

**JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA**

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: 4106T019 Agroekologie – péče o krajinu

Katedra: Agroekosystémů

Vedoucí katedry: prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE
**HODNOCENÍ ZEMĚDĚLSKÝCH BIOPLYNOVÝCH
STANIC ČR**

Vedoucí diplomové práce:
prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.

Autor diplomové práce
Bc. Tomáš Hubač

České Budějovice

2016

Katedra: **Agroekosystémů**

Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Jméno a příjmení: Bc. Tomáš Hubač

Studijní program: **N4101 /Zemědělství**

Studijní obor: **4106T019 /Agroekologie – Péče o krajinu**

Název tématu: Hodnocení zemědělských bioplynových stanic ČR

Zásady pro vypracování:

(v zásadách pro vypracování uveďte cíl práce a metodický postup)

Cílem práce je porovnání některých BPS v regionu jižních a středních Čech. Z pohledu maximálního využití kapacitních možností, maximální efektivity, celkového výkonu. Porovnáním využití stávajících technologií, používaných či alternativních substrátů (surovin) ve vztahu k zvýšení výtěžnosti bioplynu. Porovnejte způsob využití odpadního tepla, způsob zpracování a realizace digestátu. Případně použijte i jiné parametry k porovnání BPS. Zvýšení biologické rozložitelnosti a vyšší výtěžnosti metanu lze dosáhnout různou předúpravou suroviny. Metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací s významným zvětšením povrchu nebo hydrolýzou makromolekulárních látek vedoucí k úplnějšímu enzymovému rozkladu. Zpracujte literární rešerši na téma: „ Faktory ovlivňující efektivitu zemědělské bioplynové stanice“. Poznatky získané při zpracování literární rešerše uplatněte při hodnocení (porovnání) některých českých BPS. Bakalářskou práci vypracujte dle Opatření děkana č. 4 ze dne 14. 3. 2014. Použijte publikaci Prof. Kalače – Jak vypracovat diplomovou práci v zemědělských oborech, 2009

Rozsah grafických prací: tabulky, grafy, obrázky dle potřeby

Rozsah průvodní zprávy: 40-60 stran

Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

Straka F. a kol. (2006).: Bioplyn- příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových stanic. Gas Praha. 706 s.; Schulz, H., Eder, B. (2004): Bioplyn v Praxi. Hel Ostrava 167 s.; Kára a kol. (2007): Výroba a využití bioplynu v zemědělství. MZE, 119 s.; Dohányos M. (2009): Zvyšování efektivity fermentace. Nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-02-25 [cit. 2012-10-23]. Dostupné y WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>. ISSN: 1801-2655.; Hřůza R., Stober K. (2009): Co ovlivňuje efektivitu provozu bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. 2009-04-01 [cit. 2012-10-23]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/co-ovlivnuje-efektivitu-provozu-bioplynovy-stance>. ISSN: 1801-2655.; Maroušek J. (2012): 23]. Dezintegrace lignocelulózy pro bioplynové stanice. *Biom.cz* [online]. 2012-08-20 [cit. 2012-10-23]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/produkcii-bioplynu-lze-zvysit-dezintegraci-vstupni-fytomasy>. ISSN: 1801-2655.; Hrdinová J.: Vliv biologické předúpravy lignocelulosových substrátů na produkci bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2011-11-16 [cit. 2012-10-23]. Dostupnost z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-biologicke-predupravy-lignocelulosovych-substratu-na-produkcii-bioplynu>; Elliott A., Mahmood T.: Pretreatment technologies for advancing anaerobic digestion of pulp and paper biotreatment residues. *Water Research*, 41, 2007 4273–4286; Lantz M.: The economic performance of combined heat and power from biogas produced from manure in Sweden – A comparison of different CHP technologies. *Applied Energy*, 98, 2012, 502–511; Stürmer B. et al.: Impacts of biogas plant performance factors on total substrate costs. *Biomass and Bioenergy*, 35, 2011, 1552-1560; Xufeng Yuan et al.: Effect of pretreatment by a microbial consortium on methane production of waste paper and cardboard, *Bioresource Technology*, 18, 2012, 281–288; Lianhua Li et al.: Biogas Production Potential and Kinetics of Microwave and Conventional Thermal Pretreatment of Grass. *Appl. Biochem Biotechnol*, 2012, 166:1183–1191; Kim M. et al.: Comparative process stability and efficiency of anaerobic digestion; mesophilic vs. Thermophilic. *Water Research*, 36, 2002, 4369–4385; Zhong W. et al.: Biogas productivity by co-digesting Taihu blue algae with corn straw as an external carbon source. *Bioresource Technology*, 114, 2012, 281–286; Madlener R. et al.: Assessing the performance of biogas plants with multi-criteria and data envelopment analysis. *European Journal of Operational Research*, 197, 200, 1084–1094.

Vedoucí diplomové práce: Prof. Ing. Stanislav Kužel, CSc.
Školitel specialista: doc. Ing. František Straka, CSc.

Datum zadání diplomové práce: 15. března 2015

Termín odevzdání diplomové práce: 30. dubna 2016
L. S.

Prof. Ing. Jan Moudrý, CSc.
Vedoucí katedry

Prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
Děkan

V Českých Budějovicích dne 15. března 2015

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Tomáš Hubač

Poděkování:

Tímto si dovoluji velice poděkovat vedoucímu mé diplomové práce, panu prof. Ing. Stanislavu Kuželovi CSc., za pomoc, cenné rady a připomínky při vypracování mé práce a při celém mém studiu. Dále bych rád poděkoval své rodině a přátelům za podporu.

Abstrakt:

Cílem této diplomové práce bylo porovnat několik bioplynových stanic v Jižních a Středních Čechách z několika hledisek. Celkově bylo také přínosné nahlédnout, jak tyto bioplynové stanice řeší či neřeší předúpravu substrátu a také jak využívají vedlejší přínosy, jako je využití tepla či zbytkový digestát. Součástí této diplomové práce je i literární rešerše, mapující možnosti zvýšení efektivity zemědělských bioplynových stanic.

Klíčová slova: bioplynová stanice, bioplyn, digestát, fermentace

Abstract:

The aim of this thesis was to compare several biogas plants in the South and Central Bohemia in several respects. Overall, it was also beneficial to see how these biogas plants solve or not solve the pretreatment of the substrate, as well as the use of ancillary benefits, such as the use of heat or residual digestate. Part of this thesis is a literature search, mapping the possibilities of increasing the efficiency of agricultural biogas plants.

Keywords: biogas plant biogas, digestate, fermentation

Obsah

ÚVOD.....	9
LITERÁRNÍ PŘEHLED	10
1. FAKTORY, KTERÉ OVLIVŇUJÍ EFEKTIVITU PROJEKTU A PROVOZU BIOPLYNOVÝCH STANIC.....	10
1.1 Výkupní cena elektrické energie	10
1.2 Cena vstupní suroviny	10
1.3 Kvalita technologie.....	11
1.3.1. Mokré a suché technologie.....	12
1.3.2 Výroba bioplynu	13
1.3.3 Kogenerace	14
1.3.4 Základní členění kogeneračních jednotek.....	14
1.3.5 Trigenerace	15
1.4 Průběh fermentačního procesu	16
1.4.1. Zvýšení výkonnosti bioplynové stanice.....	17
1.4.2 Zvýšení výtěžnosti bioplynu	17
1.4.3 Teoretické možnosti zvyšování efektivity anaerobní fermentace	18
1.4.4 Rychlost rozkladu	18
1.4.5 Kvalita a množství biomasy v reaktoru	18
1.4.6 Biologická rozložitelnost organických látek a výtěžnost metanu	19
1.5 Zvýšení efektivity fermentace.....	19
1.5.1 Vliv předúpravy a manipulace se surovinou na výtěžnost metanu	20
1.5.2 Biologická rozložitelnost substrátu	21
1.5.3 Polysacharidy	21
1.5.4 Lignin	22
1.5.5 Lipidy	23
1.5.6 Protein.....	23
1.6 Úprava a uskladnění suroviny	24
1.6.1 Vliv konzervace biomasy na její metanogenezi	27
1.7 Vedlejší přínosy	28
1.7.1 Odpadní teplo	28
1.7.2 Využití odpadů	29
2. VÝZNAM BIOPLYNOVÝCH STANIC A JEJICH KATEGORIZACE	30
2.1 Zemědělské bioplynové stanice	31
3. CÍL PRÁCE	33
4. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH BIOPLYNOVÝCH STANIC	34

5. DISKUSE.....	47
5.1 Výběr substrátu.....	47
5.2 Předúprava substrátů	48
5.3 Technologie.....	48
5.4 Velikost zemědělských BPS	50
5.5 Využití odpadního tepla a digestátu	50
5.6 Rok spuštění do provozu.....	51
6. BUDOUCNOST BIOPLYNOVÝCH STANIC - BIORAFINÉRIE	53
7. ZÁVĚR.....	54
8. ZDROJE	55
9. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ.....	61

ÚVOD

Zemědělské bioplynové stanice jsou v dnešní době již běžnou součástí mnoha zemědělských společností, které těchto zpracovatelských systémů pro produkci bioplynu využívají. Využít a zpracovat lze široká škála surovin. Od odpadních po cíleně pěstované plodiny. Od zbytků cukrovarnických výrob, přes produkci biomasy z travních porostů až po záměrně pěstované, geneticky upravené rostliny, například kukuřici. Možností zvýšení celkové efektivity zemědělských bioplynových stanic je celá řada a budu je jim věnovat v teoretické části diplomové práce. V části praktické pak ověřím, jaké způsoby využívají zemědělské bioplynové stanice reálně.

LITERÁRNÍ PŘEHLED

1. FAKTORY, KTERÉ OVLIVŇUJÍ EFEKTIVITU PROJEKTU A PROVOZU BIOPLYNOVÝCH STANIC

- Výkupní cena elektrické energie
- Cena vstupní suroviny
- Kvalita technologie
- Průběh fermentačního procesu
- Zvýšení efektivity fermentace
- Vedlejší přínosy

1.1 Výkupní cena elektrické energie

Z ekonomického hlediska se profilují tři vhodné typy bioplynových stanic:

- stanice využívající 51 % sušiny vstupů rostliny (ostatní tvoří hnůj, kejda, výpalky apod.) – výkupní cena elektřiny je 3,90 Kč/kWh
- stanice, které téměř nevyužívají rostlinné vstupy – vzhledem k levným vstupům může být i výkupní cena 3,30 Kč/kWh zajímavá
- stanice využívající téměř 100 % rostlinných vstupů, ale převážně senáží z finančně dotovaných ploch [1]

1.2 Cena vstupní suroviny

Jako vstupní suroviny do BPS musí zemědělský podnik v první řadě využívat ty, které jsou „zadarmo“, neboli na jejich získání není třeba vynaložit dodatečné finanční prostředky (kromě manipulace). Touto surovinou je slamnatý hnůj, kejda, odpady z posklizňového zpracování obilovin, odpadní brambory, zbytky krmiva, skrývky siláží a podobně.

Následují suroviny s jen minimálními náklady na jejich získání – biomasa z neudržovaných ploch a veřejných prostranství, poslední seče trav, které by se jinak třeba

ani nesklízely, sklizeň přerostlého zeleného hnojení před zaorávkou, biomasa po výmlatu trav pěstovaných na semeno, hroznové výlisky apod.

Nejméně výhodné jsou plodiny pěstovány pouze za účelem zplynování (siláž, senáž, GPS). Proto by mělo být jejich používání dobře zkalkulováno a neměly by tvořit hlavní podíl surovin pro BPS. Na straně druhé, ale k produkci těchto plodin v podstatě nejsou potřeba průmyslová hnojiva. [1]

1.3 Kvalita technologie

Prvním krokem při projektování BPS by mělo být stanovení velikosti zařízení v závislosti na dostupných surovinách. Pro některý podnik tak bude vhodná stanice o výkonu 250 kW, pro jiný 360 kW či 500 kW. Málokdy je ale vhodné uvažovat o větších výkonech.

Chybou je obrácený přístup, tedy nejprve výběr velikosti stanice a k tomu naplánování plochy, například kukuřice.

Velmi důležitá je kvalita, životnost a bezpečnost technologie.

