



MOŽNOSTÍ ZVÝŠENÍ VÝROBY BIOPLYNU NA STÁVAJÍCÍCH ZAŘÍZENÍCH

ev.č. 222004 6194

**Ing. Miroslav Kajan
Mgr. Richard Lhotský**
ENKI, o.p.s.
Dukelská 145
379 01 Třeboň

Listopad 2006



Publikace je určena pro poradenskou činnost a je zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů energie pro rok 2006 – část A.

1. ÚVOD.....	2
2. VÝROBA A VYUŽITÍ BIOPLYNU	5
2.1 ZÁKLADY ANAEROBNÍCH PROCESŮ	5
2.2 FAKTORY LIMITUJÍCÍ ANAEROBNÍ PROCESY A JEJICH TECHNOLOGICKÝ VÝZNAM	9
2.3 VÝROBA BIOPLYNU	11
2.4 VYUŽITÍ BIOPLYNU.....	14
3. SOUČASNÝ STAV VÝROBY A VYUŽITÍ BIOPLYNU V ČR	20
3.1 SKLÁDKY	23
3.1.1 <i>Popis</i>	23
3.1.2 <i>Současný stav</i>	26
3.2. PRŮMYSLOVÉ BIOPLYNOVÉ STANICE	30
3.2.1 <i>Popis</i>	30
3.2.2 <i>Současný stav</i>	33
3.3. ZEMĚDĚLSKÉ BIOPLYNOVÉ STANICE	36
3.3.1 <i>Popis</i>	36
3.3.2 <i>Současný stav</i>	38
3.4. KOMUNÁLNÍ ČOV.....	40
3.4.1 <i>Popis</i>	40
3.4.2 <i>Současný stav</i>	44
4. PŘEHLED INTENZIFIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ	47
4.1 TERMICKÁ HYDROLÝZA	51
4.1.1 <i>Popis technologie</i>	52
4.1.1.1 Rychlá termická kondicionace biomasy na ČOV Klatovy	52
4.1.1.2 Termická hydrolýza - systém CAMBI	56
4.1.2 <i>Příklad použití</i>	59
4.1.3 <i>Shrnutí a reference</i>	62
4.2 ULTRAZVUKOVÁ DESINTEGRACE	65
4.2.1 <i>Princip metody</i>	65
4.2.2 <i>Příklad použití</i>	73
4.2.2.1 Referenční výzkum ve Freisingu	73
4.2.2.2 Welsberg.....	75
4.2.3 <i>Shrnutí a reference</i>	78
4.3 LYZÁTOVACÍ ODSTŘEDIVKA.....	81
4.3.1 <i>Princip technologie</i>	81
4.3.2 <i>Příklady použití</i>	91
4.3.2.1 Provozní ověření lyzace na ČOV Liberec.....	91
4.3.2.2 Provozní ověření lyzace na ČOV Fürstenfeldbruck (Německo).....	94
4.3.3 <i>Shrnutí a reference</i>	97
4.4 TERMOFILIE.....	99
4.4.1 <i>Princip vlivu teploty na anaerobní procesy</i>	99
4.4.2 <i>Příklad použití</i>	104
4.4.2.1 ÚČOV Praha.....	104
4.4.2.2 ČOV Plzeň.....	111
4.4.3 <i>Shrnutí a reference</i>	115
5. ZÁVĚR.....	117

1. Úvod

Česká republika si stanovila národní indikativní cíl do roku 2010 dosáhnout 8 % podíl výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů z celkové spotřeby elektrické energie. Podle statistických údajů Ministerstva průmyslu České republiky činila v roce 2005 hrubá výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů 4,5 % tuzemské hrubé spotřeby elektřiny tj. 3 133,5 GWh. Nárůst v porovnání s minulým rokem je o 390,6 GWh (14,2 %). Absolutně největší podíl představuje elektrická energie vyrobená ve vodních elektrárnách 2370,3 GWh (75,9 %). Na druhém místě je s 560,2 GWh (17,9 %) elektřina vyráběna spalováním biomasy (rostlinné materiály, pelety, celulózové výluhy, štěpka apod.). Třetí v pořadí je elektrická energie vyrobená z bioplynu, 160,8 GWh (5,1 %). Celkový podíl vyrobené elektřiny ve větrných elektrárnách, fotovoltaických systémech a spalováním tuhých komunálních odpadů je přibližně 1 %.

