

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

Přírodovědecká fakulta

Katedra biochemie

Obor Biochemie



**VYUŽITÍ BIOMASY A BIOODPADU K PRODUKCI
BIOPLYNU**

Bakalářská práce

vypracovala

Barbora Svobodová

Vedoucí bakalářské práce : Ing. Jan Páca, Ph.D.

Praha 2009

Přírodovědecká fakulta UK
KNIHOVNA CHEMIE



3233137818

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně pod vedením školitele
Ing. Jana Páci Ph.D. a že jsem všechny použité prameny řádně citovala.

V Praze.....

.....

Podpis

Tímto bych ráda poděkovala svému školiteli Ing. Janu Pácovi, Ph.D. za jeho ochotu, čas a cenné rady. Nemohu opomenout také přínosné rady Prof. Iva Šafaříka, Ph.D., DSc. Velký dík patří též pánům Ing. Jiřímu Palátovi a Zdeňkovi Jirkovskému, kteří mi byli průvodci při prohlídkách zařízení na zpracování odpadu a vývoj bioplynu v praxi.

1. ÚVOD	6
2. ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE	8
2.1. Co je to biomasa	8
2.2. Co je to bioodpad.....	9
2.3. Co je to bioplyn	9
2.3.1 Využití bioplynu	10
3. PRINCIP TVORBY BIOPLYNU	11
3.1. Jednotlivé fáze anaerobní fermentace.....	11
3.2. Proces tvorby methanu z CH ₄ a CO ₂	12
3.2. Funkční skupiny anaerobních mikroorganismů.....	14
3.3. Možnosti intenzifikace procesu methanizace	15
3.4.1. Stimulace buněčným lyzátem	16
4. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ANAEROBNÍ PROCESY	18
4.1. Vliv pH.....	18
4.2. Vliv složení substrátu	18
4.3. Vliv teploty.....	19
5. ANAEROBNÍ ROZLOŽITELNOST A BILANCE ANAEROBNÍHO ROZKLADU ORGANICKÝCH LÁTEK.....	21
5.1. Energetické stanovení substrátu.....	22
5.2. Terminologie popisu skladby organického substrát.....	22
6. KRITÉRIA DĚLENÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ BIOMASY A BIOODPADŮ	24
6.1. Dělení na suchou a mokrou fermentaci	24
6.2. Dělení podle způsobu dávkování substrátu.....	24
6.3. Dělení podle druhu vstupu.....	25
7. BIOPLYNOVÉ STANICE (BPS) – STRUKTURA JEJICH PRVKŮ.....	26
7.1. Fermentory na tekutý materiál (mokrý fermentace).....	26
7.2. Fermentory na tuhý materiál.....	27
7.3. Technologická spotřeba tepla	27
8. ANAEROBNÍ ROZKLAD ORGANICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD.....	28
8.1. Anaerobní stabilizace kalů.....	28
8.1.1. Základní provozní parametry methanizační nádrže	29
9. MODELOVÝ POPIS BIOPLYNOVÉ STANICE ZPRACOVÁVAJÍCÍ KOMUNÁLNÍ ODPAD	31
10. LEGISLATIVNÍ ROZDĚLENÍ BIOODPADŮ A PRÁCE S NIMI	34
11. SOUHRN.....	35
12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	36

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK:

- BP - bioplyn
- BPS - bioplynová stanice
- BSK - biologická spotřeba tepla
- ČOV - čistička odpadních vod
- Fmd - formylmethanofurandehydrogenasa
- Ftr - formyltransferasa
- H₄MPT - tetrahydromethanopterin
- CHSK - chemická spotřeba kyslíku
- Mcr - methyl- koenzym M reduktasa
- Mer - methylen - H₄MPT reduktasa
- Mch - methenyl- H₄MPT cyklohydrolasa
- ML - minerální látky
- Mtd - methylen- H₄MPT dehydrogenasa
- Mtr - methyltransferasa
- NL - nerozpustné látky
- PPI - produkční příspěvek inokula
- RL - rozpuštěné látky
- TKO - tuhý komunální odpad
- VL - veškeré látky
- ZŽ - ztráty žiháním

1. ÚVOD

Biomasa je člověkem odpradáвна využívána jako zdroj energie. Změna nastala s přicházející průmyslovou revolucí a s nedostatkem biomasy v oblastech velkých měst, v nichž se koncentroval průmysl. V 18. století byl tento zdroj energie nahrazen uhlím, čímž byl vyřešen problém nedostatku biomasy. Ovšem netrvalo dlouho a společnost se opět navrátila k využívání alternativních zdrojů. Potřeba energie z obnovitelných zdrojů nastala v období druhé světové války, dále pak v 70. letech minulého století v důsledku příchodu ropné krize. Ve dvacátém století se lidé více zajímali o obnovitelné zdroje, protože si začali uvědomovat vyčerpatelnost fosilních paliv a také ničivé dopady vysoké spotřeby energií z neobnovitelných zdrojů na životní prostředí.

Rozvoj využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie je podporován Evropskou unií jako součást řešení ekologické otázky energie, problémů zemědělské politiky a politiky rozvoje venkova.

Evropská komise plánuje do roku 2010 zdvojnásobit podíl obnovitelných zdrojů ze 6 na 12 %. Snížení množství skleníkových plynů v atmosféře lze dosáhnout nahrazením fosilních paliv biopalivem, neboť použití biomasy pro získání energie má nulovou bilanci CO₂. Některé státy EU dosáhly poměrně vysokých výsledků ve využití energie z biomasy. Např. Finsko 28 %, Švédsko 18 %, Rakousko 12,4 %. V ČR pochází pouze 1 % celkové vyrobené energie z biomasy.

Rozvoj využití biomasy jako obnovitelného zdroje energie zajišťuje obecně zlepšení kvality životního prostředí, úsporu a ochranu fosilních zdrojů pro jiné účely (např. chemický průmysl), snížení skládkování biodegradabilních odpadů v důsledku jejich využití, snížení dovozu paliv a energií a tím zlepšení obchodní bilance ČR a nové uplatnění pro zemědělskou výrobu.

Podle údajů UNESCO by do roku 2050 mohla spotřeba obnovitelných zdrojů dosáhnout až 30 % všech primárních energetických zdrojů [1].

Bioplynová stanice je právě takové zařízení, které je schopné vyrobit energii z biomasy a bioodpadů. Kvalitně konstruovaná bioplynová stanice je ekologické zařízení, které se běžně provozuje v celé Evropské unii. Je schopna zpracovat širokou škálu materiálů nebo odpadů organického původu. Výsledkem procesů probíhajících v bioplynové stanici je výroba tepelné a elektrické energie v kogeneračních jednotkách.

kam je bioplyn produkován v bioreaktorech (fermentorech) bioplynové stanice odváděn a kde je následně spalován ve spalovacím motoru kogenerační jednotky. Biologicky rozložitelný vstupní materiál je v bioreaktorech přeměněn směsnou mikrobiální populací na digestát (fermentát), který lze využít jako kvalitní hnojivo. Bioplynová stanice tedy umožňuje přirozený koloběh živin v půdě a náhradu umělých hnojiv.

Česká republika má jeden z nejvyšších potenciálů z hlediska obnovitelných zdrojů právě v bioplynu. Jeho uplatnění může pomoci České republice při plnění závazků vůči Evropské unii v oblasti obnovitelných zdrojů. Může též snížit závislost naší země na fosilních palivech [2].

2. ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE

Celosvětové zásoby vyčerpatelných zdrojů energie již brzy nebudou schopny pokrýt energetickou potřebu lidstva, proto se společnost snaží najít nové způsoby, jak vyřešit tuto problematiku. Nejlepším řešením je začít plně využívat alternativní zdroje energie, jako je vodní, sluneční, geotermální, větrná energie a energie z biomasy a bioodpadů.

Energie z biomasy je obnovitelný alternativní zdroj energie. To znamená, že neznečišťuje životní prostředí, funguje v souladu s přírodním ekosystémem a je nevyčerpatelná.

2.1. Co je to biomasa

Za biomasu můžeme všeobecně považovat celkovou hmotnost jedinců rostlinného a živočišného původu na dané ploše. Tato hmotnost je nejčastěji vyjadřovaná v množství sušiny. V případě organické hmoty rostlin hovoříme o fytomase, která je dělena na nadzemní, podzemní, živou a mrtvou, dále pak rozeznáváme živočišnou biomasu a nakonec i organický odpad. Všechn tento materiál lze využít k energetickým účelům formou methanogenní fermentace v reaktorech bioplynových stanic [3].

Biomasa může být cíleně pěstována pro energetické využití nebo se jedná o zbytkovou biomasu pocházející z průmyslu dřevařského a nábytkářského, z lesního hospodářství, komunální bioodpad a odpady z potravinářského průmyslu, dále pak rostlinné zbytky z údržby krajin a zemědělské prvovýroby.