Investor musí předem sledovat zejména tato kritéria:

- jak kvalitní jsou exponované části bioplynové stanice (potrubí, míchadla, motor, folie)
- co se stane v případě poruchy
- zda technologie umožní bezproblémové zpracování delšího slamnatého hnoje
- co se stane, pokud s hnojem vnikne do zařízení pevný předmět
- jaká je energetická náročnost jednotlivých prvků (dávkovací zařízení, doprava surovin, míchání)
- jak je zajištěna bezpečnost ve výbušném prostoru plynojemu [1]

1.3.1. Mokrý a suchý technologie

Z hlediska obsahu sušiny ve zpracovávaném vstupním substrátu dvě základní technologie BPS, které jsou nazývány mokrá fermentace a suchá fermentace. [2]

Mokrý technologie mají širší uplatnění, jsou historicky rozšířenější, technicky propracovanější a jsou dobře provozně prověřené. Bohatší technologická výbava a příslušenství (např. míchadla, čerpadla, drtiče, separace, ...) zvyšuje provozní náklady (spotřeba elektřiny, servis a údržba) a četnosti poruch. [3]

Suchý technologie byly původně navrženy pro zpracování komunálních bioodpadů. Vzhledem k nové přísnější legislativě se však domníváme, že v podmínkách ČR bude využitelná především v zemědělských provozech, kde jsou k dispozici pouze vysokosušivé substráty. Problematictější bude uplatnění v komunálních a průmyslových projektech (technicky obtížnější splnění legislativních požadavků). Největším problémem je malý počet realizací (nedostatek „referenčních informací“), což se však může časem změnit. [3]

Z hlediska četnosti lze konstatovat, že silně převažují aplikace mokré fermentace nad suchou. Je to dáno historií, neboť většina BPS je stavěna u intenzivních chovů zvířat. Také je nutné konstatovat, že k suchým technologiím existuje poměrně silná nedůvěra investorů a některých odborníků. Literární prameny uvádí, že stávající aplikace suché cesty mívá, ve srovnání s mokrou, nižší specifické výtěžnosti BP. Je třeba si ovšem uvědomit, že suché fermentory zpracovávají substráty s cca 3-4 násobným obsahem organické hmoty oproti reaktorům na mokrou cestu. Suché technologie jsou zpravidla využívány u BPS, které zpracovávají komunální a domovní odpady. V zemědělství ji lze zaznamenat jen zcela výjimečně. Nicméně je nutné si uvědomit, že každá technologie má své výhody a nevýhody. Např. suchou fermentaci lze použít i u biomasy, kterou nelze mokrou cestou jednoduše zpracovat (např. podestýlky na bázi pilin – v mokré cestě nedokonale vytríděné bioodpady - příměsi plastů, dřeva, kovů, zeminy, atd. tvoří krusty a ucpávají čerpadla [3]

1.3.2 Výroba bioplynu

Technologické systémy pro výrobu bioplynu se principiálně liší podle vlastností zpracovávaného materiálu, záleží především na tom, zda je zpracovávaný materiál v rozpuštěné formě nebo v suspenzi. U suspenzních materiálů je rozhodující velikost a koncentrace tuhých částic. Z tohoto hlediska lze metanizační reaktory dělit na reaktory pro zpracování rozpuštěného substrátu (odpadní vody), reaktory pro zpracování substrátu v suspenzi (s obsahem sušiny do 10-12%, například kaly, kejdy) a reaktory pro zpracování tuhých materiálů (obsah sušiny 10-50%, například slamnatý hnůj)

Téměř každý reaktorový systém je sestaven ze skupiny reaktoru a separační části. Oddělení tuhých částic od vodného zbytku po fermentaci je nejčastěji prováděno strojně (odstředivka, pásový lis, kalolis, šnekový lis).

Reaktory se podle konstrukce dělí na jednoduché nebo kombinované. Technologické linky se mohou skládat z jednoho či více reaktorů v sériovém či paralelním řazení. Společným znakem jednofázového procesu je sdružený odběr bioplynu a liniový průtok reagující suspenze. Systémy dvoufázové obsahují oddělený předreaktor pro kyselé procesy, plyn s obsahem vodíku se zpracovává buď odděleně anebo se vtlačuje do druhé fáze procesu. Míchání a teplota patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující dobrou funkci anaerobních reaktorů. Z konstrukčního hlediska existuje několik základních způsobů míchání a vytápění metanizačních reaktorů. [4]

Míchání metanizačních reaktorů může být mechanické (různé druhy míchadel, turbín, vrtulových míchadel, čerpadel), často je použito míchání recirkulací kalu. Kalovými čerpadly je kal odčerpáván z dolní části nádrže a je opět vstřikován do různých míst nádrže tak, aby došlo k optimálnímu promíchávání obsahu nádrže. Dalším typem, je pneumatické míchání – míchání recirkulací plynu. Bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vháněn do různých míst nádrže. To je možné buď přímým vháněním stlačeného bioplynu do reaktoru (jednou nebo více trubkami) nebo různými zařízeními na principu mamutek a nebo vháněním stlačeného plynu do systému difuzorů umístěných na dně nebo po obvodu nádrže. Posledním typem míchání je rozrušování plovoucí kalové vrstvy, a to může být mechanické, pomocí míchadla, rozstříkem surového kalu nebo recirkulované fermentační směsi.

Dobré promíchání je dosažitelné při spotřebě energie 5-8 W/m³ reaktoru, při míchání plynem to odpovídá asi 0,27-0,42m³ bioplynu na m³ reaktoru za hodinu. Spotřeba

energie na míchání je silně závislá na vlastnostech reagující suspenze a musí být hodnocena podle praktických podmínek, hlavně podle obsahu sušiny.

Vytápění mechanizačních nádrží je nejčastěji prováděno čtyřmi způsoby. První způsob je teplou vodou nebo párou a topnými tělesy uvnitř nádrže. Další opět využívá teplou vodu nebo páru ve výměnících tepla, ale vně nádrže. Ohřívá se zde recirkulovaný a někdy i surový kal. Třetí způsob využívá přímého injektování vodní páry buď přímo do nádrže, nebo do proudu recirkulovaného kalu. Poslední způsob funguje s ponořenými (imersními) plynovými hořáky. [4]

V provozní praxi jsou kombinovány jednotlivé způsoby míchání i vytápění s cílem dosáhnout a zejména garantovat co nejbezpečnější provoz metanizačních nádrží. [4]

1.3.3 Kogenerace

Kogenerační jednotku (KJ) lze právem označit za srdce bioplynové stanice, neboť její efektivní provoz je rozhodující pro ekonomickou udržitelnost projektu. Proto je třeba klást velký důraz na pečlivý výběr tohoto zařízení, kdy jedním z hlavních kritérií výběru je vysoká elektrická účinnost, která určuje, jaké množství elektřiny se vyrobí z m³ bioplynu. Dále lze doporučit upřednostnění kogeneračních jednotek od renomovaných výrobců a dodavatelů s prokazatelně zajištěným servisním zázemím v ČR, za přijatelných ekonomických podmínek. U KJ, jejichž nasazování nemá v ČR tradici, doporučujeme nechat si dodavatelem doložit splnění požadavků platné legislativy a garantovat provádění servisních prací (dobře promyslet znění všech smluv, které souvisí s dodávkou a servisem kogeneračních jednotek). [5]

1.3.4 Základní členění kogeneračních jednotek

Nejčastějším způsobem využití bioplynu je kombinovaná výroba elektřiny a tepla v kogeneračních jednotkách (dále jen KJ), které jsou nejvýznamnějším zdrojem příjmů v rámci provozu BPS. KJ lze rozdělit na dva základní druhy:

Se zážehovými plynovými (Ottovy) motory – výhradním palivem je v tomto případě pouze bioplyn. Moderní motory s vyšším instalovaným elektrickým výkonem pracují s

elektrickou účinností v rozpětí 37 – 42 %, u motorů s menším elektrickým výkonem tato účinnost klesá. Investičně jsou tyto motory zpravidla náročnější než vznětové, mají však nižší nároky na údržbu. U moderních plynových motorů je garantována dlouhá životnost zařízení. Generální oprava motorů se provádí po 60.000 hod. provozu (po více než 7 letech), v průběhu životnosti KJ se předpokládají až tři generální opravy.

Se vznětovými motory se vstřikem zapalovacího oleje – jedná se o diesellové motory se zápalným paprskem, kde základním palivem je bioplyn a doplňkovým palivem je zpravidla kapalné fosilní palivo, popř. rostlinné oleje. Doplňkové palivo slouží jako zápalné a iniciační médium spalovacího procesu. Nejčastěji se používá motorová nafta nebo LTO, možné je ovšem i využití biopaliv (bionafta, rostlinné oleje). Spotřeba doplňkového paliva se může významně lišit, pohybuje se v rozmezí 4 - 10 % celkového příkonu v palivu. U KJ se vznětovými motory se elektrická účinnost standardně pohybuje mezi 40 – 43 %, a to i u jednotek s menším elektrickým výkonem. Některé nové jednotky dosahují účinnosti až 45 %. V porovnání se zážehovými motory jsou vznětové motory zpravidla investičně méně náročné, nároky na údržbu jsou zde ovšem vyšší. Generální opravu vyžadují po 40.000 provozních hodinách. V souvislosti s používáním fosilního paliva může být problematické vyhodnocování podílu výroby elektřiny z obnovitelného paliva (bioplynu). [5]

Volbě vhodné KJ musí být věnována patřičná pozornost a je zapotřebí zvážit všechny důležité souvislosti. [5]

1.3.5 Trigenerace

V kogenerační jednotce lze po připojení absorpčního výměníku též vyrábět chlad např. pro klimatizaci budov. Tento systém se nazývá trigenerace a jedná se o kombinovanou výrobu elektřiny, tepla a chladu zároveň. [5]

Celosvětová poptávka po energii stále roste, v důsledku toho fosilní paliva jsou stále dražší a dražší, a proto v dnešní době se zdají být obnovitelné zdroje energie čím dál tím více konkurenceschopné. Evropská unie přijala systém „20-20-20“ do roku 2020, což znamená zvýšenou energetickou účinnost o 20%, snížení emisí skleníkových plynů o 20% a dosažení 20% podíl z obnovitelných zdrojů na celkové výrobě energie.[6]V roce 2030 se v rámci EU v oblasti klimatu a energetické politiky, která byla projednávána v lednu 2014, očekává, že bude pokračovat pokrok směrem k hospodářství s nízkými emisemi uhlíku.[7]

Nejdůležitějším cílem do roku 2030 je snížit emise skleníkových plynů o 40% pod úroveň, jaká byla v roce 1990, a zároveň zvýšit podíl obnovitelné energie na nejméně 27%. Za účelem dosažení tohoto cíle, je zapotřebí zlepšení v oblasti energetické účinnosti.

Dobrym příkladem při zvyšování energetické účinnosti v průběhu celého roku je kombinovaná výroba elektřiny, vytápění a chlazení energie v trigeneraci. [8]

1.4 Průběh fermentačního procesu

I když máme dostatek vhodných a levných surovin, nemusí být ještě zajištěna vysoká výroba bioplynu. [1]

Proces fermentace je analogický s procesy v bacheru přežvýkavců: Bakterie jsou živé organismy, požadují určité prostředí, stopové prvky a nemají rády velké změny vstupní suroviny či přítomnost plísní. Zde je důležitá nejen technologická kázeň obsluhy, ale také odborná a pravidelná péče servisní organizace, která by měla zajišťovat rozboru vstupních surovin a složení obsahu fermentoru, sledovat online průběh procesů a dávat potřebná doporučení k optimalizaci.

Proto nemůže v žádném případě skončit spolupráce dodavatele technologie a zemědělského podniku kolaudací bioplynové stanice, ale následuje náročné najetí fermentoru na požadovaný výkon a jeho udržení po celou dobu životnosti stanice.

Pokud je celý proces dobře zvládnut, z bioplynové stanice vystupuje kvalitní hnojivo bez zápachu a vyrábí se dostatek plynu. V opačném případě vzniká zápach z nedostatečně zfermentovaných surovin a ekonomika celého provozu je špatná. [1]

Z literárních údajů vyplývá, že jakákoliv fytomasa může být efektivně zplynována po vhodné mechanické úpravě, po optimalizaci chemických jakostních znaků a při vhodné volbě technologie anaerobní digesce. Bioplyn je možné získat z řas, chaluh, vodního hyacintu, zemědělských plodin, dřevin a z veškerého fytoodpadu. [9] Anaerobní digesce je nejlepší způsob nakládání s odpady z ovoce a zeleniny a to nejen pro získávání metanu, ale i pro produkci stabilizované nepáchnoucí organické hmoty. [10]

1.4.1. Zvýšení výkonnosti bioplynové stanice

Zlepšení výkonnosti bioplynové stanice lze dosáhnout především optimalizací provozu stanice. To je zabezpečením optimálních podmínek pro využití stávajících technologických komponent BPS a optimalizací podmínek procesu vhodným dávkováním substrátu, dostatečným mícháním reaktorů, dodržováním technologických parametrů - správného zatížení a doby zdržení, zabezpečení konstantní teploty a podobně.

Důležitá je identifikace příčiny problémů provozu stanice, což může být vysoká koncentrace amoniaku nebo sulfidů. Pak lze například zařadit intenzivnější odstraňování sulfidů (zvýšení mikro aerace nebo srážení sloučeninami železa) nebo úpravou technologie na méně citlivou na vysokou koncentraci amoniaku – termofilní provoz, dvoustupňový provoz, srážení amoniaku apod.

Další možností zvýšení výkonnosti bioplynové stanice je volba skladby substrátu ve prospěch lépe rozložitelných substrátů s vyšší výtěžností bioplynu nebo s nižším obsahem organického dusíku. [11]

1.4.2 Zvýšení výtěžnosti bioplynu

Zvýšení biologické rozložitelnosti a tím i výtěžnosti metanu lze dosáhnout vhodnou předúpravou suroviny. Všechny metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymovému rozkladu, u některých metod dochází i k hydrolýze makromolekulárních látek. [12]

1.4.3 Teoretické možnosti zvyšování efektivity anaerobní fermentace

Intenzifikace fermentačních procesů musí vycházet ze základních vlastností procesu. Mikroorganismy, které se fermentace zúčastňují, se vyznačují nízkými růstovými rychlostmi a nízkou rychlostí odstraňování substrátu a jejich biomasa narůstá velmi pomalu. Úsilí intenzifikace musí být tedy především zaměřeno na rychlost rozkladu a na množství a aktivitu anaerobní mikrobiální kultury. [11]

1.4.4 Rychlost rozkladu

Anaerobní fermentace je souborem následných i souběžných reakcí. V takovémto případě limitující reakcí celého systému je reakce nejpomalejší. Tou může být hydrolýza makromolekulárních látek, rozpuštěných i nerozpuštěných nebo za určitých okolností v případě snadno rozložitelných substrátů to může být i metanogeneze. Z dalších limitujících reakcí přicházejí v úvahu reakce rozkladu kyseliny propionové a kyseliny máselné, které jsou velmi důležité z hlediska udržení dynamické rovnováhy celého systému. [11]

1.4.5 Kvalita a množství biomasy v reaktoru

Rychlost rozkladu organických látek závisí na množství a kvalitě aktivní kultury mikroorganismů, proto je snahou udržovat jejich koncentraci v reaktoru co nejvyšší. Koncentrace biomasy mikroorganismů v reaktoru závisí přímo úměrně na koeficientu produkce biomasy, množství odstraněného substrátu a době zdržení biomasy mikroorganismů a nepřímo závisí na hydraulické době zdržení.