Má se zato, že v budoucnu se podíl elektrické energie vyrobené v hydroelektrárnách nad 10 MW instalovaného elektrického výkonu, nebude již výrazně zvyšovat. Tyto elektrárny v roce 2005 představovali přes 55 % elektřiny vyrobené ve vodních elektrárnách.

Většímu rozšíření větrných elektráren v ČR brání nedostatek vhodných lokalit. Vzhledem k větrnostním podmínkám se na většině území předpokládá jejich roční využití v rozmezí 1000 – 2000 hodin. Podle statistických údajů MPO ČR bylo využití větrných elektráren v roce 2005, 14,8% tj. 1230 hodin.

U fotovoltaických systémů, kromě vhodných lokalit, jsou omezujícím prvkem (minimálně současným) vysoké investiční náklady, které zatím výrazně převyšují náklady u ostatních obnovitelných zdrojů energie.

Vzhledem k uvedeným skutečnostem se očekává největší nárůst výroby elektrické energie z biomasy. Jednak spalováním, resp. spalováním biomasy a jednak transformací biomasy anaerobní fermentací na bioplyn.

Anaerobní fermentací je možné zpracovávat širokou škálu organických materiálů. V úvahu připadá cíleně pěstovaná biomasa a odpadní organické suroviny (zemědělské odpady, biologicky rozložitelné komunální – BRKO a průmyslové odpady – BRPO, kaly z čistíren odpadních vod atd.). Výhodou anaerobní fermentace je možnost zpracovávání organických látek o relativně nízké sušině 3 – 35 % a jejich vzájemná kofermentace. Navíc vznikající nerozložený zbytek zpracovávané suroviny – digestát, je možné použít k recyklaci živin – hnojení.

Česká republika resp. bývalé Československo má dlouholetou tradici v technologii anaerobní fermentace organických látek včetně využití vznikajícího bioplynu. První čistírny odpadních vod s anaerobní stabilizací kalu a energetickým využitím vznikajícího bioplynu, byly v České republice v provozu již v polovině minulého století. V současnosti se na všech zařízeních ročně vyrábí více než 150 milionů m³ bioplynu. To představuje ekvivalent kolem 100 milionů m³ zemního plynu. Podle převažujícího zdroje zpracovávaného substrátu můžeme tato zařízení rozdělit do čtyř základních skupin:

- Skládkové bioplynové stanice – skládky
- Průmyslové bioplynové stanice
- Zemědělské bioplynové stanice
- Bioplynové stanice komunálních čistíren odpadních vod

V současnosti největší produkce bioplynu a jeho využití k výrobě elektrické energie je ze skládek, cca 49 % z celkové výroby elektrické energie z bioplynu. Druhým největším producentem s 44 % vyráběné elektrické energie jsou komunální čistírny odpadních vod s anaerobní fermentací kalů. Zemědělské bioplynové stanice představují 5% z celkové vyrobené elektrické energie z bioplynu a zbytek, cca 2 % je z bioplynových stanic zpracovávajících průmyslový organický odpad.

Zvýšení produkce bioplynu a následné výroby elektrické energie a tepla je možno dosáhnout dvěma způsoby, případně jejich kombinací:

- výstavbou nových zařízení
- zvýšením výroby na stávajících zřízeních

Vzrůstající celosvětový zájem o obnovitelné zdroje energie v průběhu posledních desetiletí, akceleroval výzkum a vývoj v této oblasti, nevyjímaje oblast výroby a využití bioplynu. Výsledkem je vznik celé řady nových technologií a postupů. To je spolu s různými formami finanční a legislativní podpory výroby energií z obnovitelných zdrojů důvodem k jejich ekonomicky opodstatněným provozním aplikacím. Vzhledem k tomu, že značná část zařízení na výrobu bioplynu byla v České republice uvedena do provozu před několika desetiletí, v době kdy tyto podpory neexistovaly a technologie nebyly provozně „vyzrálé“ je opodstatněný důvod k aplikaci těchto technologií na stávajících zařízeních. Většina z existujících zařízení na výrobu bioplynu, hlavně anaerobní fermentace čistírenských kalů, byla v České republice postavena před rokem 1989. To znamená, že po stavební i technologické stránce jsou hodně unifikovaná. To dává určitou výhodu v tom, že úspěšná intenzifikace konkrétního zdroje, může být relativně snadněji uplatněná u dalších zařízeních.