Plodiny cíleně pěstované za účelem energetického využití (tzv. energetické plodiny) by měly mít tyto vlastnosti [4]:

- Velký obsah sušiny (zejména organické sušiny) v době sklizně
- Vysoká výhřevnost a nízký obsah popela
- Odolnost vůči chorobám a škůdcům
- Nízká náročnost na vodu a živiny

2.2. Co je to bioodpad

Biologicky rozložitelný odpad neboli bioodpad je rozložitelný v přítomnosti kyslíku - aerobně, či v jeho nepřítomnosti - anaerobně. Následkem tohoto rozkladu dostáváme biologicky stabilizovaný odpad. Odpadní biomasa je určitou formou bioodpadu. Jedná se o organickou hmotu, která už byla člověkem využita, ovšem ne energeticky. Získáme ji zejména z následujících odvětví [5]:

- Komunální odpady organického charakteru i) v kapalně fázi (kaly z čistíren odpadních vod) a ii) v tuhé fázi (TKO - tuhý komunální odpad).
- Produkty živočišné výroby: hnůj, kejda, krmivové zbytky
- Odpady potravinářského průmyslu
- Odpady pocházející z údržby parků, lesů, zahrad, sadů atd.
- Odpady ze dřevovýroby: piliny, hobliny
- Odpady vzniklé těžbou dřeva: větve, šišky, kůra
- Odpady ze zemědělské výroby

2.3. Co je to bioplyn

Bioplyn je hodnocen jako obnovitelný zdroj energie, přičemž elektrická a tepelná energie vyrobená z něj je ekologicky šetrná (tzv. zelená energie) [2].

Je to plyn vznikající **anaerobní fermentací** organických substrátů činností smíšené populace mikroorganismů. Z hlediska způsobu získání dělíme bioplyn (BP) na [6]:

- Skládkový BP
- BP generovaný v bioplynových stanicích
- BP z čistíren odpadních vod (ČOV)

Jeho majoritními složkami je **methan CH₄** a **oxid uhličitý CO₂**. V závislosti na složení substrátu se pohybuje množství methanu okolo 40 – 70 % a množství oxidu uhličitého v rozmezí 25 – 55 %. Dále byly v bioplynu identifikovány stovky minoritních složek bioplynu metodou plynové chromatografie. Jejich přibližný počet se odhaduje na 400 - 500. Ovšem tyto látky jen nepatrně přispívají k energetické hodnotě bioplynu. Výhřevnost je totiž dána pouze obsahem methanu.

Minoritní látky lze rozdělit na látky přirozené pocházející z rozkladu přírodních látek a dále na látky pocházející z uměle vytvořených materiálů.

Některé látky, jež byly v bioplynu identifikovány nejsou látkami původními, nýbrž metabolity vzniklé v průběhu fermentace.

Mezi nejčastěji se objevující minoritní složky můžeme obecně zařadit: sulfan H_2S (do 1 %), vodní páry (0-10 %), dusík N_2 (0-5 %), kyslík O_2 (0-2 %), vodík H_2 (0-1 %) a amoniak NH_3 (0-1 %).

Obvykle se pozornost málo zastoupených složek věnuje právě těm, které mají vliv na korozi plynového potrubí a válců motoru kogenerační jednotky nebo jsou toxické. Ke korozním problémům přispívá například sulfan [7].

Bioplyn je pro svůj poměrně vysoký obsah methanu hořlavý. Čistý methan je netoxický, ovšem ve směsi se vzduchem je výbušný. Srovnávací pokusy výbušnosti mezi čistým methanem a bioplynem při různých teplotách ukázaly, že nebezpečí exploze u bioplynu je mnohem nižší než u samotného methanu [8].

2.3.1 Využití bioplynu

Bioplyn lze především využít jeho spálením v motoru kogenerační jednotky k výrobě elektrické (v generátoru) a tepelné (chladící kapalina) energie, dále jej lze po přečištění (odstranění většiny oxidu uhličitého) využít jako pohonnou hmotu motorových vozidel, dále pak k produkci tepla a elektrické energie.

Například ve Švédsku nastal v posledním desetiletí poměrně široký rozmach využití bioplynu jako pohonné hmoty. Zhruba kolem 15 000 automobilů jezdí ve Švédsku na bioplyn. Do budoucna se předpokládá nárůst počtu takto poháněných automobilů až na 70 000 [9].

3. PRINCIP TVORBY BIOPLYNU

3.1. Jednotlivé fáze anaerobní fermentace

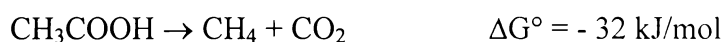
Anaerobní fermentace nebo také methanová (methanogenní) fermentace je souborem vzájemně navazujících biochemických procesů, kterých se účastní směsná kultura mikroorganismů. Ty postupně rozkládají organickou hmotu, přičemž se produkt jedné skupiny mikroorganismů stává substrátem pro další skupinu. Z toho je zřejmé, že špatná aktivita jedné skupiny mikroorganismů má za následek narušení dynamické rovnováhy systému, čímž dojde ke snížení účinnosti procesu (a případně ke zkolabování procesu v bioreaktoru) [10].

Methanogenní fermentace je jako soubor 4 na sebe navazujících procesů složena z následujících fází:

- **hydrolyza** při které dochází k rozkladu makromolekulárních látek jako jsou lipidy, polysacharidy a proteiny. Tato první fáze nemusí nutně probíhat v bezkyslíkatém (anaerobním) prostředí. Hydrolytický rozklad může být totiž uskutečněn činností fakultativních anaerobů, které zbytky kyslíku spotřebují a tím zajistí poměrně rychlé vytvoření anaerobního prostředí. Produktem této fáze jsou nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě, jako jsou monosacharidy, alifatické karboxylové kyseliny a alkoholy. Tyto nízkomolekulární látky vznikly činností extracelulárních hydrolytických enzymů bakterií a jsou nyní schopné transportu do mikrobiálních buněk další fáze procesu, kde jsou během tzv. druhé fáze methanogenní fermentace rozloženy na jednodušší organické látky [11].
- **acidogeneze** je fáze, kde jsou pomocí acidogenních bakterií produkty hydrolytické fáze rozkládány na nižší mastné kyseliny, alkoholy, oxid uhličitý a vodík. Na konečný produkt má vliv hodnota pH. Při nižším pH dochází k produkci kyseliny octové, H_2 a CO_2 . Při vyšším pH vzniká např. kyselina mléčná a ethanol [12]. Tato fáze je uskutečněna anaerobními mikroorganismy, při jejichž činnosti se vytváří podmínky pro současný rozvoj symbiotických methanogenů, přičemž se pak i primární hydrolytické procesy realizují v anaerobních podmínkách.
- **acetogeneze** je fáze, ve které dochází k oxidaci látek z předešlých procesů (především nižších mastných kyselin) na H_2 , CO_2 a kyselinu octovou. Zde se uplatňují syntrofní acetogenní mikroorganismy produkující H_2 , které rozkládají

organické látky vyšší než je kyselina octová (kyselinu propionovou, alkoholy a některé aromáty). Nezbytná je zde součinnost bakterií spotřebovávajících H₂. Přebytek vodíku totiž inhibuje činnost acetogenních mikroorganismů a tím i celého systému.

- o **methanogeneze** je proces, při němž vzniká CH₄ a CO₂. Je realizován acetotrofními methanogenními bakteriemi z kyseliny octové a hydrogenotrofními methanogenními bakteriemi z CO₂ a H₂. Energetické výtěžky tvorby methanu z jednotlivých substrátů ukazují, že nejvýhodnější je jeho tvorba z CO₂ a H₂, proto se tato práce bude v dalších kapitolách této cestě vzniku methanu věnovat podrobněji [7].



3.2 Proces tvorby methanu z CH₄ a CO₂

Jednouhlíkaté sloučeniny jako například methanol, formaldehyd a CO₂ jsou využívány pro různé anabolické funkce ve všech živých buňkách. Jejich přenos je zajištěn vazbou na specifické koenzymy. Mezi rozšířené patří biotin nebo tetrahydrofolát. Méně rozšíření přepravci C₁-sloučenin jsou methanofuran, tetrahydromethanopterin a koenzym M (2-merkptoethansulfát), které můžeme najít pouze v methanogenních organismech [13].