Reaktory na bioplynových stanicích pracují z hydraulického hlediska jako chemostaty, kde je doba zdržení biomasy mikroorganismů stejná jako hydraulická doba zdržení. To znamená, že koncentrace biomasy mikroorganismů bude záviset pouze na produkční konstantě biomasy a množství odstraněného substrátu. Zvýšení koncentrace biomasy mikroorganismů můžeme tedy za dané hydraulické doby zdržení dosáhnout buď zvýšením produkce biomasy mikroorganismů stimulací jejich činnosti nebo zvýšením množství rozloženého substrátu například výběrem lépe rozložitelného substrátu nebo zvýšením jeho rozložitelnosti. [11]

1.4.6 Biologická rozložitelnost organických látek a výtěžnost metanu

Pro popis kvality substrátu z hlediska jeho teoretického energetického obsahu je používáno několik kritérií. K tomuto účelu může sloužit ekvivalent dostupných elektronů obsažených v substrátu. V anaerobním systému, kde jsou jiné finální akceptory elektronů než kyslík, lze použít vztah ekvivalentu dostupných elektronů a jednoho molu kyslíku a používat pro míru energetického obsahu substrátu kyslíkové jednotky ve formě CHSK (chemická spotřeba kyslíku). Teoretická výtěžnost metanu závisí především na oxidačním stupni daného substrátu, vyjádřenému jako průměrné oxidační číslo uhlíkového atomu (POXČ) v molekule substrátu, které je ve vztahu k CHSK.

Stanovení CHSK je jednou z nejčastěji prováděných rutinních analýz ve vodohospodářských i dalších laboratořích, používá se pro návrh, řízení i kontrolu technologie procesu a u většiny hodnocených substrátů bývá tento údaj k dispozici. Na základě chemické spotřeby kyslíku (CHSK) je možno vypočítat teoretické maximálně možné množství metanu (energetický obsah), které lze z dané suroviny získat, a tato hodnota je referenční 100 % hodnotou pro výpočet rozložitelnosti, to je reálného podílu organických látek transformovatelných na metan. Skutečná výtěžnost je poměrně nižší, protože část substrátu je za daných podmínek biologicky nerozložitelná (např. lignin) a část je spotřebovaná pro růst nové mikrobiální biomasy. [12]

Dobrym odhadem skutečné výtěžnosti metanu je způsob výpočtu, který vypracoval prof. Thomas Amon. [13] Výpočet je založen statistickým zpracování dat krmivářských analýz a laboratorních testů produkce metanu z daných surovin. [11]

1.5 Zvýšení efektivity fermentace

Současný provoz zemědělských bioplynových stanic je založen, kromě využití odpadů z chovu hospodářských zvířat, především na zpracování zemědělské fytomasy. Vzhledem k malé biologické rozložitelnosti celulózy a jejich derivátů a přítomnosti ligninu je při anaerobní fermentaci využita pouze část organického uhlíku. Produkce rostlinných surovin pro bioplynové stanice je v současnosti již limitována využitím zemědělské půdy pro potraviny a ochranou půdy proti erozi. Proto další zvyšování produkce bioplynu může být

dosaženo pouze lepším využitím zpracovávaných surovin. Obecně lze vyšší produkce bioplynu dosáhnout a) zvýšením výkonnosti stávající bioplynové stanice, b) zlepšením využití daného substrátu – zvýšení výtěžnosti bioplynu. [14]

Zajímavou možností je využití odpadů lignocelulosové povahy, které jsou poměrně dostupné. Nejčastěji se vyskytující lignocelulózovou biomasou jsou např. zbytky ze zemědělství (sláma, slupky, stonky atd.) nebo lesnictví, městský odpad (papír, kartony, lepenka, zahradní odpad, dřevěné výrobky), případně energetické rostliny (např. americké proso). Rigidní struktura lignocelulóz hraje ovšem důležitou roli při biologickém zpracování těchto odpadů. Aby byla zvýšena biologická dostupnost lignocelulóz pro mikroorganismy přítomné v anaerobním kalu bioplynové stanice, byla použita aerobní předúprava lignocelulózových odpadů celulolytickými mikroorganismy. [15]

1.5.1 Vliv předúpravy a manipulace se surovinou na výtěžnost metanu "

Ke zvýšení biologické rozložitelnosti různých druhů surovin pro anaerobní fermentaci se začínají stále více uplatňovat různé metody předúpravy zpracovávaného materiálu. Cílem předúpravy je:

- prohloubení biologického rozkladu a tím zvýšení produkce metanu (bioplynu),
- hygienizace fermentovaného materiálu, kde to požaduje legislativa,
- minimalizace množství výstupního stabilizovaného materiálu (u čistírenských kalů).

Vzhledem k tomu, že většina zpracovávaných organických látek je v partikulární formě, nejdůležitějším procesem rozkladu je jejich převedení do roztoku - hydrolýza. Ta probíhá v důsledku přítomnosti bakterií produkujících hydrolytické enzymy a její rychlost může být podstatně zvýšena různými způsoby dezintegrace a fyzikální nebo chemické předúpravy zpracovávaného materiálu. [16]

Mechanické metody - sem patří různé způsoby dezintegrace tuhých složek substrátu - mletí, drcení apod. Zmenšením velikosti částic dochází ke zvětšení celkového povrchu a ke zlepšení přístupnosti organických látek v substrátu enzymatickému rozkladu [17]

Chemické metody - mezi chemické metody patří například působení alkálií, kyselin, nebo oxidačních činidel (např. ozón), které vede k destrukci složitých organických látek -

hydrolýze . Přídavkem chemikálií (např. H_2SO_4) se ale do systému mohou vnášet nežádoucí složky (síra). [16]

Fyzikální metody - na příklad termická hydrolýza, ionizující záření, působení ultrazvuku. Dochází k destrukci složitých organických látek. Termická předúprava požadovaná legislativou může být pasterizace při 70 °C nebo hygienizace při 130 °C podle druhu suroviny, obě metody vedle sanitačního efektu fungují jako termická hydrolýza a zvyšují výtěžnost bioplynu. [16]

Biotechnologické metody - enzymová nebo mikrobiální předúprava - použití čistých komerčně vyráběných enzymů - např. celuláz [4,7], Anaerobní digesce lignocelulózového materiálu se provádí efektivně v mnoha přirozených mikrobiálních ekosystémech, včetně bacheru. [18] Dotování fermentační směsi mikroživinami jako například Co, Ni, Mo může v případě průmyslových jednodruhových substrátů podstatně vylepšit proces. [16]

1.5.2 Biologická rozložitelnost substrátu

Výtěžnost metanu závisí na oxidačním stupni substrátu. Ta je definována jako POXČ (průměrné oxidační číslo atomu uhlíku, udávající stupeň oxidace uhlíkového atomu v molekule) nebo jako γ (stupeň redukovatelnosti substrátu). Čím je nižší POXČ nebo čím je vyšší γ , tím je výtěžnost metanu vyšší. Mezní hodnoty mají sloučeniny CO_2 a CH_4 . Důležité je tedy chemické složení substrátu, obsah sacharidů, tuků, proteinů, podíl celulózy, hemicelulózy a ligninu, eventuelně dalších inertních složek materiálu a poměr komponent.

Vlastní biomasa rostlin včetně dřevin je tvořena zesílenými stěnami buněk. Buněčná struktura je kompozitní povahy, kde dlouhé řetězce celulózy vytvářejí jakousi „buněčnou armaturu“ vytvořenou z vláken – celulózových fibril. Tato vlákna mají relativně velmi jednoduchou strukturu. [19]

1.5.3 Polysacharidy

Jsou součástí veškeré rostlinné biomasy, patří sem škrob, celulóza a hemicelulózy. Teoretická výtěžnost metanu je daná jejich POXČ, které je pro všechny polysacharidy 0,00. Z toho plyne, že z molekuly sacharidů vzniknou tři molekuly metanu a tři molekuly CO_2 , tedy

teoretický obsah metanu v bioplynu je 50 %. Z polysacharidů je nejlépe rozložitelný škrob, který se poměrně snadno hydrolyzuje amylolytickými enzymy. [14]

Celulóza je polymerem glukózy, v biotechnologickém procesu je relativně málo rozložitelná. Pro její hydrolýzu je nutná přítomnost celulolytických enzymů, které jsou přítomny v zažívacím traktu přežvýkavců. [14] Celulózová vlákna jsou obtáčena rozvětvenými řetězci hemicelulóz a struktura je jako celek zpevněna zesíťovanou výplní ligninu. Celulóza se schopna vytvářet krystalické formy a její řetězce jsou různě prostorově orientovány (spirální i lineární struktury). Základní cukernou složkou celulózy je D-glukóza. V průměrném řetězci celulózy je vázáno za sebou okolo 1000 molekul glukózy. [19]

Další skupinou polysacharidů jsou heteropolysacharidy - hemicelulózy, které tvoří rozvětvené řetězce s prostorovou strukturou. Hemicelulózy podléhají snáze a rychleji enzymatické hydrolýze než celulóza. [14] Hemicelulózy jsou oproti celulóze mnohem složitější, jsou většinou amorfni a obsahují rozvětvené řetězce. Je-li celulóza buněčnou armaturou, pak hemicelulóza s afinitou k celulóze a se svými rozvětvenými řetězci je podpůrnou, respektive prostorovou armaturou celého systému a současně i pojícím „cementem“. [19]

1.5.4 Lignin

Vedle biologicky rozložitelných sacharidů a polysacharidů obsahuje rostlinná biomasa i látky, jejichž biologická rozložitelnost je velmi nízká až nulová. Mezi tyto látky patří především lignin a též lignany a terpeny. Lignin je organickou součástí nejenom každé rostlinné biomasy, ale i materiálů z ní pocházejících (keřda, hnůj atd.) a je hlavní součástí biologicky nerozložitelné frakce organických látek ve stabilizovaném zbytku po anaerobní fermentaci. [14] Fenolická polymerní struktura ligninu je biologicky velmi obtížně rozložitelná a lignin je vysoce odolný i vůči biometanizačním rozkladům. Současně též lignin svou strukturou dobře ukazuje na to, co se s rostlinnou hmotou stane, když bakterie v močálech rozloží polysacharidy a zbytkový lignin je podroben procesu zvanému prouhelňování. Vezměme ještě jednou přirovnání rostlinné hmoty k železobetonu. Jsou-li polysacharidy v rostlinné biomase armaturami i cementem, pak lignin je štěrkopískem. Rozloží-li se „armatury“ i „Cement“ například činností dřevokazných hub, pak hmota dřeva ztrácí svoji pevnost, tak pružnost a postupně zbývající lignin se jako volný „štěrkopísek“ rozpadne na prášek, neschopen dále udržovat tvar, do nějž jej rostlina původně zabudovala. Velmi pomalu se rozkládající lignin je však velkým darem, neboť bez něj by nebylo humusu

ani huminových kyselin, ani úrodných půd a rovněž by pro nás v současnosti nezbylo vůbec žádné uhlí. [19]

1.5.5 Lipidy

Skupinová klasifikace „lipidů“ bývá někdy plně ztotožňována s termínem „tuky“, přičemž jsou tím míněny triglyceridy vyšších mastných kyselin. Do této skupiny lipidů však obecně patří všechny estery vyšších mastných kyselin, které lze v rostlinných nebo živočišných tkáních nalézt. Je skutečností, že v těchto látkách je opravdu nejvíce zastoupen glycerin jako polyalkohol a též to, že nejvíce zastoupeny jsou právě triglyceridy. Celkově však do esterifikovaných alkoholů patří celá řada sloučenin. [19]

Společnou charakteristikou lipidů je přítomnost mastných kyselin s dlouhým alifatickým řetězcem a malým počtem atomů kyslíku v jejich molekulách, což odpovídá nízkému POXČ v rozmezí od -1,63 do -1,70. To je důvod, proč tuky mají nejvyšší výtěžnost metanu ze všech skupin substrátů. Podléhají relativně snadno enzymové hydrolyze. Problémem může být technické zvládnutí rozkladu tuků, které díky své hydrofobicitě mohou mít tendenci vyplouvat k hladině, oddělovat se z vodní fáze nebo zvyšovat tvorbu pěny. [20]

1.5.6 Protein

Proteiny patří mezi dobře biologicky rozložitelné látky, jejich POXČ se pohybuje v rozmezí od -1,2 až -2. To znamená, že vykazují vysokou výtěžnost metanu. Proteiny jako jediné s výše uvedených substrátových skupin obsahují ve svých molekulách heteroatomy. Kromě uhlíku, vodíku a kyslíku obsahují také síru a hlavně dusík. Dusík při anaerobní fermentaci přechází v amoniak, který při vyšších koncentracích může způsobovat inhibici tvorby metanu. Poměr C:N je důležitý pro dobrý průběh anaerobního procesu. Optimální poměr C:N pro anaerobní fermentaci organické frakce tuhého odpadu se pohybuje okolo 25 až 30, vztaženo na biologicky rozložitelný uhlík, pro anaerobní fermentaci exkrementů hospodářských zvířat nebo jatečních a kafilerních odpadů se za optimální poměr C:N považuje 16 až 19. Za kritický se považuje poměr C:N 12. [14]

1.6 Úprava a uskladnění suroviny

Plné využití kapacitních možností bioplynové stanice (BPS) a dosažení co nejvyšší výtěžnosti energie je snahou každého provozovatele. Obecně lze toho dosáhnout

- a. zvýšením výkonnosti stávající bioplynové stanice optimálním využitím stávající technologie BPS
- b. zlepšením využití daného substrátu – zvýšením výtěžnosti bioplynu

Současný provoz zemědělských bioplynových stanic je založen vedle odpadů z velkochovů hospodářských zvířat především na zpracování cíleně pěstované fytomasy jako hlavního substrátu. Určité množství fytomasy (lignocelulozových materiálů) je obsaženo také v substrátech pro BPS zpracovávající komunální odpady nebo čistírenské kaly. Vzhledem k malé biologické rozložitelnosti celulózy a jejích derivátů a také přítomnosti ligninu ve fytomase, pouze část přítomného organického uhlíku je při anaerobní fermentaci transformována na bioplyn a značná část zůstává nevyužita.