Z výsledků studie „Databáze výrobců a uživatelů bioplynu v ČR“, zpracovávanou pro Českou energetickou agenturu v roce 2004, vyplývá poměrně značný intenzifikační potenciál stávajících zařízení. Možnosti intenzifikace jsou hlavně ve zvýšení látkového zatížení reaktorů a předúpravě zpracovávaných surovin.

Vhodnou intenzifikací je obecně na většině stávajících zařízeních možno dosáhnout zvýšení výroby bioplynu bez výstavby nových reaktorů, plynojemů a kogeneračních zařízení na výrobu elektrické energie a tepla, tj. položek které představují nejvyšší investiční náklady pro výrobu bioplynu.

Tato studie se zaměřuje na posouzení možnosti aplikace již provozně, v tuzemsku nebo v zahraničí, ověřených technologií na zvýšení biologické rozložitelnosti vstupního materiálu (fyzikální, chemická, mechanická nebo biologická dezintegrace). Dále vlivu zvýšení teploty fermentace z dosud nejčastěji mezofilní oblasti fermentace na termofilní a možnosti kofermentace různých vstupních surovin. Práce se nezabývá zlepšením energetické bilance bioplynových zařízení zvyšováním vstupní koncentrace zpracovávaného substrátu zahušťováním, jelikož se jedná o všeobecně rozšířenou technologii.

2. Výroba a využití bioplynu

2.1 Základy anaerobních procesů

Anaerobní methanová fermentace organických materiálů - *methanizace* - je souborem procesů při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a nerozložený zbytek organické hmoty, který je již z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí, tj. je již stabilizován.

Methanová fermentace je tedy soubor několika dílčích, na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. Produkt jedné skupiny mikroorganismů se stává substrátem skupiny druhé, a proto výpadek jedné skupiny může způsobovat poruchy v celém systému.

V prvním stádiu rozkladu - **hydrolýze** - jsou rozkládány makromolekulární rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) na nízkomolekulární látky rozpustné ve vodě pomocí extracelulárních hydrolytických enzymů, produkovaných hlavně *fermentačním bakteriemi*. Vznikající nízkomolekulární látky jsou na rozdíl od vysokomolekulárních schopny transportu dovnitř buňky.

Produkty hydrolýzy, nízkomolekulární látky, jsou uvnitř buňky během druhé fáze - **acidogeneze** - rozkládány dále na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO_2 , H_2). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukovaných produktů, které jsou závislé na charakteru počátečního substrátu a na podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, H_2 a CO_2 , při vyšším jsou tvořeny vyšší organické kyseliny, mléčná kyselina, etanol apod.

V dalším stádiu rozkladu - **acetogenezi** - probíhá oxidace těchto látek na H_2 , CO_2 a kyselinu octovou. Ta je také tvořena acetogenní respirací CO_2 a H_2 homoacetogenními mikroorganismy. Účast *acetogenních mikroorganismů produkujících vodík* na rozkladu je nezbytná, poněvadž katabolizují propionovou kyselinu a ostatní organické kyseliny vyšší než octovou, alkoholy a některé aromatické sloučeniny.

V posledním stadiu - **methanogenezi** - dochází pomocí methanogenních mikroorganismů k rozkladu jejich substrátů, kterými jsou některé jednoduhlíkaté látky (metanol, kyselina mravenčí, methylaminy, CO_2 , CO , H_2) a kyselina octová.