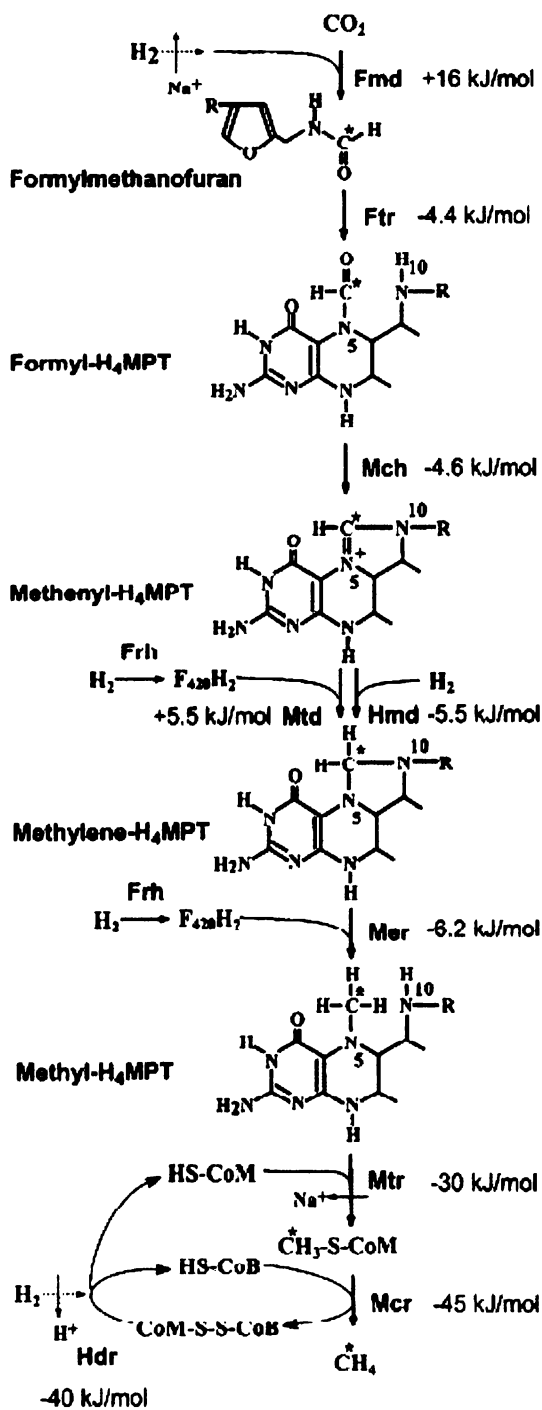
Nejdříve je CO₂ navázán na methanofuran, což je první přenašeč. Dochází k redukci na formylmethanofuran. Tato reakce je katalyzovaná formylmethanofurandehydrogenasou (Fmd).

Následně je formylová skupina z formylmethanofuranu přenesena na tetrahydromethanopterin (H₄MPT). Proces katalyzuje formyltransferasa (Ftr).

Formyl-tetrahydromethanopterin je přeměněn methenyl-H₄MPTcyklohydrolasou (Mch) na N⁵,N¹⁰-methenyl-H₄MPT, který je následně redukován methylen-H₄MPTdehydrogenasou (Mtd) na N⁵,N¹⁰-methylen-H₄MPT.

Další krok je redukce N⁵,N¹⁰-methylen-H₄MPT na N⁵-methyl-H₄MPT za katalýzy methylen-H₄MPT reduktasy (Mer) a koenzymu spotřeby F₄₂₀H₂. Následně je methylová

skupina na N⁵-methyl-H₄MPT přenesena na koenzym M za účasti katalyzátoru methyltransferasa (Mtr). Tento koenzym je 3. přenašeč v tomto procesu. Methyl-koenzym M je nakonec redukován na methan působením methyl-koenzym M reduktasy (Mcr) [14]. Sled těchto reakcí znázorňuje obr. 1.



Obr. 1. Schéma znázorňující průběh tvorby CH₄ z CO₂ a H₂ [14]

3.2. Funkční skupiny anaerobních mikroorganismů

Hydrolytické a fermentační (acidogenní) mikroorganismy

Mikroorganismy těchto skupin vykazují nejvyšší odolnost vůči změnám vnějších podmínek a rostou nejrychleji. Jsou odpovědné za první dvě fáze anaerobního rozkladu biologicky rozložitelného materiálu. Bakterie z těchto skupin produkují enzymy, které hydrolyzují organické látky jako je celulóza, pektin, hemicelulóza, nebo ostatní polysacharidy na menší molekuly. Tyto menší molekuly jsou pak schopné transportu do nitra buňky. Následnou fermentací těchto látek vznikají látky jako kyselina máselná, propionová a octová – nižší mastné kyseliny, dále pak ethanol, mléčná kyselina apod.

V anaerobních reaktorech převažují bakterie z čeledě *Streptococcaceae*, *Enterobacteriaceae* a z rodů *Bacteroides*, *Clostridium*, *Butyrivibrio*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* a *Lactobacillus*. Podmínky prostředí a stav substrátu jsou rozhodující faktory pro druh výchozího produktu. Je-li parciální tlak vodíku nízký, mohou být konečnými produkty kyselina octová, H_2 a CO_2 . Naopak při vyšších hodnotách tlaku vodíku jsou produkty například kyselina mléčná a ethanol.

Acetogenní mikroorganismy produkující vodík

Jejich činnost je velice úzce spjata s přítomností vodíku v prostředí. Vodík je inhibítorem růstu těchto bakterií, protože způsobuje redukci vnitrobuněčných elektronových přenašečů. Z tohoto důvodu je důležité vytvořit společenstvo s hydrogenotrofními mikroorganismy, které vodík spotřebovávají. Tato skupina bakterií katabolizuje organické kyseliny, alkoholy a některé aromáty (např. benzoovou kyselinu) na kyselinu octovou, CO_2 a H_2 .

Doposud bylo izolováno pouze několik druhů a není zatím známo, jaké mají požadavky na výživu.

Poměrně často se vyskytuje jako acetogenní bakterie *Syntrophobacter wollii* nebo také *Syntrophomonas wolfei* (má schopnost β -oxidovat mastné kyseliny se sudým počtem uhlíků na kyselinu octovou a H_2 nebo s lichým počtem uhlíků na kyselinu octovou, propionovou a H_2 ve společenství s methanogeny). *Syntrophus buswelli* je schopen rozkládat kyselinu benzoovou na kyselinu octovou a H_2 .

Homoacetogenní mikroorganismy

Další trofickou skupinou ekosystému jsou homoacetogenní mikroorganismy. Rostou na jedno i víceuhlíkatých substrátech. Z čistírenských kalů byly nejčastěji izolovány dva druhy těchto bakterií: *Clostridium thermoaceticum* (není schopná růst na jednoduhlíkatých substrátech) a *Acetobacterium woodii* (je schopna růstu na jedno i více uhlíkatých substrátech: hexosy, kyselina mléčná, H₂, CO₂, CH₃OH).

Desulfatační a denitrifikační bakterie

Jejich aktivita závisí na daných podmínkách. Jsou schopny růst na víceuhlíkatých substrátech a tvořit kyselinu octovou, H₂, sulfan a amoniak. To ale pouze v přítomnosti síranů nebo dusičnanů jako akceptorů elektronů. Podporují tedy methanogenezi tvorbou jejích substrátů.

V bioreaktorech se nejčastěji vyskytují organismy rodu *Desulfovibrio*, *Desulfotomaculum* a *Desulfobulbus*.

Vyšší koncentrací sulfidů mohou být inhibovány acetotrofní methanogeny. Inhibiční účinek síranů je možné objasnit i toxickými účinky vyšších koncentrací produktů – sulfidů na methanogenní organismy [12].

3.3. Možnosti intenzifikace procesu methanizace

Mikroorganismy účastníci se methanizačního procesu se vyznačují poměrně nízkou rychlostí růstu a také nízkou rychlostí odstraňování substrátu. Nejpomalejší reakce z procesu tvorby bioplynu je hydrolýza.

Z kinetického hlediska má systém několika reakcí, ať už souběžných nebo následných, konečná rychlost je limitovaná nejpomalejší reakcí v tomto systému. Takovou reakcí je hydrolýza makromolekulárních látek nebo také reakce rozkladu kyseliny propionové a máselné. Dále je rychlost procesu závislá na množství a kvalitě biomasy, proto je snahou docílit co nejvyšší koncentraci biomasy v reaktoru (ovšem s ohledem na optimální množství sušiny).

Zvýšení biologické rozložitelnosti s cílem zpřístupnit substrát enzymovému rozkladu lze dosáhnout následujícími opatřeními [7].

- Mechanické metody: desintegrace a mletí tuhých látek v substrátu. Tím dochází ke zvětšení jejich styčné plochy.
- Chemické metody: složité organické látky mohou být hydrolyzovány minerálními kyselinami nebo silnými bázemi.
- Fyzikální metody: termickou hydrolyzou lze rozložit pevné části substrátu na jednodušší organické sloučeniny.
- Enzymová nebo mikrobiální úprava: do budoucna velice nadějný proces zejména pro specifické substráty jako je například celulóza.