Produkce rostlinných surovin pro bioplynové stanice je omezena výkonností zemědělství, proto další zvyšování produkce bioplynu může být dosaženo pouze lepším využitím zpracovávaných surovin. To znamená zvýšení biologické rozložitelnosti zpracovávaného substrátu s cílem dosažení zvýšené transformace organického uhlíku do bioplynu. [11]

Aby mohly bioplynové stanice za pomoci enzymatického působení mikroorganismů využít maximum energie, kterou rostliny fotosyntézou akumulovaly do své hmoty, může být výhodné fytomasu odpovídajícím způsobem upravit. Je obecně známo, že dezintegrací se zvyšují reakční plochy a většina procesů následně probíhá rychleji, potažmo hlouběji. Avšak lignocelulóza je kompozit biopolymerů (převážně lignin, celulóza a hemicelulóza) vyvinutý evolučním bojem s mikroorganismy, býložravci, či klimatem natolik, že mnohé způsoby jeho úpravy ekonomicky selhaly z důvodu vysoké energetické náročnosti.

Hydrofobní lignin, zodpovědný především za pevnost buněčných stěn, je syntetizován z prekurzorů vznikajících v Golgiho aparátu. Nalezení způsobu jeho hydrolýzy se podařilo jen několika málo formám života, čímž zřejmě zamezily dalšímu obnovování fosilních paliv. Velké množství energie je ukládáno i do energetických vazeb mezi

molekulami glukózy, jejichž řetězením v rozetách vznikají v rostlinách krystaly celulózy s polymeračním stupněm až v řádech statisíců. V hydrolýze celulózy je různě úspěšná řada mikroorganismů a hub, avšak živočichové k jejímu trávení využívají převážně symbiotických vztahů.

Protože bez odpovídajícího způsobu úpravy relativně velké množství organického uhlíku prochází procesem anaerobní fermentace, aniž by existovala reálná šance na jeho využití, jsou již po několik desetiletí vyvíjeny různé způsoby dezintegrace lignocelulózy. Vzhledem k tomu, že efektivita běžných technologií anaerobní fermentace dosahuje na fytomase třetiny, maximálně poloviny teoretické produkce metanu, má před sebou dezintegrace lignocelulózy zajímavý potenciál. [21]

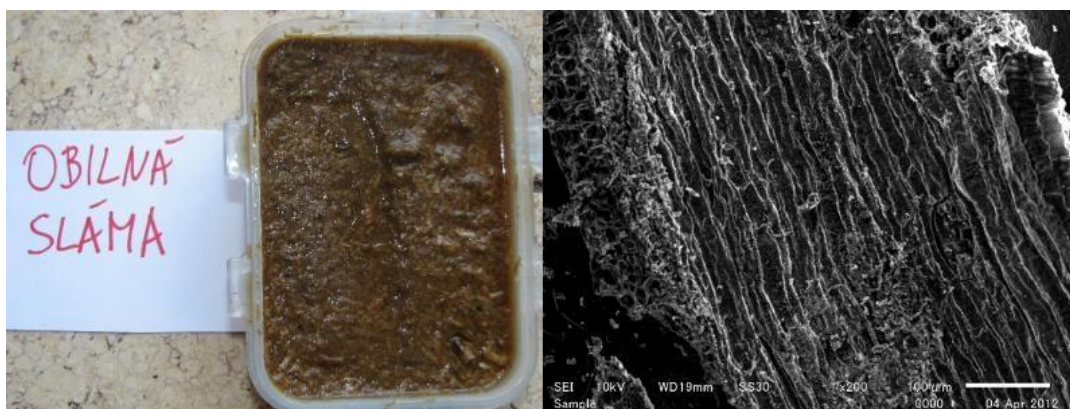
Za nejstarší lze považovat rutinně užívané mechanické metody dezintegrace, když i samotné sklízecí mechanizaci lze přiznat prokazatelné dopady na biologickou rozložitelnost. K mechanické dezintegraci jsou využívány různé druhy mixérů, mlýnů a drtičů, které pracují převážně na principech úderu, stříhu a tření. Později byly tyto způsoby rozšířeny o drcení mezi částicemi, teplotní šok, či trhání. Krom mechanických extrudérů představují zajímavou alternativu i kladivové mlýny, ať již s pevně uchycenými kladivy (vyšší kinetická energie, náročnější na údržbu), či s volným uchycením (lze přizpůsobit širokému spektru biomasy). Účinnost mechanické dezintegrace je nejčastěji poměřována dle měrné rozpojovací energie ($\text{kWh}\cdot\text{t}^{-1}$, či $\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) k dosažení požadované velikosti fragmentu fytomasy. [21]

Pro anaerobní fermentaci fytomasy s vyšším podílem lignocelulózy, jako je například sláma, je však další snižování průměrné velikosti částic výše uvedenými metodami neúměrně energeticky náročné a bez odpovídajícího efektu. Bylo ověřeno, že je výhodnější základní mechanickou úpravu doprovodit prudkými tlakovými změnami natolik intenzivními, že jsou schopny narušit samotné vnitřní struktury lignocelulózy. Odkrytím ligninu a hemicelulóz tak lze vystavit krystaly celulózy intenzivnějšímu enzymatickému působení, čímž mohou být lépe hydrolyzovány na fragmenty snadněji podléhající anaerobní fermentaci. Je známo několik vynálezů, kdy bylo prudkého tlakového výkyvu dosahováno průletem fytomasy tryskami a obdobnými překážkami, avšak tyto technologie nebyly zavedeny do praxe. [21]

Aby byly tlakové změny co nejvyšší, jsou konstruovány reaktory dosahující za pomoci páry (obohacování o silné kyseliny, či zásady se ukázalo jako nerentabilní) tlaků v jednotkách, až desítkách MPa. Různí vynálezci se již několik dekad předhánějí nejen v konstrukčním řešení, ale především ve složitém hledání optimálních parametrů (tlak, teplota, doba zdržení, hydromodul a další). Jejich optimalizace musí respektovat specifika zpracovávané fytomasy, technická omezení zařízení, předcházet vzniku inhibitorů a především respektovat ekonomické ukazatele. [21]

Nejlepší aktuálně známá technologie pro zpracování posklizňových zbytků se skládá z maceračního mlýnu, který pod hladinou horké kapaliny 40 až 85 °C (kde je využito odpadní teplo) dezintegruje fytomasu na částice o průměrné velikosti 3 mm. Tímto způsobem dojde nejen k vytlačení vzduchu a dalších mezibuněčných plynů, ale i k přechodu jednoduše hydrolyzovatelných organických látek a některých minerálů do kapalné fáze. Naředění na odpovídající hydromodul umožňuje čerpání a ohřátí zlepšuje stabilitu tlaku v navazujícím tlakovém reaktoru. Tlakový reaktor je opatřen horizontální šroubovicí, jejíž otáčky řídí dobu zdržení. Za optimální tlak pro většinu druhů slámy je považováno okolí 1,5 MPa. Nejen, že je blízké biotechnologickému optimu, ale i z toho důvodu, že pro dosažení tohoto tlaku vystačí odpadní energie ze žhavých spalin z kogenerační jednotky. Potvrzuje se, že jedním z klíčových parametrů je i rychlost, s jakou je tlakový pád prováděn v expanzním turniketu, kterým je technologie zakončena. [21]

Vzhledem k tomu, že již první provozní pokusy naznačily, že je možno tímto způsobem dosahovat z posklizňových zbytků více metanu než z kukuřičné siláže, lze očekávat, že zvyšující se požadavky na využití odpadního tepla povedou k rozšíření této technologie. Ve zpracování travin je posledním trendem horká macerace, odlisování a následná anaerobní fermentace výhradně kapalně frakce, avšak takové řešení nebylo v ČR doposud komerčně realizováno. [21]



Sláma po maceraci. Během mechanických úprav dochází zmenšováním velikosti částic fytomasy ke zvětšování reakční plochy. Samotná přístupnost celulózy enzymatickému působení však zůstává relativně nízká, protože lignin a celulóza tvoří za pomoci hemicelulóz relativně stabilní lignocelulózové struktury.

Obr.č.1 Sláma po maceraci[21]



Sláma po termotlakové úpravě. Prudká změna tlaku působí ve vodou nasycené fytomase utváření oblastí vakua, které mají při následné expanzi destruktivní účinek nejen na rostlinná pletiva, ale i strukturu lignocelulózy. Tímto způsobem lze zintenzivnit enzymatickou hydrolýzu fytomasy a všechny navazující procesy anaerobní fermentace.

Obr.č.2 Sláma po termotlakové úpravě Zdroj:[21]

1.6.1 Vliv konzervace biomasy na její metanogenezi

Konzervaci fytomasy pro biozplynování je možné provést sušením, senážováním nebo silážováním. Technologické postupy této konzervace jsou shodné jako při konzervaci píče. Příprava energosena pro biozplynování a jeho případná úprava na sennou moučku nebo pelety je zřejmě nákladnou záležitostí. Pro zpracování travních porostů, jetelů a vojtěšek se v zahraničí nejlépe osvědčuje senážování s cílem zavadnutí fytomasy na sušinu 25 – 40% a její zpracování svinovacími listy do obřích válcových balíků obalených folií. Tímto

způsobem se nejrychleji aktivují bakterie mléčného kvašení a zamezuje se rozvoji nežádoucích mikroorganismů. [22]

Nejvyšší produkce bioplynu byla zjištěna u fytomasy čerstvě otevřených travních senážních balíků, a to 500 l na kg sušiny. Již 5 dnů po otevření balíku vykazovala senáž stopy plísni a produkce bioplynu z tohoto substrátu klesla na 370l na kg sušiny. Ze senáže biozplynované až za 30 dní po otevření balíku se získalo pouze 225l na kg sušiny. [23]

Ke zvýšení biologické rozložitelnosti různých surovin pro anaerobní fermentaci se uplatňují různé metody předúpravy materiálu. Cílem předúpravy je:

- prohloubení biologického rozkladu a tím zvýšení produkce metanu (bioplynu),
- hygienizace fermentovaného materiálu, kde to požaduje legislativa,
- minimalizace množství výstupního stabilizovaného materiálu (u čistírenských kalů).