Methanogenní mikroorganismy jsou nejdůležitější trofickou skupinou, mají vysoce specifické požadavky na substrát i životní podmínky a vedle acetogenů zpracovávajících kyselinu propionovou se často stávají limitujícím faktorem celého procesu. Podle substrátové specifity je možno je rozdělit na pouze *hydrogenotrofní*, pouze *acetotrofní* a obojetné.

Acetotrofní methanogenní bakterie mají v procesu velmi důležitou úlohu, protože jejich působením vzniká více jak 2/3 methanu v bioplynu. Rozkládají kyselinu octovou na směs methanu a oxidu uhličitého. Jsou schopny udržovat pH fermentačního média, protože odstraňují kyselinu octovou a produkují CO_2 , ale ve srovnání s hydrogenotrofními methanogeny pomaleji rostou (generační doba několik dnů).

Hydrogenotrofní methanogenní bakterie produkují methan z vodíku a oxidu uhličitého. Rostou poměrně rychle, jejich generační doba je cca 6 hodin. V anaerobním procesu tyto vodíkové methanogeny působí jako samoregulátor. Odstraňují ze systému téměř všechny vodík. Koncentrace vodíku v kapalně fázi při dobré činnosti hydrogenotrofních methanogenních bakterií by měla být minimální, akumulace vodíku v plynu je způsobena buď přetížením anaerobního reaktoru, nebo inhibicí těchto methanogenů.

Citlivost jednotlivých bakterií na přítomnost vodíku je dána energetickou výtěžností jejich základní metabolické reakce. Z tohoto hlediska jsou vodíkem nejvíce ovlivňovány acetogenní bakterie rozkládající kyselinu propionovou a máselnou. Pro ně je životně důležitá nejenom přítomnost hydrogenotrofních organismů, ale i těsná blízkost jejich buněk, aby docházelo k co nejrychlejšímu mezidruhovému transportu vodíku.

Stanovení maximální teoretické výtěžnosti methanu

Výtěžnost methanu závisí na druhu substrátu, zejména na jeho oxidačním stupni, tj. na množství dostupných elektronů, které má molekula substrátu k dispozici. Měřítkem oxidačního stupně organické látky je např. průměrné oxidační číslo uhlíkového atomu POXČ.

Čím je POXČ nižší, tím je výtěžnost methanu vyšší. Mezní hodnoty dosahují sloučeniny CO_2 ($\text{POXČ} = +4$) a CH_4 ($\text{POXČ} = -4$). Z hmotnostně energetické bilance procesu vyplývá, že POXČ je úměrné teoretické chemické spotřebě kyslíku dané látky vztažené na množství organického uhlíku: $\text{POXČ} = 4 - 1,5 \cdot \text{CHSK} / \text{C}_{\text{org}}$.

Z hmotnostně energetické bilance procesu vyplývá, že teoretická hodnota CHSK vzniklého methanu je rovna teoretické CHSK původního substrátu. Z toho plyne, že maximální teoretická výtěžnost methanu je daná vztahem:

$$\text{CHSK}_{\text{substrátu}} = \text{CHSK}_{\text{methanu}} \quad (1)$$

Skutečná výtěžnost methanu je nižší, protože: a) CHSK zahrnuje i část CHSK biologicky nerozložitelnou, b) část CHSK se spotřebuje na růst nové biomasy.

Přesnější je bilance odstraněné CHSK:

$$\text{CHSK}_{\text{odstraněná}} = \text{CHSK}_{\text{methanu}} + \text{CHSK}_{\text{biomasy}} \quad (2)$$

kde:

$\text{CHSK}_{\text{odstraněná}}$ - skutečně odstraněná (tj. biologicky rozložená) část substrátu v průběhu methanizace

$\text{CHSK}_{\text{methanu}}$ - množství vzniklého methanu vyjádřeno v CHSK

$\text{CHSK}_{\text{biomasy}}$ - představuje část substrátu spotřebovanou na růst a krytí energetických nároků biomasy.

Ze vztahu (2) můžeme na základě provedeného pokusu stanovit produkci biomasy.