3.3.1. Stimulace buněčným lyzátem

Aktivovaný kal (z ČOV) vykazuje nepřilíš vysokou produkci bioplynu, což je příčinou celkové nižší rychlosti anaerobního rozkladu buněk mikroorganismů aktivovaného kalu. Tento jev je způsoben tím, že membrány ještě živých buněk odpadní biomasy znesnadňují přístup anaerobních mikroorganismů k substrátu. Buňky biomasy, respektive jejich rozložitelná část organické hmoty, tedy musí být zpřístupněny rozkladu kombinací buněčné lyze, hydrolyzy a endogenních rozkladných procesů. Buněčná membrána mrtvé buňky praskne vlivem autolýzy. Následně dojde k uvolnění části vnitrobuněčné organické hmoty do roztoku. Obsah buňky, který se takto neuvolnil do roztoku podléhá hydrolyze a následně se dostává do roztoku difúzí. Vnitrobuněčná hydrolyza je převážně způsobena vnitrobuněčnými enzymy. Zbylé nerozpuštěné látky a buněčná membrána jsou rozloženy extracelulárními enzymy anaerobní mikroflóry.

Buněčný lyzát je uvolněný obsah buněk v důsledku rozrušení buněčných stěn. Proces uvolnění lyzátu probíhá jednak přirozenou cestou – autolýzou nebo pomocí hydrolytických enzymů uvolněných do roztoku fermentačními bakteriemi nebo metodami mechanické destrukce.

Autolýza je samodestrukční proces, kdy enzymy buňky nebo její metabolity inhibují syntézu buněčné stěny. Nastává též při nedostatku živin.

Heterolýza je další způsob buněčné lyze. Zde je buněčná stěna narušována extracelulárními enzymy, antibiotiky nebo inhibitory jiné populace. Mikroorganismy s takto narušenou buněčnou stěnou již neudržují svou celistvost, tím pádem ani životnost.

Buněčný lyzát působí stimulačně na činnost a růst mikroorganismů a navíc sám obsahuje enzymy, které jsou potřebné k rozkladu organických látek. Stimuluje činnost skupin bakterií rozkládajících kyselinu mravenčí, propionovou, octovou a další.

Použitím lyzátu lze docílit zvýšení produkce bioplynu o 10-30 %, ovšem obsah methanu je stejný jako bez jeho použití.

Příprava buněčného lyzátu:

- Opakovaným zmrazováním anaerobní biomasy
- Rozrušení buněk mletím se skleněnými kuličkami
- Působením vysoké teploty a tlaku po dobu desítek sekund (180-200 °C)

Nejvyšší aktivitu vykazuje lyzát získaný mechanickými metodami destrukce buněk mikroorganismů, ovšem účinnost desintegrace není moc vysoká. Zcela neúčinnější je krátkodobé působení vysoké teploty, kdy je míra desintegrace buněk nejvyšší.

Očekává se přímé působení aktivních enzymů obsažených v lyzátu, zejména těch, které způsobují lyzi buněk mikroorganismů a hydrolýzu [7].

4. FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ ANAEROBNÍ PROCESY

4.1. Vliv pH

Koncentrace oxoniových kationtů H_3O^+ ovlivňuje biochemické procesy acidobazickými rovnováhami ať už organických nebo anorganických iontů vyskytujících se ve vodném prostředí.

Většině organismů anaerobní fermentace vyhovuje pH okolo 6,2-7,8. Pokles pH pod hodnotu 6,0 se projevuje inhibičními účinky, jelikož dochází ke vzrůstu koncentrace neionizovaných mastných kyselin. Naopak přesáhne-li pH hranici 7,6, je proces inhibován vyšší koncentrací neionizovaného amoniaku NH_3 . Dochází totiž k intoxikaci methanoprodukcujících mikroorganismů [7]. Při hodnotě pH 6,8 je zastaven proces oxidace amoniaku na dusičnany, což je výhodné při denitrifikačním procesu [15].

Dusík vázaný v proteinech v peptidových vazbách je anaerobním procesem převeden do podoby amoniových iontů, popřípadě amoniaku v závislosti na hodnotě pH [7].

Změna pH může být vyvolána i vnější příčinou jako je náhlý přítok enormně kyselého, či zásaditého substrátu.

Častější je však pokles pH vlivem přetížení anaerobního kalu (směsné mikrobiální populace v bioreaktoru), kdy je produkce nižších mastných kyselin mikroorganismů acidogenní fáze vyšší než jeho spotřeba v acetogenní a methanogenní fázi. Tím dojde k jejich kumulaci v systému s následkem poklesu hodnoty pH. Proto je nutné udržovat v médiu dostatečnou neutralizační kapacitu, aby nedošlo k zastavení methanogeneze.

4.2. Vliv složení substrátu

Dusík: Jako zdroj dusíku využívají methanogeny amonný iont s optimální koncentrací v oblasti hodnot 10^{-3} - 10^{-4} mol/l. Dalším zdrojem dusíku může být dusík pocházející z aminokyselin. Při nedostatku dusíku jsou methanogeny schopné vázat i molekulární dusík. V tomto případě je však růst 3x pomalejší než za přítomnosti amoniových iontů.

Síra: Pro růst methanogenních bakterií je potřebná síra, která může pocházet z nejrůznějších zdrojů, jako jsou siřičitany, thiosířany, sířany, síru obsahující aminokyseliny nebo elementární síra. Síra je tedy v nízkých koncentracích pro

methanogeny nezbytná. Optimum se nalézá v rozmezích $1-3 \cdot 10^{-3}$ mol/l. Při vyšších koncentracích a nízkém pH může nastat inhibice procesu methanogeneze.

Fosfor: Měl by být zastoupen v substrátu v poměru 100-150 : 1 ku uhlíku ve hmotnostních jednotkách. (150-100 g uhlíku na 1 g fosforu) [12].

Ionty kovů (Na, K, Mg, Ca, Al): Vysoké koncentrace soli mohou způsobit denaturaci buněk. K té může dojít vlivem osmotického tlaku. Toxicita solí je daná jejich kationty. Mírné koncentrace stimulují rychlost růst a vysoké koncentrace naopak růst zpomalují.

Ionty těžkých kovů (Cr, Fe, Co, Ni, Cu, Cd): U těchto kovů může dojít k akumulaci, následkem čehož jsou toxické. Jejich působením totiž dochází k narušení funkce potřebných enzymů. Mohou se vyskytovat ve zvýšených koncentracích v odpadních vodách, které lze využít jako substrát pro anaerobní fermentaci.

Organické látky: Vlivem nepolárních organických látek může dojít k lyzi bakteriálních buněk. Hydrofobní organické látky se ve vysokém stupni koncentrace akumulují na bakteriální membránu, následkem čehož membrána nabobtná a nakonec dojde k buněčné lyzi. Mezi organické látky nebezpečné pro anaerobní procesy (detergenty) patří například, benzen, halogenované alkoholy a fenol, ethery, ketony a pyridin [16].

4.3. Vliv teploty

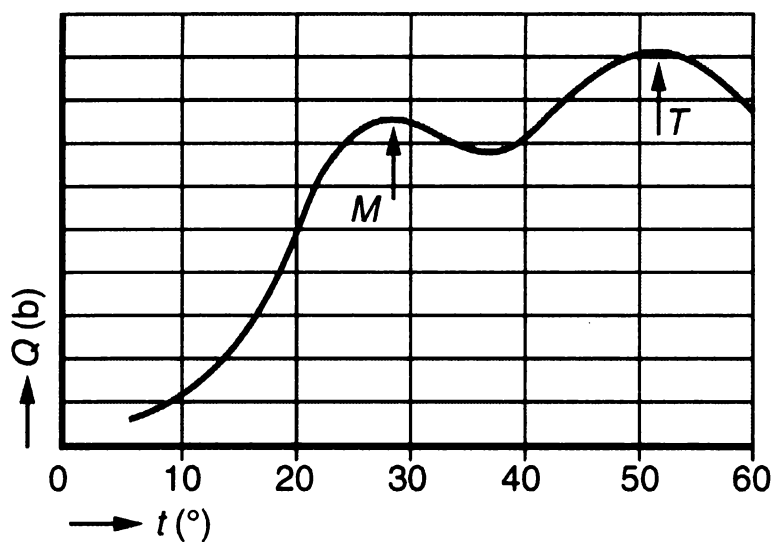
S rostoucí teplotou vzrůstá také rychlost všech procesů methanogeneze. Teplota ovlivňuje především interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. Se změnou teploty dochází též ke změně zastoupení jednotlivých druhů, což může zapříčinit porušení rovnováhy celého procesu. Obecně je lepší proces provádět při určité konstantní teplotě než při vyšší kolísavé teplotě. Vyšší teplota totiž není tak snadno udržitelná.