Významný vliv na výtěžnost metanu má i způsob zacházení se surovinou a její skladování. Zpracovávaná surovina je většinou nesterilní směsí různých snadno i hůře rozložitelných organických látek, jsou přítomny i různé mikroorganismy a tudíž mohou probíhat samovolné biologické procesy rozkladu podle podmínek prostředí. Při delším skladování např. prasečí kejdy může dojít k úbytku až 40 % celkové CHSK a v tomto poměru se sníží i výtěžnost metanu. [11]

1.7 Vedlejší přínosy

1.7.1 Odpadní teplo

Bioplynové technologie produkují energii z obnovitelných zdrojů a jsou významné pro ochranu životního prostředí a k využití biologických odpadů. Využitím odpadního tepla z bioplynové stanice urychlí provozovatel návratnost své investice. [24]

Výroba energie z bioplynových stanic byla u nás doposud spíše podceňována, ale v budoucnosti má významný potenciál. Odpadní teplo z BPS lze využít například i k sušení digestátu před jeho dalším zpracováním. [24]

Odpadní teplo z bioplynové stanice je částečně využíváno pro provoz stanice, zbytek je k dalšímu využití. A zde se zemědělskému podniku nabízí více možností: posklizňové sušení obilovin nebo sena, vytápění provozů, sušení řeziva či palivového dřeva a jeho prodej. V mnoha případech teplo nejde takto využít, ale i tak mají projekty dobrou návratnost. [1]

Jsou zde totiž i další vedlejší přínosy:

- lepší hospodaření s živinami ze statkových hnojiv
- možnost úspory průmyslových hnojiv (při porovnání s hnojištěm či kejdovou jímkou nedochází ke ztrátám živin)
- vyřešení hnojných koncovek a úspory za budování nových hnojišť či možnost využití stávajících izolovaných hnojišť na uskladnění např. siláží (mnoho podniků investuje do nových hnojišť či kejdových jímek a přitom by se tyto prostředky daly výhodněji použít na vybudování bioplynové stanice)
- zlepšení krmivové základny, protože méně kvalitní siláže a senáže se zužitkují na výrobu bioplynu
- zisk z dosud nevyužívaných surovin (výpalky a jiné odpady, zelená hmota z údržby veřejných ploch) [1]

1.7.2 Využití odpadů

Digestát není hnojivo organické, protože proces anaerobní digesce zanechal v surovině jen stabilní organické látky. Znakem organického hnojiva je schopnost rychlého rozkladu, aby hnojivo mohlo poskytnout energii půdním mikroorganismům. Je to jen slabé hnojivo minerální, protože obsahuje jen málo minerálních živin (dusík a draslík), a to v přebytku vody. [25]

Praxe je mystifikována údaji o obsahu dusíku v sušině, a považuje tento údaj za obsah v reálném odpadu. V jeho pevné části (separátu) je organický dusík, rostlinám nepřístupný. Jestliže se separát v půdě hydrolyzuje velmi pomalu, může i tento dusík mineralizovat jen pomalu a v zimě se zpravidla vyplaví. [25]

2. VÝZNAM BIOPLYNOVÝCH STANIC A JEJICH KATEGORIZACE

BPS a výroba bioplynu obecně má řadu pozitivních a celospolečenských přínosů. Bioplyn je podle zákona č. 180/2005 Sb. hodnocen jako obnovitelný zdroj energie a elektrická a tepelná energie z něj vyrobená je tedy ekologicky šetrná. Hlavní přínosy lze shrnout následovně:

- z hlediska obnovitelných zdrojů má ČR právě v bioplynu jeden z největších a navíc rychle mobilizovatelných potenciálů
- jeho uplatnění může nejen významně pomoci při plnění závazku ČR vůči EU v oblasti obnovitelných zdrojů, ale také může přispět ke snížení závislosti ČR na fosilních palivech a na jejich dovozu z nestabilních zemí
- pro obce a města jsou BPS ve vhodných lokalitách efektivním způsobem řešení zpracování bioodpadů a jejich aktivního odklonu ze skládek v souladu s požadavky legislativy
- pro venkov jsou BPS jednou z možností, jak zajistit jeho rozvoj a podporu zaměstnanosti. Zemědělcům nabízejí reálnou alternativu pro smysluplné využití zemědělské půdy a novou podnikatelskou příležitost.

BPS umožňují realizaci přirozeného koloběhu živin v půdě a náhradu umělých hnojiv. Výsledkem řádného fermentačního procesu je stabilizovaný digestát, který může mít široké uplatnění, zejména jako organické hnojivo. [26]

BPS je zapotřebí důsledně rozlišovat podle druhu vstupů a na základě toho pro ně stanovovat i různé požadavky v rámci povoloovacího procesu. BPS tedy můžeme kategorizovat na:

1. *Zemědělské BPS* (také farmářské BPS), jejichž vstupy lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (keřda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami. Právě tato zařízení se stala typickými představiteli BPS v Německu a Rakousku a proces jejich schvalování by měl být co nejjednodušší.

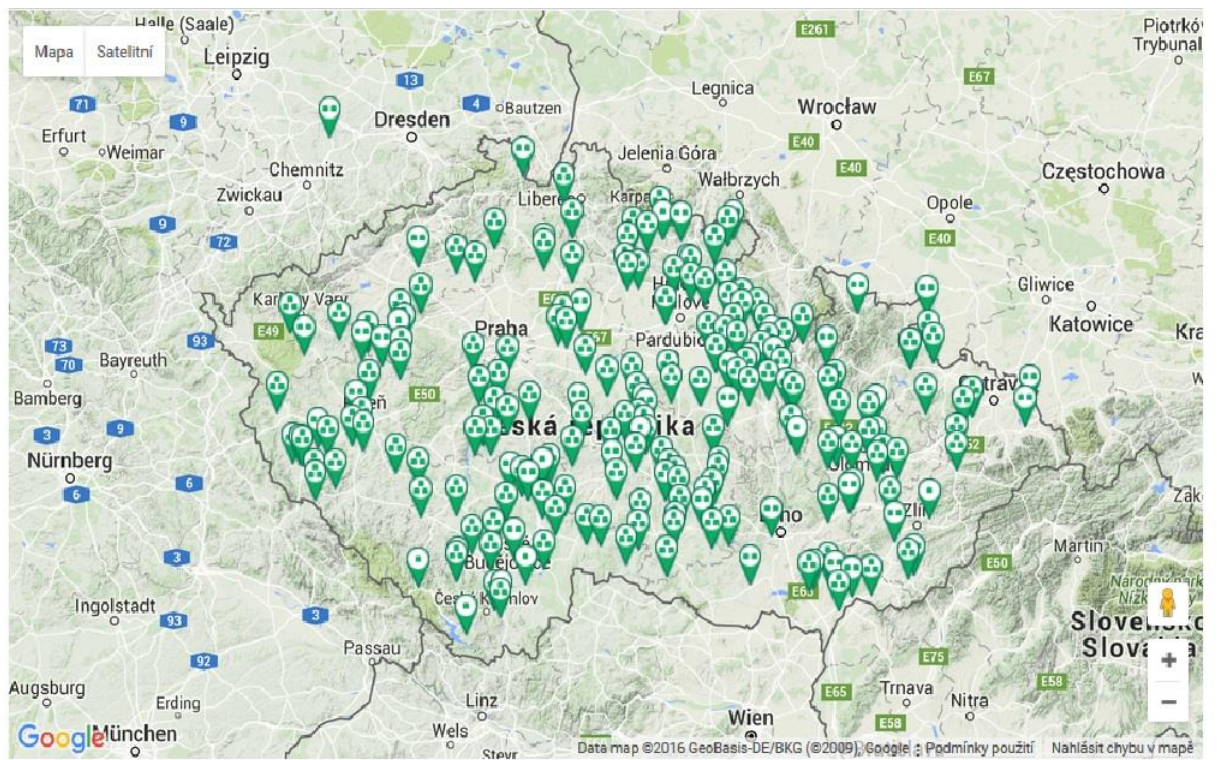
2. *Kofermentační BPS* (také průmyslové BPS), které zpracovávají výhradně nebo v určitém podílu rizikové vstupy, např. jateční odpady, kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, krev z jatek apod. Pro fermentaci těchto vstupů je nezbytné pečlivě zvolit technologii zařízení a zpracovat kvalitní provozní řád zařízení. Povolovací proces by měl být v těchto případech přísnější. Zejména je třeba vyžadovat důsledné plnění požadavků z nařízení EP a Rady č. 1774/2002, které stanovuje hygienická pravidla na nakládání s vedlejšími živočišnými produkty.
3. *Komunální BPS*, které jsou speciálně zaměřeny na zpracování komunálních bioodpadů, zejména z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností a restaurací a jídelen. Vlastnický podíl v těchto zařízeních by měly mít často přímo obce. Požadavky pro provoz komunálních BPS, ostatně i pro provoz stejně zaměřených kompostáren, by měly ideálně obsahovat určitá zjednodušení a měly by být řešeny samostatným národním předpisem, obdobně jako v Rakousku a Německu.

V souvislosti s kategorizací BPS je vhodné doplnit, že mezi bioplyn nepatří kalový plyn, vznikající na čistírnách odpadních vod, a skládkový plyn, vznikající na skládkách. Tyto plyny jsou i podle zákona hodnoceny jako samostatné obnovitelné zdroje. [26]

2.1 Zemědělské bioplynové stanice

Zemědělské bioplynové stanice jsou takové bioplynové stanice, které zpracovávají materiály rostlinného charakteru a statkových hnojiv, resp. podestýlky. Na těchto bioplynových stanicích není možné zpracovávat odpady podle zákona č. 185/2001 Sb., o odpadech, ani jiné materiály, které spadají pod Nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002 o vedlejších živočišných produktech.

Na rozdíl od ostatních BPS mají výrazně nižší emise pachových látek při zpracování surovin a ve výsledném fermentačním zbytku. Doba fermentace (velikost fermentačních prostor) musí být navržena individuálně, musí být projektantem odůvodněna, zejména s ohledem na to, jaký substrát bude zpracován, viz. příloha 1 a 2. Provozovatel BPS musí zajistit dostatečnou velikost zásobníků na fermentační zbytek (minimálně 4 měsíce), pokud ho používá pro vlastní potřebu. Tyto nádrže není nutné zakrývat. [4]



Obr. č.3 Mapa bioplynových stanic Zdroj:[27]

3. CÍL PRÁCE

Cílem této diplomové práce bylo porovnání některých bioplynových stanic v regionu jižních a středních Čech z několika pohledů. Porovnával jsem bioplynové stanice z hlediska výkonu, používaných vstupních surovin, technologií, realizace digestátu a využití odpadního tepla. Bohužel drtivá většina provozovatelů nebyla moc sdílná ohledně poskytování dat a tudíž jsem se musel spoléhat většinou na internetové zdroje. Základem byla mapa bioplynových stanic. [27] Pro porovnání jsem vybral 37 bioplynových stanic. Výběr bioplynových stanic nebyl tak zcela náhodný. Jediným hlediskem byla možnost dohledat alespoň částečně požadovaná data.

4. POROVNÁNÍ VYBRANÝCH BIOPLYNOVÝCH STANIC

Při snaze porovnat některé vybrané bioplynové stanice v Jižních a Středních Čechách jsem kontaktoval pomocí mailu či telefonem přes 70 bioplynových stanic. Bohužel drtivá většina dotazovaných provozovatelů nebyla ochotna mi požadované informace poskytnout.

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Chotýčany	9/2008	526	582	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Kejda skotu Lihovarnické výpalky	1x fermentor "kruh v kruhu" celkový objem 4323 m ³ 1x kogenerační jednotka GE Jenbacher 312 1x plynojem 400 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění budov obce		?		

Tabulka č.1 BPS Chotýčany , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Chroboly I	1/2007	537	532	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Hnůj	1x kogenerační jednotka Hochreiter Deutz TCG 2016 V12 "kruh v kruhu" fermentor+dofermentor, cca 4800 m ³ 1x skladovací nádrž			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Sušení sena, pelet, digestátu		?		

Tabulka č.2 BPS Chroboly I , zdroj [27,28,29]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Chroboly II	2/2010	537	532	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hnůj	1x KJ Hochreiter Deutz TCG 2016 V12 "kruh v kruhu"(fermentor+dofermentor, cca 4800 m ³ 1x skladovací nádrž			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Sušení sena, pelet, digestátu		?		

Tabulka č.3 BPS Chroboly II , zdroj [27,28,29]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Kardašova Řečice	2008	998	1200	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hovězí kejda		2x kogenerační jednotka Jenbacher GE 312 2x fermentor 2500 m ³ 1 x přídatný fermentor 3700 m ³ 2x jímka na digestát)		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.4 BPS Kardašova Řečice , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Krásná Hora/Vltavou	2008	526	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hovězí kejda GPS, obilný šrot		technologie firmy Biogast, "kruh v kruhu" 1x fermentor 3500m ³ 1x dofermentor 2500m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.5 BPS Krásná Hora nad Vltavou , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Libeň	12/2008	526	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hovězí kejda		1x kogenerační jednotka Jenbacher 1x fermentor, "kruh v kruhu"		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.6 BPS Libeň , zdroj [27,28,30]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Slapy	2011	526	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž kejda skotu GPS, obilný šrot		?		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.7 BPS Slapy , zdroj [27,28,31]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Senomaty	2011	1000	1044	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž GPS		1x fermentor "kruh v kruhu" koncový sklad objem 8790 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.8 BPS Senomaty , zdroj [27,32]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Deštná u J. Hradce	2008	1000	1200	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž kejda skotu chlévká mrva		1x fermentor "kruh v kruhu" 5444 m ³ 1x dofermentor 2781 m ³ 2x Kogenerační jednotka Deutz		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění budov v areálu		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.9 BPS Deštná u Jindřichova Hradce , zdroj [27,28,33]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Jarošovice u Týna n.Vltavou	12/2009	526	553	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní siláž kejda skotu		1 x KJ Jenbacher 312 GS 1x fermentor 4823 m ³ , "kruh v kruhu" 1x dofermentor 6352 m ³ 1x plynojem celkový 990 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Ohřev fermentoru Vytápění budov v areálu		?		

Tabulka č.10 BPS Jarošovice u Týna n.Vltavou , zdroj [27,28,31,34]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Ledenice-Ohrazeníčko	8/2010	250	300	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní siláž hnůj		1x kogenerační jednotka 582kW 1x fermentor 3200 m ³ , "kruh v kruhu" 2x dofermentor 2420 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentoru Vytápění blízké haly betonárky		?		

Tabulka č.11 BPS Lednice-Ohrazeníčko , zdroj[27,28,31,35]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Malšice u Tábora	9/2011	625	692	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž kejda prasat		1x kogenerační jednotka 1x fermentor 2x dofermentor		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
pro další podnikatelské záměry		?		