Maximální teoretickou výtěžnost methanu vyjádřenou jako hmotnostní množství methanu na hmotnostní jednotku přivedeného substrátu $Y_{\text{CH}_4/\text{s}}$ spočítáme ze stanovené nebo vypočítané CHSK podle vztahu:

$$Y_{\text{CH}_4/\text{s}} = 0,25 \text{ CHSK } [\text{g g}^{-1}], (\text{CH}_4, \text{ substrát})$$

Pro rychlejší orientaci v přepočtech methanu a CHSK jsou uvedeny v tabulce 2.1 přepočtové koeficienty:

Tabulka 2.1: Přepočtové koeficienty mezi CH₄ a CHSK

1 mol CH ₄	2 moly O ₂ 64 g CHSK 22,4 l *)
1 g CHSK	0,25 g CH ₄ 0,35 l CH ₄ *)
1g CH ₄	4 g CHSK 1,4 l *)
1 l CH ₄	2,857 g CHSK

*) za standardních podmínek

Výpočet teoretické koncentrace methanu v bioplynu

Z hmotnostně energetické bilance procesu vyplývá, že při znalosti POXČ nebo CHSK a obsahu organického uhlíku zpracovávaného substrátu můžeme vypočítat koncentraci methanu v bioplynu podle vztahu:

$$\% \text{CH}_4 = 18,75 \text{ CHSK} / C_{\text{org}}$$

nebo při znalosti POXČ substrátu:

$$\% \text{CH}_4 = \frac{4 - \text{POXČ}}{8} \cdot 100$$

Při výpočtu skutečné koncentrace methanu v bioplynu je nutno provést korekci na CO₂ rozpuštěný nebo vázaný v kapalně fázi fermentační směsi. Rozpustnost methanu ve vodě je zanedbatelná.

V případě přítomnosti dalších prvků v molekule substrátu, např. dusíku a síry, které v oxidoredukčních reakcích jsou akceptory volných elektronů, dochází ke snížení množství volných elektronů pro tvorbu methanu a tím ke snížení výtěžnosti methanu. V případě přítomnosti významnějšího množství dusitanů, dusičnanů nebo sloučenin síry v substrátu je nutno výtěžnost methanu korigovat o kyslíkový ekvivalent uvedených sloučenin. Maximální produkce methanu z obecného substrátu je pak dána vztahem:

$$Y_{CH_4/s} = 0,25 (CHSK - N - S) \text{ [g g}^{-1}\text{]}, (CH_4, \text{ substrát})$$

nebo

$$Y_{CH_4/s} = 0,35 (CHSK - N - S) \text{ [l g}^{-1}\text{]}, (CH_4, \text{ substrát})$$

kde

N - je kyslíkový ekvivalent dusičnanového a dusitanového dusíku,

$$N = 2,86 (NO_2\text{-N} + NO_3\text{-N}) \text{ [g]} \text{ (O}_2, \text{ CHSK)};$$

S - je kyslíkový ekvivalent síry,

$$S = 2 (S_{\text{celková}}) \text{ [g]} \text{ (O}_2, \text{ CHSK)};$$

2.2 Faktory limitující anaerobní procesy a jejich technologický význam

Anaerobní rozklad organických látek je ovlivňován řadou faktorů, které buď mění přímo životní prostředí mikroorganismů (což je např. teplota, pH, nutrienty, toxické látky), nebo musí být brány v úvahu při návrhu a posuzování anaerobního reaktoru.

Vliv teploty. Teplota ovlivňuje anaerobní procesy podobně jako všechny ostatní biochemické procesy, tj. s rostoucí teplotou vzrůstá rychlost všech probíhajících procesů. Teplota podstatně ovlivňuje interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. Odezva mikroorganismů na změnu teploty je u všech druhů kvalitativně stejná, avšak kvantitativně může být úplně odlišná. To znamená, že změnou teploty se mění rychlosti probíhajících pochodů, což má za následek porušení dynamické rovnováhy procesu, a může vést až k úplné havárii procesu. Dlouhodobá změna teploty vede ke změně zastoupení jednotlivých druhů mikroorganismů.