Mikrobiální tvorba methanu je zasazena do poměrně širokého teplotního rozmezí 4 – 97 °C. U čistých mikrobiálních kultur je teplotní optimum závislé na druhu organismu [12]:

- Psychofilní s teplotním optimem 10-20 °C
- Mezofilní optimum při teplotě 20-40 °C
- Termofilní vyžadující teploty okolo 55 °C
- Extrémně termofilní s optimem kolem 63-97 °C

Bioplyn vznikající v psychrofilní oblasti má vyšší obsah methanu ale malou intenzitu. Naopak nízký obsah methanu má bioplyn vzniklý v termofilní oblasti. Ovšem v této teplotní oblasti vykazuje produkce bioplynu vysokou intenzitu. Proces je však labilní a vyžaduje přísné dodržování teploty.

Většina anaerobních reaktorů tedy pracuje při teplotě 30-45 °C v mezofilní oblasti, část v termofilní oblasti [3]. Závislost produkce bioplynu na teplotě znázorňuje následující graf.



Obr. 2: Graf znázorňuje závislost produkce bioplynu na teplotě anaerobního fermentačního procesu [17].

5. ANAEROBNÍ ROZLOŽITELNOST A BILANCE ANAEROBNÍHO ROZKLADU ORGANICKÝCH LÁTEK

Anaerobní rozložitelnost je možná díky anaerobním mikroorganismům. Zajímavým procesem těchto mikroorganismů je reduktivní dehalogenace a deaminace při štěpení cyklických a aromatických látek. Dále pak rozklad aromátů nesoucích jinou funkční skupinu jako například hydroxylovou nebo karboxylovou. Bez přítomnosti těchto skupin není rozklad aromátů možný, protože mikroorganismy nedisponují dioxygenasami, jež jsou schopné rozkládat aromáty.

Rozložitelnost je v podstatě množství organického uhlíku přeměněného na bioplyn.

Maximální produkce methanu při 100% rozkladu substrátu se nazývá teoretickou substrátovou produkcí CH₄.

Pro nastartování procesu fermentace je důležité nechat aktivovat biomasu. Potřebná doba aktivace závisí na růstové rychlosti mikroorganismů a dále na rozložitelnosti látek [12].

Aby bylo možné vyjádřit anaerobní rozložitelnost, je třeba znát nějakou veličinu. pomocí níž látku definujeme. Je možné vycházet z hmotnosti látky, z obsahu organického uhlíku a jeho průměrného oxidačního čísla popřípadě z jeho chemické spotřeby kyslíku - **CHSK** [g/g] (CHSK vyjadřuje množství spotřebovaného oxidačního činidla). V tom případě je rozložitelnost vyjádřena jako množství organického kyslíku přeměněného na bioplyn z celkového množství organického kyslíku. Podmínky, za kterých stanovujeme rozložitelnost, jsou zvoleny pro limitní anaerobní rozklad, to znamená, že proběhly všechny fáze anaerobního rozkladu, látka je tedy spotřebovaná mikroorganismy s výslednými produkty CH₄ a CO₂.

Funkční anaerobní biomasu s obsahem široké škály aktivních mikroorganismů nazýváme **inokulem**. Nejvhodnější je inokulum s nízkým obsahem anorganického uhlíku a s co nejnižší produkcí plynu – endogenní. Jeho množství se uvádí jako sušina nerozpuštěných látek (NL) při teplotě 105 °C [7].

Z poznatků o anaerobních reaktorech různého typu vyplývá, že nejdůležitějším elementem je inokulum – jeho kvalita a množství. Nejlepším zdrojem inokula je reaktor zpracovávající týž substrát za stejných podmínek. Například inokulum pro čištění

odpadních vod je nevhodnější získat z reaktoru, který odpadní vody čistí. Není-li k dispozici takový druh inokula, je dobré použít inokulum z dobře fungujícího reaktoru zpracovávajícího podobný druh substrátu [18]. Obecně je dobré použít inokulum z více zdrojů, protože tím dostaneme širší spektrum mikroorganismů [12].

Produkční příspěvek inokula (PPI) je zvýšení produkce bioplynu substrátem nad teoretickou hodnotu vlivem rozkladu organických látek v inokulu, které jsou přítomny na počátku procesu.

5.1. Energetické stanovení substrátu

Substrát je možné z energetického hlediska popsat pomocí několika kritérií [7].

- Ekvivalentem dostupných elektronů obsažených v substrátu. To jsou ty, které lze převést při spalení na kyslík.
- Výpočtem množství ATP v molech syntetizovaných rozkladem jednoho molu substrátu.
- Porovnáním spalných tepel substrátu a produktů.

5.2. Terminologie popisu skladby organického substrát

Látky dělíme na dvě základní skupiny a to *veškeré látky VL* což jsou všechny organické a anorganické látky. Filtrací daného vzorku a následným vysušením tuhého zbytku při teplotě 105 °C získáme *látky nerozpuštěné NL*. Při tom může být odparek vyhodnocen jako *látky rozpuštěné RL*. Tyto RL lze též vypočítat pomocí vztahu:

$$RL = VL - NL$$

Obsah minerálních složek se zjišťuje gravimetricky analýzou zbytků po žihání v kelímcích při teplotě 550 °C. Nehodnotí se ovšem většinou *minerální látky ML*, ale obsah spalitelných látek vyjádřený *ztrátami žiháním ZZ*.

Měrné veličiny se nejčastěji vyjadřují vztahem na obsah VL, tedy v podstatě sušiny nebo na ZZ čili na obsah spalitelných organických látek.

Velmi významnou veličinou je *BSK-biologická spotřeba kyslíku*, protože je měřítkem organického znečištění vzorku. BSK je výsledkem metody, která stanovuje ve vodném vzorku obsah kyslíku a jeho snížení po proběhlé kultivaci [7].

Stupeň redukovatelnosti substrátu γ vyjadřuje bilanci elektronů substrátu, který má obecné složení: $C_xH_yO_z$, danou výrazem $\gamma = 4x + 1y - 2z$. Tento vzorec je vztažen na jeden atom uhlíku. Čím je vyšší γ , tím je vyšší i teoretická výtěžnost methanu [12].

6. KRITÉRIA DĚLENÍ ZAŘÍZENÍ PRO ZPRACOVÁNÍ BIOMASY A BIOODPADŮ

Biologicky rozložitelný materiál může být zpracováván buď **aerobně** v kompostárnách nebo **anaerobně** v bioplynových (fermentačních) stanicích.

Jedním z nejzásadnějších kritérií dělení systému na výrobu bioplynu je podíl sušiny v substrátu ve fermentorech a dále pak velikost tuhých látek.

6.1. Dělení procesu výroby bioplynu na suchou a mokrou fermentaci

Podle obsahu sušiny v substrátu dělíme fermentaci na tzv. mokrou a suchou. O mokré fermentaci, nebo také fermentaci v suspenzi, hovoříme v případě obsahu sušiny v rozmezí do 15-20 % (technologicky možná hranice je ale max. 12 %). Přesáhne-li obsah sušiny hodnotu 20 % jedná se už o suchou fermentaci. Oba typy se liší především v technologii konstrukce bioreaktorů (fermentorů).

V případě mokré fermentace je materiál nejdříve suspendován na požadovanou koncentraci sušiny. Reaktor pro mokrou fermentaci je vybaven míchadly nebo v nich cirkuluje kapalná frakce zajišťující míchání hydraulicky.

Obsah reaktoru na suchou fermentaci musí být rovněž promícháván. To je zajištěno buď mechanicky nebo pomocí pneumatického míchání.

Část zbylého materiálu je recyklována a použita jako inokulum pro čerstvou dávku.

Z celkového množství biologicky rozložitelného odpadu je zpracováváno 44 % mokrou cestou a 56 % suchou cestou [7].

6.2. Dělení podle způsobu dávkování substrátu

- **diskontinuální**, kdy doba jednoho cyklu odpovídá době zdržení materiálu ve fermentoru. Tento způsob dávkování se používá zejména při fermentaci tuhých látek.
- **semikontinuální**: doba mezi jednotlivými dávkami je kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Toto je nejčastěji používaný způsob dávkování. dá se lehce automatizovat. Materiál se dávkuje do fermentoru 1-4 krát (někdy i vícekrát)

za den. Toto postupné dávkování má pouze nepatrný vliv na změnu parametrů, při kterých fermentor pracuje, jako jsou teplota, homogenita substrátu, pH.

- **kontinuální** dávkování se používá při fermentaci tekutých organických odpadů, které mají nízký obsah sušiny.

6.3. Dělení podle druhu vstupu

- **Zemědělské bioplynové stanice (BPS)** s nejméně problematickými vstupy. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby jako jsou kejda, hnůj a plodiny, které se cíleně pěstují k energetickému využití [2]. Při fermentaci kejdy a hnoje má vliv na kvalitu a produkci bioplynu mimo jiné i způsob a kvalita stravování zemědělských zvířat [19].
- **Kofermentační BPS** zpracovávají zejména rizikové vstupy kupříkladu tuky, masokostní moučku, krev z jatečního dobytka, jateční odpady a kaly z čističek odpadních vod (ČOV). Kal vzniká při čištění odpadních vod, je to suspenze organických a anorganických látek. Kaly lze rozdělit do dvou skupin:
 - i) **Surové kaly** – z primární sedimentace
 - ii) **Stabilizované kaly** – které již nejsou biologicky rozložitelné, jelikož prošly procesem stabilizace, jež může být aerobní, **anaerobní** a tepelná. Anaerobní stabilizace, při níž vzniká bioplyn je nejrozšířenější.