Tabulka č.12 BPS Malšice u Tábora , zdroj [27,28,31]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Markvartice	9/2009	171	257	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž GPS		1 x kogenerační jednotka Hochreiter Deutz 1x fermentor objem cca 1500 m ³ 1x dofermentor 1500 m ³ plynojem cca 360 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.13 BPS Markvartice , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Nedvědice	1/2008	320	394	Suchá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hnůj		2x kogenerační jednotka TEDOM Cento 160 8x fermentor vlastní konstrukce po 300 m ³ plynojem cca 360 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentorů Sušení dřeva		?		

Tabulka č.14 BPS Nedvědice u Soběslavi , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Mirkovice	2/2011	1000	928	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž chlévká mrva		4x kogenerační jednotka SCHNELL ES 2507 2x fermentor 3760 m ³ 2x dofermentor 4990 m ³ 1x koncový sklad 8 140 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentorů Sušení dřeva		?		

Tabulka č.15 BPS Mirkovice-Chabičovice , zdroj [27,28,36,37]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Petrovice u Sedlčan	10/2010	834	924	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž kejda skotu chlévská mrva senáž	1x kogenerační jednotka MWM Deutz 1x fermentor "kruh v kruhu" 6 146 m ³ vakový plynojem 600 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentorů Sušení dřeva Vytápění okolních objektů	?			

Tabulka č.16 BPS Petrovice u Sedlčan , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný(kW)	Druh fermentace
Pleše	2010	535	600	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž kejda skotu jetelová senáž	1x kogenerační jednotka Deutz 2x fermentor 2200 m ³ 1x koncový sklad 2200 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění kravína a soc. zařízení Vytápění obytných jednotek Ohřev vody dojírny	?			

Tabulka č.17 BPS Pleše u Kardašovi Řečice , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Pochvalov	2/2010	990	1131	Mokrá fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž rostlinný odpad	1x kogenerační jednotka Jenbacher J416 2x primární fermentor objem celkem 4558 m ³ 2x sekundární fermentor objem celkem 4558 m ³ 1x koncový sklad otevřený 6430 m ³ 1x plynojem 800 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentorů	?			

Tabulka č.18 BPS Pochvalov , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Pěčín	2011	1127	1124	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž senáž Hovězí kejda		1 x kogenerační jednotka GE Jenbacher JMS 416 2x fermentor 1x dofermentor		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		?		

Tabulka č.19 BPS Pěčín u Trhových Svinů , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Stádlec u Opařan	8/2010	320	390	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž kejda		1x kogenerační jednotka GE Jenbacher JMS 208 GS-B.L 1x fermentor 3300 m ³ , "kruh v kruhu" plynojem 400 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Ohřev fermentorů Vytápění areálu zem. družstva		?		

Tabulka č.20 BPS Stádlec u Opařan , zdroj 26,42

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Soběslav-Chlebov	3/2011	800	760	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž kejda		1x kogenerační jednotka 2x fermentor 3052 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.21 BPS Soběslav-Chlebov , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Týnec u Dobrovice	4/2011	889	873	Mokrý fermentace
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž cukrovarnické řízky lihovarnické výpalky výlisky z ovoce	1 x kogenerační jednotka Jenbacher JMS 412 GS-B-L 1x fermentor 1 x dofermentor, celkem 6 837 m ³ 1 x koncový sklad, plynojem 700 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Aplikace na pole jako hnojivo				

Tabulka č.22 BPS Týnec u Dobrovice , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Věžovatá Pláně	2009	250	232	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž hnůj	1x kogenerační jednotka Schnell ES 2507 1x fermentor 1526 m ³ 1x dofermentor 1885 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.23 BPS Věžovatá Pláně , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Zavidov	11/2006	47	42	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
drůbeží trus slámová podestýlka travní hmota	2x kogenerační jednotka PREMI S 22 AP BIO 1x zateplená fermentační nádrž s a plynojem 400 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění přilehlých objektů		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.24 BPS Zavidov , zdroj [27,28]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Valovice	12/2008	1163	1088	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž řepné řízky kejda prasat		1x kogenerační jednotka Jenbacher 1000 kWe		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
?		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.25 BPS Valovice , zdroj [27,28,31,38]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Klučnice	12/2010	703	703	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž, GPS kejda skotu, obilný šrot		1 x kogenerační jednotka Jenbacher JMS 320 1x odpadní teplo termoregulátor 115kW		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Parní motor		?		

Tabulka č.26 BPS Klučnice , zdroj [27,31,39]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Kestřany	12/2011	526	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž kejda skotu		1x kogenerační jednotka 526kW		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění objektů a dílen v areálu		?		

Tabulka č.27 BPS Kestřany , zdroj [27,31,40]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Olešník	4/2011	703	703	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž travní senáž kejda skotu	1x kogenerační jednotka Jenbacher JGS 320 GS:B/P			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Sušení pelet	?			

Tabulka č.28 BPS Olešník , zdroj [27,31,41]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Žabovřesky	2009	999	1088	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
kukuřičná siláž kejda skotu GPS slunečnice	2 x primární fermentor objem 2300 m ³ 1 x kofermentor – dokvašovací jímka – objem 2900 m ³ 2 x koncový sklad digestátu – průměr 30m, objem 3900 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Ohřev fermentorů Vytápění administrativních budov	Aplikace jako hnojivo na poli			

Tabulka č.29 BPS Žabovřesky , zdroj [27,42,43,44]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Kunžak	01/2011	600	608	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Hovězí kejda	1x kogenerační jednotka Jenbacher 1x fermentor 4323 m ³ , "kruh v kruhu"			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění budov v areálu Sušení řeziva	?			

Tabulka č.30 BPS Kunžak , zdroj [27,44]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Třeboň	2009	1019	1074	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Prasečí kejda	1x kogenerační jednotka Jenbacher			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění areálu BPS		Aplikace na pole jako hnojivo		

Tabulka č.31 BPS Třeboň , zdroj [27]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Koloměřice	2012	750	476	
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Kejda	1 x fermentor 3 185 m ³ 1x dofermentor 2 714m ³ 1 x skladovací jímka 4 825 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění budov v areálu Chov ryb, stáje pro koně		Aplikace jako hnojivo na poli		

Tabulka č.32 BPS Koloměřice , zdroj [27,45]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Obora	2008	500	464	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Travní senáž Kejda Zbytky rostlinných pletiv	2 x kogenerační jednotka Schnell ES 2507 1x fermentor 1 526 m ³ 1x dofermentor 1 885 m ³ 1x koncový sklad 2 712 m ³			
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění fermentoru Vytápění skleníku a kravínu		Aplikace jako hnojivo na poli		

Tabulka č.33 BPS Obora , zdroj [27,46]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Drahobudice	01/2009	576	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná siláž Hovězí kejda		1x kogenerační jednotka Jenbacher Biogast		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Sušení řeziva		Aplikace jako hnojivo na poli		

Tabulka č.34 BPS Drahobudice , zdroj [27]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Krásná Hora	2008	526	558	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná senáž Travní senáž Hovězí kejda		1x fermentor 3500m ³ , "kruh v kruhu" 1x dofermentor technologie Biogast		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění administrativních budov Ohřev vody, Sušení dřeva		Aplikace jako hnojivo na poli		

Tabulka č.35 BPS Krásná Hora , zdroj [27,47]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Rábín	2013	500	438	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná senáž Travní senáž Hovězí kejda GPS žito		1x Fermentor objem 2280 m ³ 1x Dofermentor objem 2280 m ³ 1x Skladovací nádrž na digestát objem 8140 m ³		
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Vytápění stávajících objektů Vytápění výrobních provozů		Aplikace jako hnojivo na poli		

Tabulka č.36 BPS Rábín , zdroj [27]

Název BPS	Měsíc/Rok spuštění	Výkon elektrický (kW)	Výkon tepelný (kW)	Druh fermentace
Dublovice	2009	2022	2094	?
Využívané suroviny		Použité technologie		
Kukuřičná senáž		1x kogenerační jednotka JMS 316 834kW		
Travní senáž		1x kogenerační jednotka JMS 320 1063kW		
Hovězí kejda		1x ORC 125kW		
GPS žito				
Využití odpadního tepla		Využití digestátu		
Ohřev fermentorů		Aplikace jako hnojivo na poli		
Ohřev teplé vody				

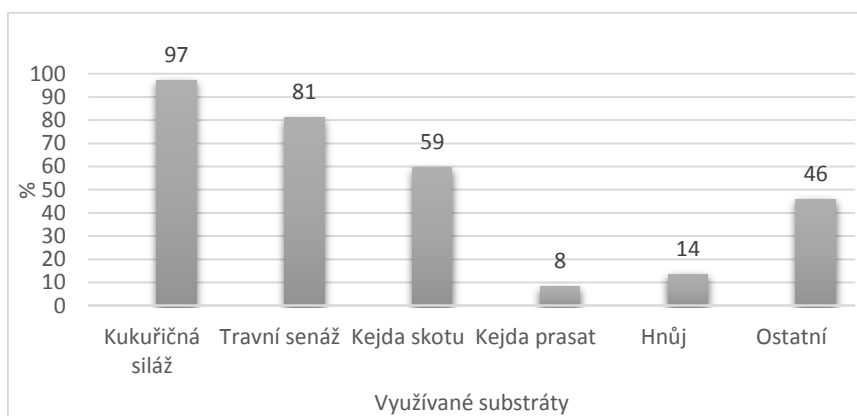
Tabulka č.37 BPS Dublovice , zdroj [27]

5. DISKUSE

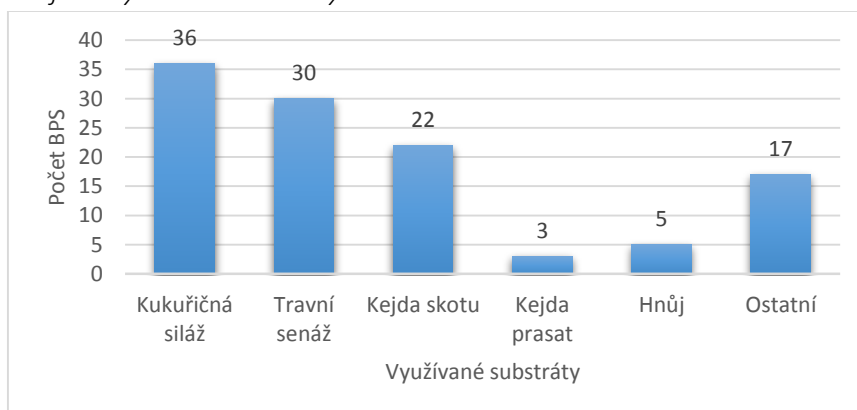
Dle získaných informací, se zemědělské bioplynové stanice v ČR relativně od sebe neliší. Bývají součástí zemědělských družstev, či společností s úzkými vazbami na tato družstva a využívají pro krmení odpadní produkci z těch družstev, či cíleně produkovanou biomasu. Nejčastěji cíleně produkovanou biomasou je kukuřice či GPS žito.

5.1 Výběr substrátu

Současná výroba bioplynu v tzv. zemědělských bioplynových stanicích (BPS) je založena převážně na využívání kukuřice, která se úspěšně šlechtí na výkonné odrůdy s vysokými výnosy nadzemní biomasy, přímo pro účely BPS. Proto je zařazování kukuřičné siláže (senáže) do „krmné dávky“ vedle hnoje či kejdy pro výrobu bioplynu spolehlivé a velmi oblíbené. [48] Dle získaných dat lze toto jen potvrdit. Jak ukazují grafy č.1 a č.2, nejčastěji využívanou surovinou je kukuřičná siláž následovanou travní senáží. Na pomyslném třetím místě je hovězí kejda.



Graf č.1 Využívané substráty



Graf č.2 Využívané substráty (%)

Zajímavou variantou se zdá býti odrůda žita SU PHÖNIX (středně vzrůstný až vyšší hybrid se špičkovým výnosem hmoty, časným metáním a rychlejším ukládáním zásobních látek do zrna. SU PHÖNIX byl vyšlechtěn pro zajištění maxima GPS hmoty pro skot i pro bioplynové stanice. [49]

5.2 Předúprava substrátů

Jedinou předúpravou substrátu, kterou zmíněné bioplynové stanice využívají je zkracování řezanců na co nejmenší délku před silážováním, případně pak skladování s konzervantem. Ač možností předúpravy je mnoho, ekonomická efektivita, či návratnost investic do lepších technologií je předmětem diskuse. Jedinou bioplynovou stanicí, kde jsem zjistil technologickou předúpravu byl Pěčín u Trhových Svinů. Zde využívají termickou předúpravu.

5.3 Technologie

Nejčastěji využívaným typem fermentoru byl zjištěn systém „kruh v kruhu“.

