elektřiny spočívala v poměrně malém počtu velkých zdrojů. Jednalo se hlavně o velké společnosti, které dodávaly elektřinu milionům spotřebitelů. Nyní se zaměříme na mikroenergetiku, protože obnovitelné zdroje se díky dotacím stávají konkurenceschopnými (Kotecký, 2016).

Je pravda, že specifické investiční náklady na BPS jsou nepřímo úměrné její velikosti, proto je zájem zemědělců o výstavbu společných centralizovaných BPS, jako je tomu nejčastěji v Dánsku. Zemědělský odpad je svážen z několika desítek farem (Jiránek a kol., 2011).

Je schválena nová novela zákona o obnovitelných zdrojích energie, kde je ohlášena podpora malých BPS o výkonu do 500 kW, u nichž bude splňovat kejda a hnůj minimálně 70% vstupních surovin. Pro výstavbu a modernizaci BPS je aktuálně v evropských dotacích připraveno 300 miliónů korun (Fuka, 2016). Optimální je stavět BPS elektrického instalovaného výkonu přibližně v rozmezí 400 - 500 kWh, měrné náklady se přibližují 70 -

120 tisíci na instalovaný elektrický výkon na jeden kilowat. Je nutno zohlednit fakt, že oproti zemědělským stanicím mají odpadové bioplynové stanice vysoké investiční náklady.

Důležitým aspektem pro obeznámení společnosti by mělo být, že obavy z výstavby BPS nemusí být na místě. Zápach řeší vzduchotěsně uzavřené fermentory a hluk motorů není nijak výrazně patrný.

Výhodou výroby energie oproti jiným je nezávislost na počasí a možnost regulace výkonu. To se odráží v ročním využití instalovaného elektrického výkonu, u těch nejlepších pozorovaných BPS je více jak 330 dní v roce. Koeficient hodnoty průměrného využití je v porovnání s větrnými, vodními, fotovoltaickými a v některých případech i jadernými elektrárnami v ČR vyšší (Jiránek a kol., 2011).

7 Závěr

Po anaerobní digesci zbývá digestát, což je fermentační zbytek. Tento digestát může být v BPS mechanicky oddělen na pevnou část, které se říká separát a kapalnou část, což je fugát a občas se vrací zpět do anaerobních procesů. Separát je surovinou pro výrobu hnojiv, substrátů, steliv i alternativních paliv. Průměrné hodnoty složení digestátu jsou logicky odvozené od vlastností vstupních surovin, ale i druhem použité technologie.

Tab. č. 11: Průměrné hodnoty digestátu

	sušina [%]	pH	N [%]	P ₂ O ₅ [%]	K ₂ O [%]	C:N	průměrná hodnota C:N
základní digestát	6-9	7-9	0,4-0,7	0,15-0,25	0,3-0,5	< 10	5-6
fugát	do 3	7-9	0,1-0,3	0,05-0,10	0,1-0,2	< 10	4-5
separát	20-30	7-9	0,6-1,0	0,3-0,5	0,4-0,7	≥ 10	14-17

Zdroj: (Houček a Smatanová, 2016)

Při fermentaci dochází ke snížení uhlíkatých látek, tím dochází k zúžení poměru C:N, proto obsahuje digestát hlavně špatně rozložitelnou organickou hmotu. Její celkový obsah živin se ale prakticky nemění, proto se využívá digestátu při aplikaci minerálních hnojiv. Z tabulky č. 11 a poměru C:N v ní vyplývá, že v hnojivu základního digestátu a fugátu je rychle uvolnitelný dusík, oproti separátu, kde jde o hnojivo s pomalu uvolnitelným dusíkem.

Před použitím digestátu jako hnojiva na zemědělskou půdu se provádí monitoring kalů s výslednou databází rozborů vzorků s obsahem rizikových prvků i škodlivých látek uvedených v platných vyhláškách. Výsledky z chemických, biologických a ekotoxikologických analýz mohou odhalit jaké vlivy má testované hnojivo na půdu. Pro ekotoxicitu je důležité složení vstupních surovin organického hnojiva a optimální volba doporučené dávky při

aplikaci na zemědělskou půdu. Vyhlášky zabraňují kontaminaci půdy a aplikaci nevhodných materiálů poškozující půdu i půdní prostředí.