Na tyto bioplynové stanice (kofermentační) jsou kladeny vyšší požadavky, jelikož některé zpracovávané odpady tohoto charakteru jsou tzv. vedlejšími živočišnými produkty [20], které podléhají zvláštním požadavkům na skladování a zpracování daným evropskou legislativou.

- **Komunální BPS** jsou zaměřeny na zpracování komunálních bioodpadů, zejména na ty, které pocházejí z údržby zeleně a z domácností jako vytríděný biologicky rozložitelný odpad, dále z restaurací a jídelen [2].

7. BIOPLYNOVÉ STANICE (BPS) – STRUKTURA JEJICH PRVKŮ

Všeobecně má strojní (technologická) linka pro anaerobní fermentaci organických substrátů mnoho variant podle toho, jaký materiál jakým způsobem zpracovává před vstupem do hlavní části zařízení, tedy do fermentoru (bioreaktoru). Různým způsobem může být také uspořádána kalová koncovka a lišit se může též způsob aplikace vyfermentovaných materiálů.

Organický materiál je shromažďován a poté je transportován do příjmové nádrže. Následně dochází k **úpravě materiálu**. Podle potřeby se materiál ředí nebo naopak zahušťuje, odstraňují se různé nežádoucí příměsi, předeřívá se, homogenizuje, inokuluje se-aktivuje se mikroflóra, automaticky se dávkuje do fermentoru [17]. Další uspořádání prvků bioplynových stanic se již liší v závislosti na tom, jedná-li se o fermentor na tuhý či tekutý materiál.

7.1. Fermentory na tekutý materiál (mokrý fermentace)

Fermentor (bioreaktor) je nejdůležitější součástí strojních linek rozhodující o funkci celého systému. Nejčastěji má válcový tvar a je zhotoven z betonu, kovu či plastu (často bývá alespoň z části zapuštěn do země).

Bioplynová koncovka je složena z potrubí dopravujícího bioplyn, bezpečnostního zařízení proti zpětnému zahoření bioplynu, dmychadla, zásobníku-plynojemu, zařízení na úpravu bioplynu, tím se rozumí jeho čištění od vody (tzv. sušení), oxidu uhličitého, sulfanu a mechanických nečistot. Dále obsahuje zařízení na konečné využití bioplynu (kogenerační jednotku) a hořák zbytkového plynu (tzv. fléru).

Kalová koncovka: sestává z dopravních čerpadel, homogenizátorů, separačních zařízení (spadová síta, šnekové lisy, dekantéry, rotační síta). Chemické nebo biologické čištění se uplatňuje zejména tam, kde tekuté frakce odtékají do blízkého toku. Jiná varianta je vynechání čištění a použití substrátu jako hnojiva.

7.2. Fermentory na tuhý materiál

Fermentor (bioreaktor): v této základní části anaerobního procesu dochází k rozmnožování mikrobiálních kultur. Pro efektivní funkci je zásadní udržet požadovanou teplotu. To se provádí ohřevem substrátu buď přímo ve fermentoru nebo mimo něj. Ve fermentoru slouží k ohřevu substrátu horká voda přiváděná do reaktoru systémem topných hadů. Ohřev substrátu mimo reaktor se provádí cirkulací reaktorové směsi přes tepelné výměníky, do nichž je přiváděna teplá voda. Tento druhý způsob také zajišťuje míchání směsi v reaktoru. K ohřevu vody slouží chladiče kogenerační jednotky [3].

7.3. Technologická spotřeba tepla

Tímto termínem rozumíme část bioplynu spotřebovanou na ohřev materiálu v reaktoru a také krytí tepelných ztrát. Tato spotřeba je nejvyšší u termofilních teplotních režimů. Závisí také na venkovní teplotě a době zadržení materiálu ve fermentoru. Technologická spotřeba tepla dosahuje 30-40% z celkového vyrobeného bioplynu. V případě, že je koncentrace sušiny v reaktoru menší než 3-5%, přesahuje technologická spotřeba množství vyrobeného bioplynu, proto musí být energie ve formě tepla dodávána z externích zdrojů.

Koncentrace sušiny může být u zemědělských bioplynových stanic zpracovávajících kejdu od hospodářských zvířat 4-8%. Při zpracování energetických plodin se koncentrace sušiny pohybuje mnohdy mezi 12 - 14% [3].

8. ANAEROBNÍ ROZKLAD ORGANICKÉHO ZNEČIŠTĚNÍ ODPADNÍCH VOD

Anaerobní zpracování kalů z čistíren odpadních vod v anaerobních reaktorech vedoucí k vývinu bioplynu a jeho využití v kogeneračních jednotkách, které vyrábějí elektrickou energii a teplo, je rozšířené u komunálních čistíren odpadních vod. V tomto případě se však jedná pouze o doprovodný proces při stabilizaci kalů.

Naopak u bioplynových stanic je veškerá technologie závislá na ekonomickém efektu. Vyšší produkce bioplynu je zde dosaženo vyšším obsahem sušiny ve vstupním substrátu, vyššími teplotami mezofilního procesu až okolo 42 °C, častým využitím termofilních procesů v poslední řadě také účinným mícháním fermentorů [1].

Rychlost rozkladu rozpuštěného znečištění až na methan a oxid uhličitý je mnohem vyšší než rychlost rozkladu tuhých odpadů. Tím pádem postačuje kratší doba zdržení materiálu v reaktoru.

Typ anaerobního reaktoru pro čištění odpadních vod závisí na

- Složení odpadních vod
- Koncentraci znečištění odpadních vod
- Teplotě odpadních vod
- Místních a ekonomických podmínkách

8.1. Anaerobní stabilizace kalů

Čistírenské kaly se zpracovávají methanizací, čímž se nejdokonaleji stabilizují-hygienizují. Současně dochází k úbytku organické hmoty uvolněním velké části organického uhlíku v plynné fázi formou CH₄ a CO₂ a uvolněním vody. Tímto procesem se snižuje také výskyt pathogenních mikroorganismů [9].

Hygienizační účinek je spojen s degradací organických látek v kalech. Vzrůstá mimo jiné s teplotou. Provozní pokus termofilní anaerobní stabilizace probíhající na ČOV Praha ukázal, že ve srovnání s mezofilní stabilizací má vyšší hygienizační efekt. Je ovšem třeba dodržet požadované parametry jako jsou doba zdržení a teplota v reaktoru [21].

Primární kal oddělený sedimentací ze surové vody je smíchán s aktivovaným kalem, který je oddělován od čisté vody v dosazovacích nádržích po předešlém čištění. Tato směs

je následně zahuštěna buď gravitačně v zahušťovacích nádržích nebo pomocí centrifugy, čímž vznikne surový kal, který je převeden do reaktorů pro anaerobní stabilizaci – do methanizační nádrže.

Složení a obsah sušiny v surovém kalu je závislé na původu kalu, druhu kanalizace, složení odpadních vod, typu a stupni mechanického čištění odpadních vod a na poměru mezi primárním a aktivovaným kalem.

Průměrný kal z městské čističky odpadních vod obsahuje zhruba 5% sušiny. Poměr organických ku anorganickým látkám je přibližně okolo 2:1, tento poměr po methanizaci klesne na 1:1 [22].

Při anaerobní stabilizaci dochází také k hygienizaci kalu, čímž je převážná část patogenů zničena. Tímto procesem je také odstraněn nepříjemný zápach surového kalu. Stabilizovaný kal je velmi dobrým prostředkem ke hnojení [9].

Proces anaerobní stabilizace kalů v ČOV je energeticky aktivní, protože dochází k produkci bioplynu. Energie získaná jeho spálením v kogenerační jednotce pokrývá energetické nároky na stabilizační proces (míchání, ohřev reaktorů). Nadbytečná energie dokonce celkově vylepšuje energetickou bilanci čističky odpadních vod.

V současnosti rozeznáváme dva druhy methanizace kalu. Normální-standardní s nízkým zatížením a rychlovyhřívací nebo-li vysoko zátěžovou. Při vysoko zátěžové mechanizaci se pracuje ve dvou stupních. V prvním dochází k vyhřívání, tedy k samotné methanizaci. Druhý stupeň slouží jako uskladňovací nádrž, kde dochází k dozrívání methanizačních pochodů a oddělování kalu od kalové vody.