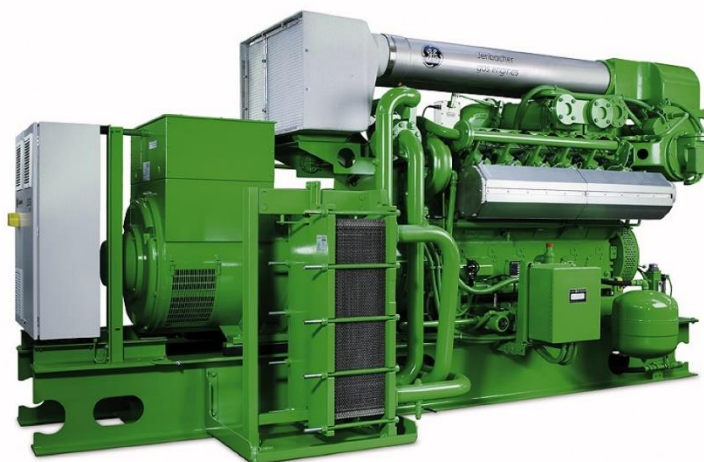
Výhody koncepce fermentoru „kruh v kruhu“:

Účinný systém míchání kvasného substrátu v obou kruzích fermentoru. Zejména ve vnějším kruhu, kde je podstatně větší zatížení s vyšší sušinou, probíhá dokonalé promíchání, podstatně lepší než u jednoduché nádrže, eliminují se tzv. mrtvé zóny uprostřed, je dokonale využito celý reakční objem nádrže. Oddělení prvního a druhého stupně fermentace – krátké dopravní cesty mezi oběma stupni fermentoru, kompaktní rozměry nádrže – malá prostorová náročnost. Vnitřní kruh není nutno tepelně izolovat. Možná kontrola přes systém průzorů – velmi důležité z provozního hlediska. Systém přepadů bez nutnosti čerpání. Výrazná úspora energie, centrální čerpadlo se používá pouze pro doplňování kejdy anebo ředící tekutiny a pro vyčerpávání koncového skladu. [50]



Obr.č.4 Fermentor „kruh v kruhu“ [51]

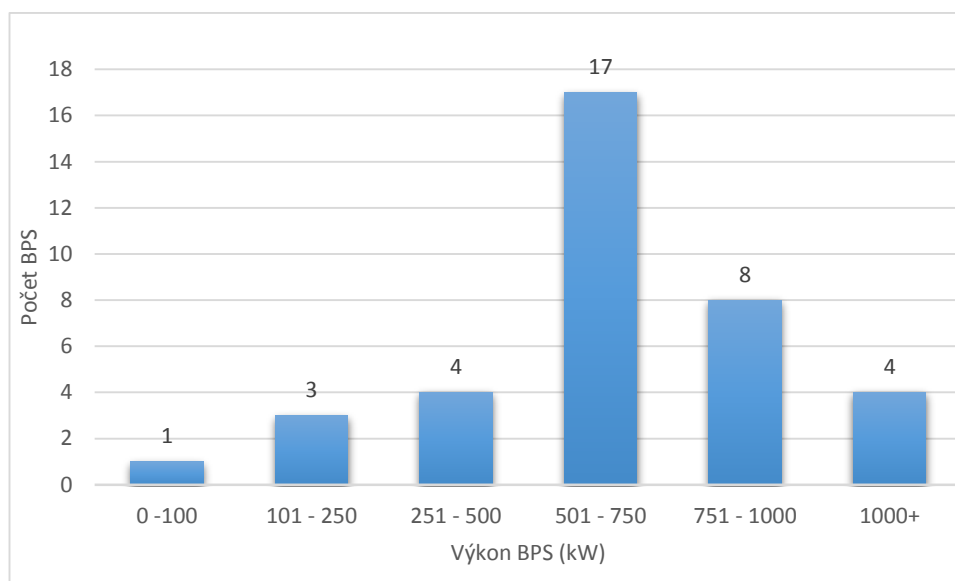
Mezi nejčastější využívané technologie kogeneračních jednotek se ukázaly být v největší oblibě kogenerační jednotky rakouské firmy GE Jenbacher GmbH & Co. OHG.



Obr.č.5 Kogenerační jednotka Jenbacher [52]

5.4 Velikost zemědělských BPS

Hrůza a Stober se domnívají, že bioplynové stanice větší než 500kW mají jen málokdy opodstatněný význam. [1] V praxi tomuto tvrzení musím oponovat. Jak je vidno z grafu č.3, nejlépe využívaný výkon BPS se pohybuje mezi 501-750 kW. 29 z 37mi, což odpovídá 78%, porovnávaných BPS má vyšší výkon než je 500kW.



Graf.č.3 Velikost využívaných BPS

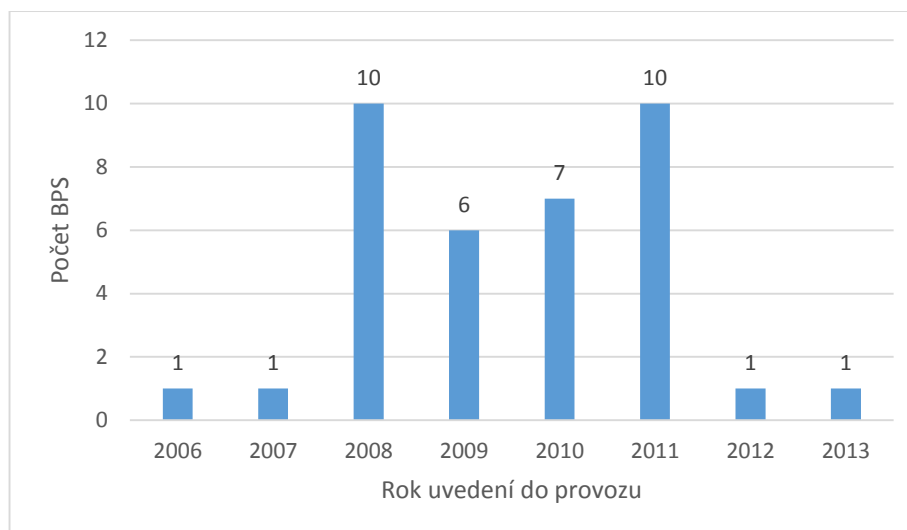
5.5 Využití odpadního tepla a digestátu

V tomto bodě se plně ztotožňuji s prvky uváděnými v literatuře. Odpadní teplo lze efektivně a rozumně využít k vytápění BPS. To znamená k ohřevu fermentoru a případnému ohřevu přidružených či dalších budov v okolí BPS.

Digestát se u většiny zemědělských bioplynových stanic efektivně aplikuje jako hnojivo na pole, avšak bez jakéhokoliv přídatku další organické hmoty

5.6 Rok spuštění provozu

Z grafu č.4 je vidět že ač porovnávané zemědělské bioplynové stanice byly uváděny do provozu v letech 2006 – 2013, tak znatelně nejvíce jich bylo zprovozněno v letech 2008 – 2011.



Graf.č.4 Rok zprovoznění BPS

Dalším společným prvkem těchto stanic je využívání odpadního tepla pro své provozy nebo pro ohřev fermentorů. Z ekonomického hlediska, je toho využití opodstatněné či dokonce žádané.

V neposlední řadě je pro zemědělské bioplynové stanice společné využití digestátu, jako hnojiva pro hnojení polí. Efektivní využití digestátu v praxi ale není zas tak jednoznačné. V současné době převládá názor, že digestát z bioplynových stanic je výborné organické hnojivo. Toto tvrzení je ale přinejmenším velmi nepřesné. Proto je s podivem, že je ve své marketingové komunikaci používají nejen výrobci technologie BPS, ale objevuje se i v dokumentech některých vysokých škol a státních orgánů. Digestát především není hnojivo organické, ale jen slabé hnojivo minerální. Sporné jsou také údaje o vysokém obsahu dusíku v sušině digestátu. Přesto může být v zemědělství efektivně využit.

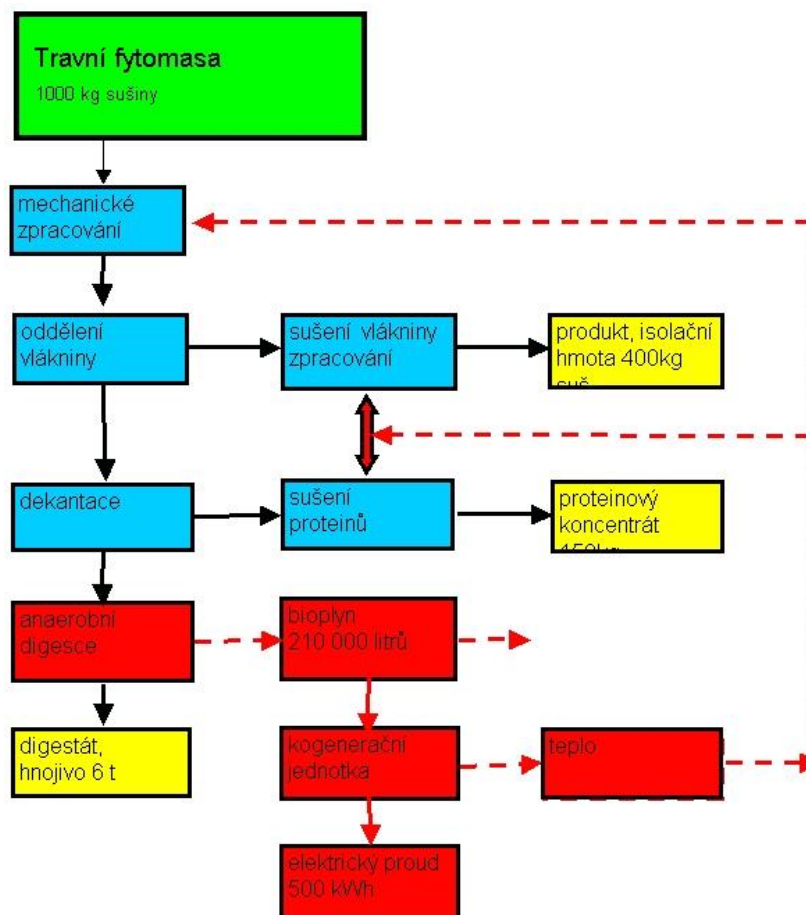
Má-li být organická hmota označena jako organické hnojivo, musí splňovat základní požadavek – musí být snadno mikrobiálně rozložitelná, aby byla schopna uvolnit pro půdní mikroorganismy potřebnou energii. Část této energie z exothermního procesu mineralizace

pak může být převedena do endothermního procesu humifikace. Dalším kladem jsou minerální živiny, uvolněné při rozkladu organické hmoty. Ale když se organická látka oxidačně nerozkládá, nemůže uvolnit minerální živiny.

A to je právě největší problém: nejlabilnější frakce organické hmoty krmiv využila zvířata, mírně labilní frakce výkalů spotřebovala anaerobní digesce a do půdy k hnojení přináší digestát už jen stabilní, špatně rozložitelnou organickou hmotu. A její stabilita je tím větší, čím dokonaleji BPS pracuje, čím vyšší je výtěžek bioplynu a hlubší degradace organické hmoty. Moderní BPS s mesofilním vyhánáním dávají z hlediska kvality organického hnojiva digestát mnohem horší, než zastaralé psychrofilní BPS zpracovávající městské kanalizační kaly v minulém století. [53]

6. BUDOUCNOST BIOPLYNOVÝCH STANIC - BIORAFINÉRIE

V řadě států nastává rozvoj tzv. biorafinérií, které poskytují řadu produktů, které jsou vyráběny z neobnovitelných surovin, zejména ropy. Travní fytohmota i řada dalších rostlinných odpadů budou v těchto zpracovatelských provozech vykupovány a tráva se stane opět cíleně vyráběnou surovinou. Existuje celá řada technologicko-technických systémů užívaných v biorafinériích podle druhu využívané biomasy. Tráva a víceleté pícniny jsou zpracovávány v tzv. zelených biorafinériích GBR (Green BioRefinery). Biorafinerie typu LCF (Lignocellulose Feedstock BioRefinery) využívají suchou biomasu a odpady celulózní a lignocelulózní. Tyto biorafinerie využívají fyzikálně chemické procesy, např. tepelně tlakovou hydrolýzu v kyselém prostředí nebo enzymatickou hydrolýzu, případně fermentační procesy rozkládající celulózu na glukózu, hemicelulózy na pentózy (xylóza). Konečnými produkty je např. bioetanol, fural, čistý lignin. Existují provozy zpracovávající biomasu pomalou nebo rychlou pyrolýzou na tzv. biokapaliny (bioliquid) obsahující chemické látky pro výrobu bioplastů a biopaliv [54]



Obr. č. 6 Schéma biorafinerie [54]

7. ZÁVĚR

Jak už bylo uvedeno v úvodu této práce, možností úpravy biomasy na zvýšení efektivity zemědělských bioplynových stanic je mnoho, ale jak se ukázalo v této práci, v praxi jsou využívány jen některé možnosti. Setkal jsem se s negativním pohledem na aktivní předúpravu substrátu. A to hlavně z důvodu nedůvěry provozovatelů v ekonomickou návratnost investic. Typická zemědělská bioplynová stanice v našich podmínkách využívá mokrou fermentaci, zpracovává převážně cíleně produkovanou kukuřičnou siláž, odpadní teplo využívá k vytápění fermentoru a případně okolních budov a odpadní digestátu využívá jako hnojivo na pole. Jen čas ukáže, zda tento trend vydrží, nebo zda se stávající bioplynové stanice začnou vylepšovat, či nové stavěné budou již při konstrukci plánovat s využitím lepších a modernějších technologií.