Tab. č. 12: Limity rizikových prvků v digestátech

Obsah sušiny	Limity rizikových prvků v digestátech [mg/kg sušiny]								
	Cd	Pb	Hg	As	Cr	Cu	Mo	Ni	Zn
Nad 13% (separát)	2	100	1	20	100	150	20	50	600
Nejvýše 13% (digestát, fugát)	2	100	1	20	100	250	20	50	1200

Zdroj: (Houček a Smatanová, 2016)

Výrobce má povinnost digestát ohlašovat nebo registrovat podle vyhlášky č. 131/2014 Sb., o stanovení požadavků na hnojiva, ve znění pozdějších předpisů, kdy vznikají konečná řešení podle toho, zda se jedná o typový nebo netypový digestát a pokud je uváděn do oběhu či poskytován na vlastní pozemky. Při uvedení typového digestátu do oběhu je nutné bezplatné ohlášení, pro vlastní účely není nutná registrace ani ohlášení.

Tab. č. 13: Rozdělení typových digestátů

Typ hnojiva	Organické hnojivo	Obsah sušiny [%]	Celkový dusík ve vzorku [%]
18.1e)	digestát	3-13	min. 0,3
18.1f)	digestát-fugát	do 3	min. 0,1
18.1g)	vyseparovaný digestát	nad 13	min. 0,5

Zdroj: (Houček a Smatanová, 2016)

U netypových je v obou případech nutná registrace. Registrace je už zpoplatněna, pro její účely je nutné předložit žádost s příbalovým letákem, vzorek pro analýzu, platný provozní řád zařízení a schválení příslušnou veterinární správou v případě použití vedlejších živočišných produktů (Houček a Smatanová, 2016).

Když digestát nevyhoví limitním parametrů pro umístění na zemědělskou plochu, musí se zvolit pro likvidaci nebo využití jiné řešení. To je uvedeno ve vyhlášce č. 341/2008 Sb., o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a vyhlášce č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky, v platném znění.

Je jisté, že energetika by se měla využít nové trend. Spalování uhlí při vytápění domů a ropy v automobilech je hlavní příčinou smogu v českých obcích a městech. Mikročástice prachu a oxidy dusíku obtěžují populaci a způsobují nemoci jako je astma, bronchitida i infarkty. Podle statistik z důvodu exhalací z českých uhelných elektráren každým rokem předčasně umírá na 1700 lidí (Kotecký, 2016). Navíc bioplynová technologie je skvělou hygienizační metodou, díky ní je možno odstranit různé typy virových, bakteriálních i parazitických původců chorob. Čím vyšší je teplota a doba trvání procesu, tím lepší je její redukční schopnost. Termofilní prostředí digesce zárodky dostatečně likviduje.

Forma bioplynové energie je ve srovnání s větrnou či elektrickou energií poměrně rovnoměrná a lze ji dobře skladovat. Energie ze slunce a větru se většinou skladují s velkými ztrátami. Oproti kapalnému či zemnímu plynu je bilance CO₂ neutrální (Schulz a Eder, 2004).

8 Přehled literatury a použitých zdrojů

Literatura:

CAPODAGLIO A. G., CALLEGARI A., LOPEZ M. V., 2016: European Framework for the Diffusion of Biogas Uses: Emerging Technologies, Acceptance, Incentive Strategies, and Institutional-Regulatory Support. *Sustainability* 2016/3: 1-18. ISSN: 207-110-50.

CENIA, 2015: Statistická ročenka ministerstva životního prostředí České republiky 2014, zpracovatel CENIA, Česká informační agentura životního prostředí.

DOHÁNYOS M., KOLLER J., STRNADOVÁ N., 1998: Čištění odpadních vod. VŠCHT, Praha: 177 s. ISBN: 80-7080-316-9.

ERÚ, 2015: Energetický regulační věštník - cenové rozhodnutí č. 9/2015 pro podporované zdroje energie na rok 2016. Energetický regulační úřad, Jihlava, vydáno: 29.12.2015.

FUKA V., 2016: Silný a stabilní partner zemědělců. *Zemědělec* 2016/7: 34-35.

HONSOVÁ H., 2016: Kukuřice stále s novými možnostmi. *Zemědělec* 2016/4: 35.

HORÁKOVÁ T., HOUŠKA M., 2014: Quantitative Differences among Normal and Knowledge Texts on Agriculture Waste Processing. *AGRIS on-line Papers in Economics and Informatics*, 2014/4: 59-68. ISSN: 1804-1930.