8.1.1. Základní provozní parametry methanizační nádrže

8.1.1.1. Doba zdržení

Při stanovení doby se vychází z těchto požadavků:

- Dodržení dostatečné doby pro růst mikroorganismů. Čas potřebný pro růst jedné generace mikroorganismů aktivních při methanizaci je obvykle 7-10 dní. Pro stabilní provoz reaktorů by měla být doba zdržení rovna minimálně dvojnásobku generační doby mikroorganismů.
- Doba zdržení musí být tak dlouhá, aby došlo k rozložení požadovaného množství přivedených organických látek.

Doba zdržení má tedy svou dolní limitní hranici, kterou je dodržení generační doby. Pokud doba zdržení nedosáhne této hodnoty, dojde k vyplavení biomasy z reaktoru. Doba horní hranice je dána dosažením potřebné účinnosti rozkladu.

8.1.1.2. Vliv koncentrace kalu

Koncentrace vstupního materiálu ovlivňuje potřebný objem reaktoru a také ekonomiku reaktoru-ohřev balastní vody. Koncentrace surového kalu před vstupem do reaktoru je limitující parametr ovlivňující velikost reaktoru – jeho objem. Z těchto důvodů se zavádí metody pro zahušťování surového kalu před samotnou anaerobní fermentací [12,22].

8.1.1.3. Vliv teploty

Teplota musí být udržena na konstantní hodnotě, většinou okolo 30-40°C, což je optimum pro aktivitu mesofilních bakterií. Celý proces je velice citlivý na kolísání teplot, proto je důležité zajistit bioreaktoru zdrojem tepla a systém opatřit termostatem.

Vytápění reaktoru je možné zajistit mimo jiné také energií ze solárních panelů [23].

8.1.1.4. Míchání

Jeho účelem je udržení homogenního prostředí uvnitř reaktoru. Zabezpečuje dobrý kontakt aktivní biomasy s přivedeným substrátem, zamezuje lokálnímu přetížení, zajišťuje lepší odvod reakčních zplodin.

Míchání zajišťuje konstantní teplotu v celém prostoru reaktoru.

Zamezuje tvorbě sedimentu na dně reaktoru [24].

Všechny tyto parametry s výjimkou koncentrace kalu jsou společné pro jakýkoli druh bioplynových stanic.

9. MODELOVÝ POPIS BIOPLYNOVÉ STANICE ZPRACOVÁVAJÍCÍ KOMUNÁLNÍ ODPAD

Počátkem roku 2002 vešel v ČR v platnost nový zákon o odpadech. Ten v souladu s předpisy EU omezuje ukládání biologicky rozložitelných odpadů na skládky. Do roku 2010 bude možné uložit na skládky pouze 1 milion tun odpadu z celkového množství 3 mil. tun. Zbytek musí být energeticky využit. V některých zemích EU je tato vyhláška platná již několik let a komunální bioodpad je využíván anaerobní fermentací (díjecí) s produkcí bioplynu [25].

Pohyb biologicky rozložitelného odpadu v bioplynových stanicích probíhá následovně:

Veškerý komunální odpad je přetříděn na síť s velikostí ok 80x80 mm. Podsítná frakce tvoří 85 % přijatého množství odpadu. Následně je toto podsítná frakce důkladně rozmělněna a pásovým magnetem zbavena magnetických kovů a převedena do nádrže s cirkulující kapalinou. Kapalinou je obvykle voda, která je několikrát používána. Při přivedení nové dávky odpadu je vyměněno pouze 10 % vody za čistou. Mícháním se organické látky postupně rozmělní a vytvoří suspenzi, zatímco anorganické, jako je například plast, kameny, kovy, kosti, buď plavou na povrchu suspenze nebo sedimentují na dno nádrže. Tento anorganický podíl se odstraní až asi na 1 %, což není tak zásadní [26]. Hrubá frakce anorganického odpadu je ručně přetříděna a odvezena do spalovny a kovy do sběrný kovů [1].

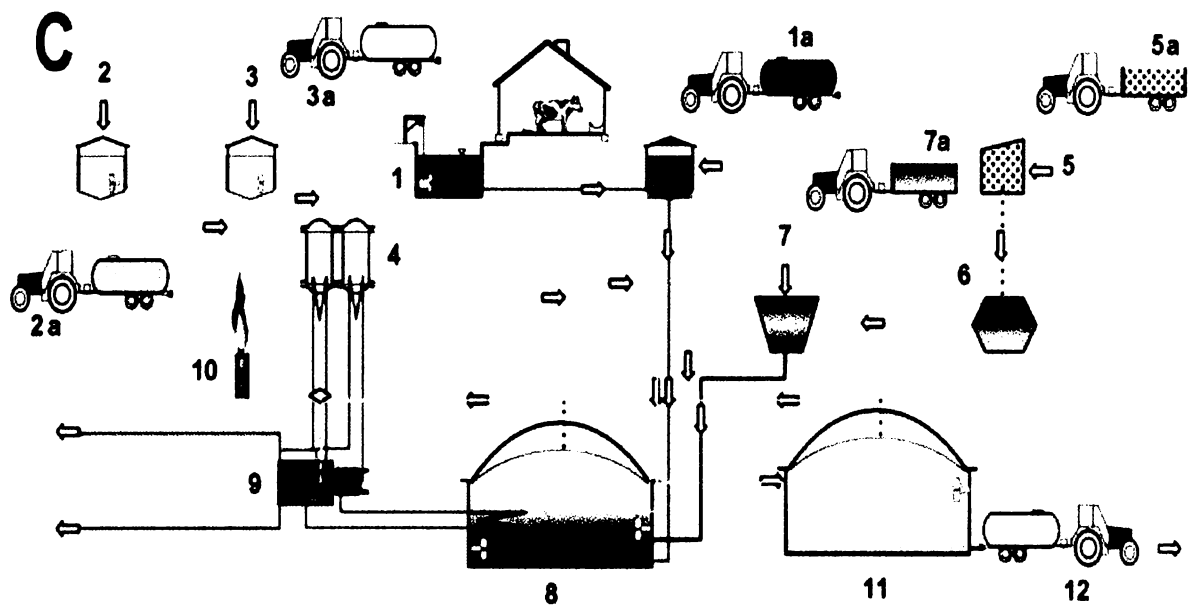
Po oddělení nerozložitelných látek putuje suspenze do pasterizačního (hygienizačního) tanku, kde se zdrží nejméně hodinu při teplotě 70 °C. Ještě teplá je přečerpána do fermentoru, kde dojde k naočkování (inokulaci) vhodnou bakteriální kulturou, tím dochází k rychlému nástupu procesu fermentace. Fermentor je buď jeden nebo dva s propojeným integrovaným plynojemem nebo s externím plynojemem. Teplota v prvním fermentoru bývá 37°C a ve druhém 55°C. Vytápění obou bioreaktorů je zajištěno teplem vznikajícím při spalování bioplynu. V létě je potřeba tepla pro vyhřívání nižší díky izolaci fermentačních nádrží z 50 cm tlusté polyuretanové pěny.

Doba zdržení substrátu uvnitř fermentorů je minimálně po 14 dnech v každém, čili celkově nejméně 28 dní (záleží na anaerobní rozložitelnosti zpracovávaných materiálů).

Po 28 dnech je stabilizovaná hmota odvodněna a pevný podíl je uložen v anaerobních podmínkách, kde pomalu dozrává 6 týdnů. Výsledný produkt (fermentát, digestát) je dodáván zemědělcům jako kvalitní hnojivo [1].