8. ZDROJE

- 1) HRŮZA, R., STOBER, K. (2009): Co ovlivňuje efektivitu provozu bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 2009-04-01 [cit. 2015-07-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/co-ovlivnuje-efektivitu-provozu-bioplynove-stanice>>. ISSN: 1801-2655.
- 2) DOHÁNYOS, M. (2009): Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. Biom.cz [online]. 2009-02-25 [cit. 2015-07-14]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>>. ISSN: 1801-2655.
- 3) AMON, T. et al. (2007): Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. Bioresource Technology, vol. 98, No 17, 3204-3212.
- 4) MAROUŠEK J. (2012): Dezintegrace lignocelulózy pro bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 2012-08-20 [cit. 2012-10-20]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/produkcii-bioplynu-lze-zvysit-dezintegraci-vstupni-fytomasy>>. ISSN: 1801-2655
- 5) TRNAVSKÝ J. (2013): Možnosti intenzifikace produkce bioplynu. Biom.cz [online]. 2013-11-11 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-intenzifikace-produkce-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- 6) HRDINOVÁ J., KOZUMPLÍKOVÁ M., JAGOŠOVÁ V., MINAŘÍK M., PÍŠTĚK V. (2015): Vliv biologické předúpravy lignocelulosových substrátů na produkci bioplynu. Biom.cz [online]. 2011-11-16 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vliv-biologicke-predupravy-lignocelulosovych-substratu-na-produkci-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- 7) ENVIWEB.CZ (2009) Jak zvýšit efektivitu bioplynové stanice [online] , 2015-02-09 [cit. 2015-11-22]. Dostupné z: <http://www.enviweb.cz/clanek/bioplynky/73815/jak-zvysit-efektivnost-bioplynove-stanice>

- 8) CZBA.CZ : Česká bioplynová asociace. Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi [online]. [cit. 2015-12-05]. Dostupné z: <http://www.czba.cz/zvysovani-efektivita-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi.html>
- 9) DOHÁNYOS M. (2009): Jak zvýšit efektivnost bioplynové stanice? Alternativní energie [online]. CEMC - České ekologické manažerské centrum, 13. 4. 2009, [cit. 2015-12-09]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5550-jak-zvysit-efektivnost-bioplynovy-stanice>
- 10) BARNES S. P., KELLER J. (2015): Cellulosic waste degradation by rumen-enhanced anaerobic digestion: Volume: 48 Issue: 4. In: WATER SCIENCE AND TECHNOLOGY [online]. Published:2003, s. Pages: 155-162 [cit. 2015-12-09]. ISSN 0273-1223.
- 11) DOHANYOS M., ZABRANSKA J., JENICEK P. (1997): Enhancement of sludge anaerobic digestion by using of a special thickening centrifuge. Water Science and Technology [online]. 1997, 36(11): 145-153 [cit. 2015-12-09]. DOI: 10.1016/S0273-1223(97)00677-X. ISSN 02731223. Dostupné z: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S027312239700677X>
- 12) SAATEN UNION (2015): SU PHÖNIX [online]. 2015-08-04 [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <http://www.saaten-union.cz/index.cfm/action/varieties/cul/53/v/1704.html>
- 13) KUŽEL S., KOLÁŘ L., PETERKA J., HŘEBEČKOVÁ J. (2015) Energie 21 [online]. Profi Press s.r.o., 2015-06-25, [cit. 2015-12-20]. Dostupné z: <http://energie21.cz/jak-efektivne-vyuzit-digestat/>
- 14) STRAKA F., DOHÁNYOS M. (2006) Bioplyn: [příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů]. 2., rozš. a dop. vyd. Praha [i. e. Říčany u Prahy]: GAS, 706 s. ISBN 80-7328-090-6.v

- 15) BRANDEJSOVÁ E., ZDENĚK P. (2009): Bioplynové stanice: (zásady zřizování a provozu plynového hospodářství). Praha: GAS, 2009, 118, [16] s. GAS. ISBN 978-80-7328-192-2.
- 16) BAČÍK O. (2008): Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. Biom.cz [online]. 2008-01-14 [cit. 2016-02-13]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>>. ISSN: 1801-2655.
- 17) CHYNOWETH D. P., JERGER D. E. (1985): Anaerobic digestion of woody biomass. Developments in Ind. Microbiol., 26, 235-246.
- 18) BARDIYA N., SOMAYAJI D., KHANNA S. (1996): Biomethanation of banana peel and pineapple waste. Bioresource Technol., 58, s. 73-76
- 19) VÁŇA J., SLEJŠKA A. (1998): Bioplyn z rostlinné biomasy: (studijní zpráva). Praha: Ústav zemědělských a potravinářských informací, 40 s. Studijní informace. ISBN 80-86153-92-4.
- 20) BASERGA U., EGGER K. (1997): Vergarung von Energiegras zur Biogasgewinnung. InfoEnergie, c/o Eidgenossische Forschungsanstalt FAT, Tanikon, 40s
- 21) BIOM.CZ (2012): Volba vhodné kogenerační jednotky na bioplyn. Biom.cz [online]. [cit. 2016-02-17]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/volba-vhodne-kogeneracni-jednotky-na-bioplyn>>. ISSN: 1801-2655
- 22) EUROPEAN COMMISSION (2008): Memo on the renewable energy and climate change package [online]. Brussels, 2008 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: http://europa.eu/rapid/press-release_MEMO-08-33_en.htm
- 23) EUROPEAN COMMISSION (2014): A policy framework for climate and energy in the period from 2020 to 2030 [online]. Brussels, [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/ALL/?uri=CELEX:52014DC0015>

- 24) CONOLLY D, LUND H., MATHIESEN B.V., WERNER S., MOLLER B., PERSSON U., et al. (2014): Heat roadmap Europe: combining district heating with heat savings to decarbonize the EU energy system Energy Policy, 65 pp. 475–489
- 25) NOVÁKOVÁ R.(2014) Návrh opatření ke zvýšení efektivity bioplynové stanice (BPS) Obora. Č. Bud., 2014. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta
- 26) BIOM.CZ (2009): Mapa bioplynových stanic, Produkty a služby: Bioplynové stanice [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://biom.cz/cz/produkty-a-sluzby/bioplynove-stance>
- 27) BIOPLYN.CZ : Anaerobní technologie. : Srovnání technologií [online]. [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- 28) BIOM.CZ, : Spolehlivá a ověřená technologie bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 2020-12-18 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/spolehliva-a-overena-technologie-bioplynove-stance>>. ISSN: 1801-2655.
- 29) KOLÁŘ L., VANĚK V., KUŽEL, S.: Využití odpadů z bioplynových stanic. Racionální použití hnojiv - sborník z konference, ISBN 978-80-213-2006-2
- 30) VÁŇA J. (2004): Biorafinerie - zařízení pro trvale udržitelný život na této planetě. Biom.cz [online]. 2004-06-23 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/biorafinerie-zarizeni-pro-trvale-udrzitelny-zivot-na-teto-planete>>. ISSN: 1801-2655.
- 31) PAWLICA, P. (2010): Sušení odpadním teplem z bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 2010-05-24 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/suseni-odpadnim-teplem-z-bioplynove-stance>>. ISSN: 1801-2655.
- 32) ČERVENKA, P. (2014) zvýšení efektivity bioplynové stanice Koloměřice.. Č. Bud., 2014. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta

- 33) Zemědělská společnost Dubné, a.s.: Bioplynová stanice [online]. 2013 [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: <http://www.zsdubneas.cz/bps/>
- 34) KALINOVÁ, L. (2012) Produkce a využití bioplynu v jižních Čechách. Č. Budějovice. bakalářská práce (Bc.). JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH. Zemědělská fakulta
- 35) HOCHREIRER (2011): Výstavba bioplynových stanic [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.johann-hochreiter.cz/cs/projekty-detail/41-bioplynova-stanice-kadov/1/>
- 36) ZD Krásná Hora nad Vltavou a.s: Bioplynové stanice [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.zdkh.cz/index.php/bioplynove-stanice/bioplyn-kh>
- 37) ENVITEK BIOGAS: Reference [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: <http://www.envitec-biogas.cz/reference.html>
- 38) BPS KLUČENICE: Oznámení podlimitního záměru podle přílohy č.3 zákona č.100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí [online]. 2008 [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: portal.cenia.cz/eiasea/download/./STC1011_oznameni.doc
- 39) MAREŠ J., HEZINA F. (2008) VÝSTAVBA A PROVOZ BIOPLYNOVÉ STANICE OLEŠNÍK: OZNÁMENÍ Podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a změně některých souvisejících zákonů, v platném znění v rozsahu dle přílohy č. 3 [online]. [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: portal.cenia.cz/eiasea/download/./JHC443_oznameni.pdf
- 40) SMETANA L., WEINZETTL J., LEHRL T. (). NOVOSTAVBY BIOPLYNOVÉ STANICE LEDENICE - OHRAZENÍČKO: OZNÁMENÍ ZÁMĚRU v rozsahu dokumentace podle zákona č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivů na životní prostředí a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění zákona č.163/2006 Sb., zpracované v rozsahu podle přílohy č. 3 [online]. In: . [cit. 2016-03-11]. Dostupné z: portal.cenia.cz/eiasea/download/./JHC331_oznameni.pdf

- 41) <http://www.agrikomp.de/cz/reference/funkcni-mps-agrikomp-v-cr/421-cz-22-chabicovice-okr-ck.html>, staženo dne: 18.3.2016
- 42) <http://calla.ecn.cz/atlas/index.php>, staženo dne: 10.2.2016
- 43) <http://www.gborc.eu/zem-spol-bukovno-s-mps-valovice-0>, staženo dne: 18.2.2016
- 44) http://pisecky.denik.cz/zpravy_region/kestrany-do-budoucnazvazuji-vyuziti-teplaz-biopllynovestanice-20120606.html, staženo dne: 17.3.2016
- 45) <http://energie21.cz/hydrolyticke-enzymy-zlepsuji-efektivitu/> staženo dne: 5.3.2016
- 46) <http://www.biopllyncs.cz/susarny> staženo dne: 12.2.2016
- 47) http://theses.cz/id/9nkqnk/DP_ZAJIC.pdf staženo dne: 11.3.2016
- 48) <http://www.johann-hochreiter.cz/cs/projekty-detail/35-biopllynova-stanice-senomaty/> staženo dne: 07.3.2016
- 49) <http://www.agrifair.cz/component.php?cocode=section&seid=347> staženo dne: 03.2.2016
- 50) SIKYTOVÁ P. (2015): Uplatnění různého typu substrátu v biopllynové stanici [Diplomová práce]. České Budějovice, 65 s. Jihočeská univerzita, Zemědělská fakulta, Katedra rostlinné výroby a agroekologie
- 51) PETŘÍKOVÁ V. (2012): Plodiny pro zemědělské biopllynové stanice. Biom.cz [online]. [cit. 2016-03-20]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/plodiny-pro-zemedelske-biopllynovestanice>>. ISSN: 1801-2655
- 52) <http://biom.cz/cz/obrazek/koncepce-firmy-hochreiter-fermentor-kruh-v-kruhuquot> staženo dne: 05.2.2016
- 53) <http://powergen.gepower.com/products/reciprocating-engines/jenbacher-type-3.html> staženo dne: 18.2.2016
- 54) <http://www.johann-hochreiter.cz/docs/pdf/17-V%C3%BDhody%20BPS%20Hochreiter.pdf> staženo dne: 07.2.2016

9. SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Obr.č.1 Sláma po maceraci	27
Obr.č.2 Sláma po termotlaké úpravě	27
Obr.č.3 Mapa bioplynových stanic.....	32
Obr.č.4 Fermentoru „kruh v kruhu“	49
Obr.č.5 Kogenerační jednotka Jenbacher	49
Obr.č.6 Schéma biorafinerie	53
Tabulka č.1 BPS Chotýčany	34
Tabulka č.2 BPS Chroboly I.....	34
Tabulka č.3 BPS Chroboly II.....	34
Tabulka č.4 BPS Kardašova Řečice	35
Tabulka č.5 BPS Krásná Hora nad Vltavou	35
Tabulka č.6 BPS Libeň.....	35
Tabulka č.7 BPS Slapy.....	36
Tabulka č.8 BPS Senomaty	36
Tabulka č.9 BPS Deštná u Jindřichova Hradce	36
Tabulka č.10 BPS Jarošovice u Týna n.Vltavou.....	37
Tabulka č.11 BPS Ledenice-Ohrazeníčko	37
Tabulka č.12 BPS Malšice u Tábora.....	37
Tabulka č.13 BPS Markvartice	38
Tabulka č.14 BPS Nedvědice u Soběslavi	38
Tabulka č.15 BPS Mirkovice-Chabičovice.....	38
Tabulka č.16 BPS Petrovice u Sedlčan.....	39
Tabulka č.17 BPS Pleše u Kardašovi Řečice.....	39
Tabulka č.18 BPS Pochvalov	39
Tabulka č.19 BPS Pěčín u Trhových Svinů	40
Tabulka č.20 BPS Stádlec u Opařan.....	40
Tabulka č.21 BPS Soběslav-Chlebov.....	40
Tabulka č.22 BPS Týnec u Dobronice	41
Tabulka č.23 BPS Věžovatá Pláně.....	41
Tabulka č.24 BPS Zavidov.....	41
Tabulka č.25 BPS Valovice.....	42

Tabulka č.26 BPS Klučenice	42
Tabulka č.27 BPS Kestřany	42
Tabulka č.28 BPS Olešník	43
Tabulka č.29 BPS Žabovřesky	43
Tabulka č.30 BPS Kunžak.....	43
Tabulka č.31 BPS Třeboň.....	44
Tabulka č.32 BPS Koloměřice	44
Tabulka č.33 BPS Obora	44
Tabulka č.34 BPS Drahobudice.....	45
Tabulka č.35 BPS Krásná Hora.....	45
Tabulka č.36 BPS Rábín	45
Tabulka č.37 BPS Dublovice	46
Graf č.1 Využívané substráty.....	47
Graf č.2 Využívané substráty (%)	47
Graf.č.3 Velikost využívaných BPS.....	50
Graf.č.4 Rok zprovoznění BPS	51