HOUČEK J., SMATANOVÁ M., 2016: Digestáty a legislativa v zemědělství. *Zemědělec* 2016/8: 34-35.

HŮRKA P., PARADOVSKÝ T., 2015: Tipy na odsíření bioplynových stanic. *Zemědělec* 2016/5: 31.

CHUDOBA P., ROSENBERGOVÁ R., BENEŠ O., 2010: Jakými způsoby lze docílit energetické soběstačnosti ČOV? *SOVAK: Časopis oboru vodovodů a kanalizací ČR* 2010/12: 19-24.

JEDLIČKA M., 2015: Kam se ubírá chov prasat? *Zemědělec* 2015/50: 32.

JEFFREY J., 2015: Building a business with backpack biogas. *African business* 2015/10: 93-95.

JIRÁNEK J., KAJAN M., ČERNÝ Z., 2011: Biomasa jak energetický zdroj v kraji Vysočina. Výzkumný ústav Silva Taroucy pro krajinu a okrasné zahradnictví, Průhonice: 50 s. ISBN: 978-80-85116-81-6.

JiT, 2016: Sláma může zvýšit výtěžnost bioplynu. Zemědělec 2016/7: 46.

KÁRA J., PASTOREK Z., PŘIBYL E. a kolektiv, 2007: Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚZT, Praha – Ruzyně: 117 s. ISBN: 978-80-86884-28-8.

KAJAN M., 2005: Bioplyn v zemědělství a rozvoj venkova na obou stranách česko-rakouské hranice. Sborník ze semináře konaného dne 18. října 2005, České Budějovice. ISBN: 80-239-5385-0.

KNÍŽEK M., 2016: Stanic se zemním plynem není málo, ale chybějí vhodná auta. Hospodářské noviny 2016/038: 18.

KOTECKÝ V, 2016: Energetika musí zachytit nové trendy. Zemědělec 2016/3: 47.

KÜCHLER S, WRONSKI R., 2015: Was Strom wirklich kostet, Green Budget Germany Forum Ökologisch-Soziale Marktwirtschaft (FÖS). Greenpeace Energy eG, Hamburg, 2015.

MALÍKOVÁ, 2016: Ekozemědělci ke klimatické změně. Zemědělec 2016/3: 30.

MARČÍK F., 2016: Pařížská klimatická konference-konec začátku. Energie 21: Časopis obnovitelných zdrojů energie 2016/1: 10-11.

MUDHOO A., 2012: Biogas production: pretreatment methods in anaerobic digestion. Wiley-Scrivener, Hoboken: 354 s. ISBN:978-1-118-06285-2.

MZE, 2012: Akční plán pro biomasu v ČR na období 2012-2020. Ministerstvo zemědělství ČR, Praha 1: 100 s. ISBN: 978-80-7434-074-1.

NOVÁK P., NEUMANN T., 2015: Efektivní využití bioplynu nízké koncentrace. Odpady: Odborný časopis pro nakládání s odpady a životní prostředí 2015/3: 17-18.

PASTOREK Z., KÁRA J., JEVIČ P., 2004: Biomasa – obnovitelný zdroj energie. FCC Public s.r.o., Praha: 191 s. ISBN:80-86167-21-6.

PETERKA J., 2016: Oxid uhličitý a zemská atmosféra. Energie 21: Časopis obnovitelných zdrojů energie 2016/1: 12-13.

POŠTA J., HEJTMÁNKOVÁ A, JUST T., RŮŽIČKOVÁ I., KOLLER J., DOHÁNYOS M., 2005: Čistírný odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha 6: 211 s. ISBN: 978-213-1366-8.

REN21, 2015: Market & industry trends. Renewable Energy Policy for the 21st Century: Renewables 2015 Global Status Report., Paris 2015: 39-48. ISBN: 978-3-9815934-6-4.

SCHULZ H., EDER B., 2004: Bioplyn v praxi. HEL. Ostrava-Plesná. 168 s. ISBN: 80-86167-21-6.

SLÁMA M., 2013. Bakalářská práce: Porovnání ceny elektrické energie z jaderných zdrojů a OZE. Nepublikováno. Dep.: České vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, Ústav elektrotechniky, *Vedoucí práce: Ing. Lukáš Radil*

SOBOTA J., 2008: Úprava pitných a čištění odpadních vod. Studijní texty ČZU, Praha 2008.