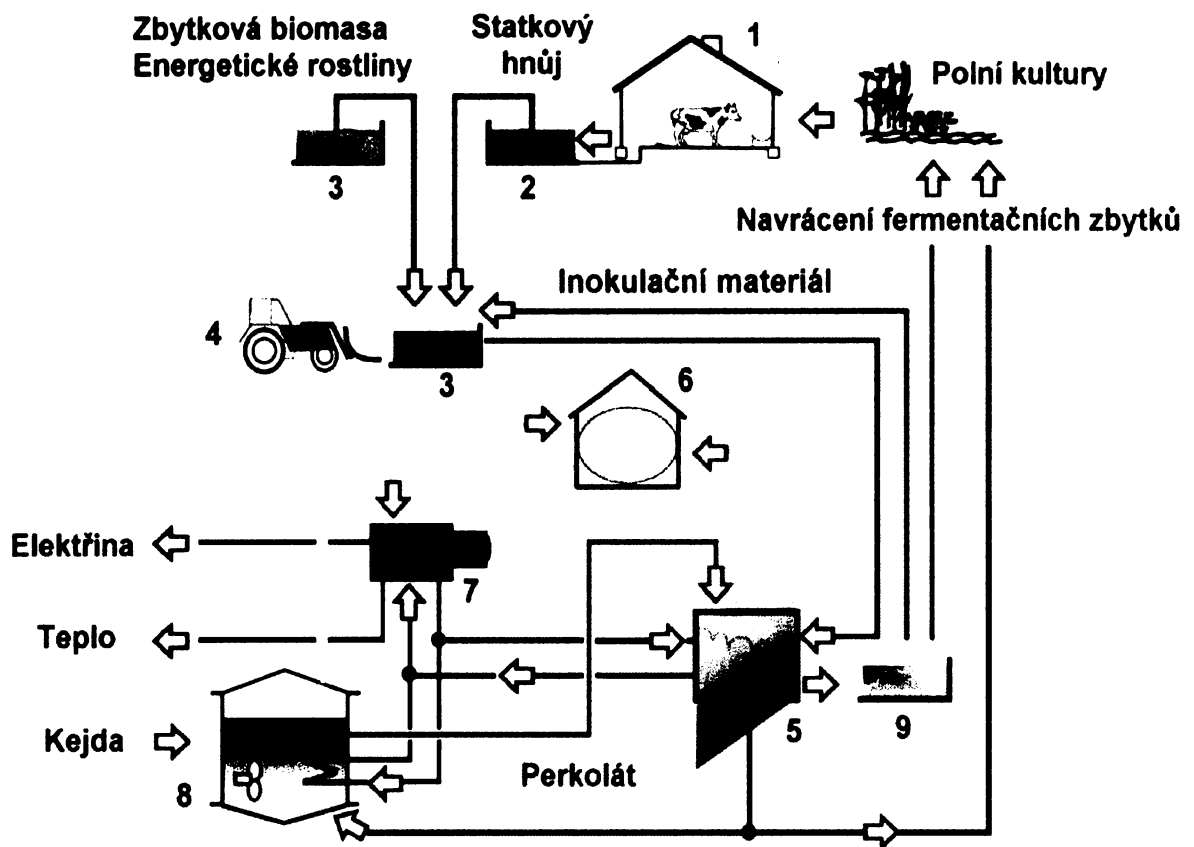
Denní produkce bioplynu je zhruba okolo 3500 – 4000 m³. Bioplyn je ochlazen, vysušen a poté spalován v kogeneračních jednotkách. Teplo z kogenerační jednotky je následně použito k ohřevu vody prostřednictvím tepelných výměníků [5].

Možná typická uspořádání bioplynových stanic jsou uvedena na následujících obrázcích 3 a 4.



Obr.3.: Schéma univerzální bioplynové stanice [17]

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



Obr. 4.: Kombinovaný systém zemědělské bioplynové stanice pro zpracování tuhých materiálu zředěných nebo vyluhovaných stacionární pracovní tekutinou – perkolátem [17]

1 – stáj, 2 – kejda, nebo statkový hnůj, 3 - zbytková, nebo záměrně pěstovaná biomasa, 4 – nakladač, nebo traktor s radlicí, 5 – pracovní komora na suchý materiál, 6 – plynojem, 7 – kogenerační jednotka, 8 – fermentor (zásobník perkolátu) s možností přímého vstupu kejdy, 9 – plato na vyfermentovaný digestát

10. LEGISLATIVNÍ ROZDĚLENÍ BIOODPADŮ A PRÁCE S NIMI

Nařízení Evropského parlamentu a rady č. 1774/2002 stanovuje hygienizační pravidla týkající se vedlejších živočišných produktů, které nejsou určeny pro lidskou spotřebu. Dále pak dělí tyto materiály, jež můžeme považovat za bioodpad, do tří kategorií.

- Materiály I. kategorie: mezi ně se řadí veškeré části těl včetně kůží, nakažená zvířata, kuchyňský odpad z dopravních prostředků mezinárodní dopravy. Tyto odpady patří mezi nejvíce rizikové.
- Materiály II. kategorie: sem zahrnujeme veškeré vedlejší živočišné materiály jako je hnůj, kejda, zvířata usmrcená jinak než porážkou.
- Materiály III. kategorie: části poražených zvířat, které jsou požitelné, ale neprodejné, nepoživatelné ovšem nenakažené kusy zvířat, kopyta, krev, mléko, ryby, skořápky.

Materiály II. a III. Kategorie mohou být zpracovávány také v bioplynových stanicích nebo jsou kompostovány. Tato zařízení na zpracování odpadů podléhají schválení příslušným orgánem (státní autority).

V bioplynových stanicích musí být zajištěno oddělení materiálů jednotlivých kategorií. Musí být stanoveny kritické kontrolní body vymezující rozsah tepelného zpracování. Bioplynová stanice musí obsahovat hygienizační jednotku s teploměrem kontinuálně měřícím a zaznamenávajícím teplotu a bezpečnostním systémem. Dopravní prostředky dovážející odpad určený k fermentaci musí být při výjezdu ze zařízení dezinfikovány.

Materiály III. kategorie musí podléhat následujícím požadavkům [27]:

- maximální velikost částic před vstupem do jednotky do 12 mm
- maximální teplota všech materiálů v jednotce 70°C
- minimální doba ošetření materiálu v jednotce bez přerušení 60 min.

11. SOUHRN

Smyslem této práce je zhodnotit současný způsob zpracování a využití odpadu, který je velkým problémem moderní civilizace. Jeho využití cestou anaerobní fermentace může významně přispět k řešení úbytku zásob fosilních paliv, na kterých je současný průmysl závislý.

12. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Ust'ak, S.: Energetické a průmyslové rostliny IV. Sborník referátů z odborné konference-Chomutov, CZ Biom, Praha (2000)
- [2] Bačík, O.: Odpadové Fórum (12), 10 (2007)
- [3] Dohányos, M., Pastorek, Z., Příbyl, E.: Výroba a využití bioplynu v zemědělství, VÚZT (Výzkumný ústav zemědělské techniky) Praha (2007)
- [4] Murtinger, K., Beranovský, J.: Energie z biomasy, ERA, Praha (2006)
- [5] Jírovský, Z.: osobní sdělení
- [6] Čičmanec, S.: Slovgas (5), 24 (2008)
- [7] Straka, F., Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P., Dědek, J., Malijevský, A., Novák, J., Oldřich, J., Kunčarová, M.: Bioplyn, příručka pro výuku, projekci a provoz bioplynových systémů II. rozšířené a doplněné vydání, GAS s.r.o., Praha (2006)
- [8] Dupot, L., Accorsi, A.: J. Hazard. Mater., 136, 520 (2006)
- [9] Holm-Nielsen, J., B., Seadi., T., A., Oleskowicz-Popiel, P.: Bioresour. Technol., 99, 1 (2008)
- [10] Ochotek, T., Koloničný, J., Branc, M.: Metodická příručka ke studii „Technologie pro přípravu a energetické využití biomasy“, skriptum Technické university Ostrava, str. 15 (2007)
- [11] Bouallagui, H., Touhami, Y., Hamdi, M.: Process Biochem., 40, 990 (2000)
- [12] Dohányos, M., Zábranská, J., Jeníček, P.: Anaerobní technologie v ochraně životního prostředí, skriptum VŠCHT v Praze, str. 16-20, 30-32 (1996)
- [13] Acharya, P., Warkentin, E., Ermler, U., Thauer, R., K., Shima, S.: J. Mol. Biol., 357, 871 (2006)
- [14] Shima, S., Warkentin, E., Thauer, R., K., Ermler, U.: J. Biosci. Bioeng., 93, 519 (2002)
- [15] Župančič, G., D., Roš, M.: Bioresour. Technol., 99, 108 (2008)
- [16] Chen, J., Cheng, J., J., Creamer, K., S.: Bioresour. Technol., 99, 4049 (2007)
- [17] Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P.: Biomasa-obnovitelný zdroj energie, FCC Public, Praha (2004)
- [18] Xing, J., Criddle, C., Jockey, R.: Water Res., 31, 2196 (1997)

- [19] Šarapatka, B.: Bioresour. Technol. 49, 19 (1994)
- [20] Kuraš, M. a kol., Odpady, jejich využití a zneškodnění, skriptum VŠCHT Praha, str. 86 (1994)
- [21] Dohányos, M., Zimová, M.: Hygienizace kalů, skriptum VŠCHT Praha, str. 65-66,70 (2001)
- [22] Palát, J.: osobní sdělení
- [23] Alkhaims, T., M., El-khazali, R., Kablan, M., M., Alhusein, M., A.: Sol. Energy,69, 246 (2000)
- [24] Ward, A., J., Hobbs, P., J., Holliman, P., J., Jones, D., L.: Bioresour. Technol. 99, 7929 (2008)
- [25] Váňa, J.: Biom (15) 12 (2002)
- [26] Sladký, V.: Odpadové Fórum (11), 30 (2005)
- [27] http://www.agronavigator.cz/UserFiles/Agronavigator/Kvasnickova_2/Narizeni_EU_1774_2002.pdf

Svoluji k zapůjčení této práce pro studijní účely a prosím, aby byla řádně vedena evidence vypůjčovatelů.

Jméno a příjmení s adresou	Číslo OP	Datum vypůjčení	Poznámka