STRAKA F., CIAHOTNÝ K., DOHÁNYOS M., JENÍČEK P., KAJAN M., LACEK P., ZÁBRANSKÁ J., 2010: Bioplyn. Příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů. GAS s.r.o., Praha 10: 305 s. ISBN: 978-80-7328-235-6.

ŠVEHLA P., 2012: Cvičení z předmětu Čištění odpadních vod. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha: 115s. ISBN: 978-80-213-2270-7.

U218, n.d.: Anaerobní čistírenské procesy a kalové hospodářství – zpracování čistírenských kalů. Studijní materiály Ústavu procesní a zpracovatelské techniky fakulty strojní. České vysoké učení technické v Praze.

ÚZEMNÍ PLÁN, 2013: Územní plán obce Žákava. A.F.I. Ateliér Plzeň - Ing. Arch. O. Fára, Plzeň 2013.

VLAŽNÝ P., 2016: Maximalizujte výnos kukuřice. Zemědělec 2016/6: 40.

WELLINGER A., MURPHY J. D., BAXTER D., 2013: The Biogas handbook: science, production and applications. Woodhead Publishing, Philadelphia: 507 s. ISBN: 978-0-85709-498-8.

Zákon č. 341/2008 Sb., Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a podrobnostech nakládání s odpady.

Zákon č. 477/2012 Sb., Vyhláška o stanovení druhů a parametrů podporovaných obnovitelných zdrojů pro výrobu elektřiny, tepla nebo biometanu a o stanovení a uchování dokumentů, v platném znění.

Zákon č. 48/ 2014 Sb. Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 428/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů.

Zákon č. 131/2014 Sb., kterou se mění vyhláška Ministerstva zemědělství 474/2000 Sb., o stanovení požadavků na hnojivo ve znění pozdějších předpisů, a vyhláška č. 377/2013 Sb., o skladování a způsobu používání hnojiv.

Zákon č. 406/2015 Sb., Vyhláška, kterou se mění vyhláška č. 415/2012 Sb., o přípustné úrovni znečišťování a jejím zjišťování a o provedení některých dalších ustanovení zákona o ochraně ovzduší, ve znění vyhlášky č. 155/2014 Sb.

ŽÁČEK L., 1998: Technologické úpravy vody. Vysoké učení technické, Brno: 65s. ISBN: 80-214-1257-7.

ŽÍDEK M., 2004: Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru. Energie z biomasy III. Výzkumné energetické centrum VŠB. Brno 2004

Internetové zdroje:

ANONYM, 2015: A Community for people with ideas: Katrin Puetz – Founder of (B)energy, vystaveno: 28.7.2015, online: <https://ideamensch.com/katrin-puetz/>, cit. 23.2.2016

ALIMEX-NEZVĚSTICE, 2016: Oficiální internetové stránky společnosti ALIMEX NEZVĚSTICE a.s., online: <http://alimex-as.cz/>, cit.: 30.3.2016

(B)Energy, 2016: Oficiální stránky firmy (B)Energy, Neuhäusel, online: <http://www.be-nrg.com/>, cit. 23.2.2016

CZBA, 2016: Česká bioplynová asociace: Možnost uplatnění technologií pro bioplyn v Brazílii, vystaveno: 28.1.2016, online: <http://www.czba.cz/>, cit. 30.1.2016

CZBA, 2016: Česká bioplynová asociace: Mapa bioplynových stanic, online: <http://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/>, cit. 22.3.2016

CZBA, 2014: Česká bioplynová asociace, vystaveno: 31.12.2014, online: <http://www.czba.cz/>, cit.: 28.2.2016

ČÚZK, 2016: Český úřad zeměměřičský a katastrální. Online: <http://cuzk.cz/>, vytvořeno: 26.3.2016

EBA, 2014: European Biogas Association: EBA Biogas Report 2014 is published, vystaveno: 16.12.2014, online: <http://european-biogas.eu/2014/12/16/4331/>, cit.: 4.2.2016

EBA, 2015: European Biogas Association: EBA Biomethane & Biogas Report 2015 published, vystaveno: 16.12.2015, online: <http://european-biogas.eu/2015/12/16/biogasreport2015/> , cit.: 5.2.2016

Mendelova Univerzita, n.d.: Anaerobní fermentace - prezentace projektu. Agronomická fakulta Mendelovy univerzity v Brně. Spolufinancováno Esf a státním rozpočtem ČR. Podpora projektu OP VK CZ.1.07/2.2.00/28.0302
Online: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/211/17222.pdf, cit. 22.3.2016

SMRČKA V., 2003 : Časopis Euro: Chlorella je novým podnikatelským hitem.
vystaveno: 17.2. 2003, online: <http://euro.e15.cz/profit/chlorella-je-novym-podnikatelskym-hitem-865142>, cit. : 29.3.2016

VÚMOP, 2016: Geoportál SOWAC-GIS. Výzkumný ústav meliorací a ochrany půdy, v.v.i.,
Online: <http://geoportal.vumop.cz/> , vytvořeno: 26.3.2016

ŽÁKAVA, 2016: Oficiální internetové stránky obce Žákava,
online: <http://www.zakava.cz/>, cit.: 28.3 2016

9 Přílohy

Seznam použitých obrázků:

- Obr. č. 1:** Náklady na výrobu elektrické energie 2014
- Obr. č. 2:** Největší světoví producenti CO₂ v roce 2015
- Obr. č. 3:** Výřez z mapy rozložení všech druhů BPS v České republice
- Obr. č. 4:** Početní vzrůst bioplynových stanic v Evropě 2013-2014
- Obr. č. 5:** Rozdíl mezi procesem aerobním a anaerobním
- Obr. č. 6:** Schéma anaerobní fermentace
- Obr. č. 7:** Vývoj složení bioplynu při rozvoji metanizace
- Obr. č. 8:** Vliv teploty na dosažitelné množství plynu
- Obr. č. 9:** Výhřevnost bioplynu v závislosti na koncentraci metanu
- Obr. č. 10:** Specifický výtěžek plynu vzhledem k substrátu při termofilním teplotním rozmezí
- Obr. č. 11:** Celková produkce komunální odpadu v ČR k roku 2014
- Obr. č. 12:** Výřez z katastrální mapy pro vymezení oblasti řešeného území; M 1 : 10 000
- Obr. č. 13:** Výřez mapy pro určení klimatického regionu v měřítku 1: 28 000 z Geoportálu SOWAC-GIS s vyznačeným bodem BPS
- Obr. č. 14:** Výřez mapy pro skupinu půdních typů z Geoportálu v měřítku 1: 28 000 z Geoportálu SOWAC-GIS s vyznačeným bodem BPS
- Obr. č. 15:** Výřez z katastrální mapy s vyznačenými objekty firmy ALIMEX v měřítku 1:25000

- Obr. č. 16:** Schématické znázornění z územního plánu obce znázorňující rostlinnou a zemědělskou výrobu společnosti ALIMEX NEZVĚSTICE a.s.
- Obr. č. 17:** Výřez zemědělského areálu z katastrální mapy v měřítku 1 : 1 000
- Obr. č. 18:** Fotografie kogenerační jednotky bioplynové stanice v Žákavě
- Obr. č. 19:** Schématické znázornění hlavních objektů BPS v měřítku 1 : 1 000
- Obr. č. 20:** Fotografie fermentoru bioplynové stanice
- Obr. č. 21:** Vzestup počtu BPS s účelem výroby biometanu v rozmezí 2013-2014

Seznam použitých tabulek:

- Tab. č. 1:** Teoretická produktivita rozličných substrátových skupin
- Tab. č. 2:** Produkce bioplynu ze specifických substrátů
- Tab. č. 3:** Metanové kvašení
- Tab. č. 4:** Složení kalové vody
- Tab. č. 5:** Předpoklad množství a vydatnost bioplynu
- Tab. č. 6:** Množství biomasy a produkce bioplynu
- Tab. č. 7:** Základní projektové parametry
- Tab. č. 8:** Základní údaje o kogenerační jednotce a parametry při 100% zátěži
- Tab. č. 9:** Přibližná projektová energetická bilance BPS při provozu 8500 h/rok
- Tab. č. 10:** Cenové rozhodnutí o výkupních cenách a ročních zelených bonusech na elektřinu pro rok 2016
- Tab. č. 11:** Průměrné hodnoty digestátu
- Tab. č. 12:** Limity rizikových prvků v digestátech
- Tab. č. 13:** Rozdělení typových digestátů