Tvorba methanu probíhá v širokém rozmezí teplot (přibližně od 5 do 95°C). Většina anaerobních reaktorů pro stabilizaci kalů, tuhých odpadů a pro čištění odpadních vod pracuje při teplotách v mezofilní oblasti tj. při 30 až 40°C, a část v termofilní oblasti tj. při 45 až 60°C, v obou případech jsou reaktory vyhřívány.

Obecně lze konstatovat, že pro udržení stability procesu je nutné zabezpečit konstantní teplotu. Změny teploty jsou tím nebezpečnější, čím je proces zatíženější, tj. čím je kratší doba zdržení a menší koncentrace biomasy v reaktoru. Při přechodu na jinou teplotu je nutná dlouhodobá adaptace biomasy, případně i nová inokulace.

Vliv reakce prostředí - pH. Další závažný limitující faktor procesu je úzký rozsah pH, optimálního pro růst methanogenních mikroorganismů. Většinou vyžadují pH v neutrální oblasti (6.5-7.5), které je nutné uvnitř reaktoru udržovat, pod pH 6 a nad 8 je jejich činnost silně inhibována. Nejčastější příčinou výkyvu pH je jeho pokles vlivem přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy předmethanizační fáze je vyšší, než jejich spotřeba a dochází k jejich akumulaci v systému. Proto je třeba řídit zatížení podle množství a složení mastných kyselin v médiu, aby nedošlo ke zhroucení procesu nebo udržovat dostatečnou neutralizační kapacitu přidavkem alkalizačních činidel.

Přítomnost nutrientů. Pro zapracování a provoz reaktorů je nutný správný poměr dusíku (N) a fosforu (P) k organickým látkám. Z bilance produkce biomasy se udává potřebný poměr živin jako CHSK : N : P v rozmezí od 300 : 6,7 : 1 až 500 : 6,7 : 1. Vedle dusíku a fosforu je žádoucí přítomnost řady mikronutrientů - Na, K, Ca, Fe, S, Mg, Se, W, důležitá je také přítomnost řady růstových faktorů. Poslední výzkumy ukazují, že některé stopové prvky (Ni, Co, Mo) zvyšují methanogenní aktivitu, zvyšují růst biomasy. Většinou u substrátů přirozeného původu je množství nutrientů postačující. Naopak při anaerobní fermentaci kejdy nebo jiných živočišných exkrementů bývá vysoký přebytek amoniaku, který za zvýšeného pH může působit inhibičně až toxicky.

Vliv technologických faktorů. Zaměříme-li se na technologickou stránku procesu, nejvíce zájmu se soustřeďuje na **akumulaci biomasy v reaktoru**, která vyrovnává nevýhodu pomalých růstových rychlostí anaerobních mikroorganismů.

Během **zpracování reaktoru** je nutná aklimatizační doba, pokud je složení zpracovávaného odpadu příliš odlišné od toho, na kterém původní biomasa vyrostla, protože je třeba čas na změnu bakteriální populace. Potřebná doba aklimatizace obecně se bude lišit podle rozložitelnosti zpracovávaných organických látek a růstové rychlosti mikroorganismů potřebných k jejich rozkladu. Hydrolytické a fermentační bakterie mají růstové rychlosti vysoké a budou se aklimatizovat rychle, zatímco syntrofní organismy rozkládající kyseliny a aromatické látky rostou velmi pomalu s generační dobou od 3 do 9 dnů a vyžadují delší aklimatizační dobu.

Přítomnost toxických a inhibujících látek. Za toxické nebo inhibující látky pokládáme látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces. Nejčastěji se setkáváme s inhibičním působením nižších mastných kyselin a amoniaku. Zde je nutno upozornit, že v obou případech inhibičně působí tyto látky v nedisociované formě. To znamená, že inhibice těmito látkami bude závislá na pH a jejich celkové koncentraci v systému. Při nízkém pH mohou inhibičně působit mastné kyseliny, při vysokém amoniak. Dlouhodobou adaptací však lze vypěstovat biomasu, tolerující i vyšší koncentrace amoniaku, např. při zpracování slepičího trusu nebo prasečí kejdy může koncentrace amoniaku dosahovat v závislosti na koncentraci vstupujícího materiálu hodnot 6 g/l i více.

2.3 Výroba bioplynu

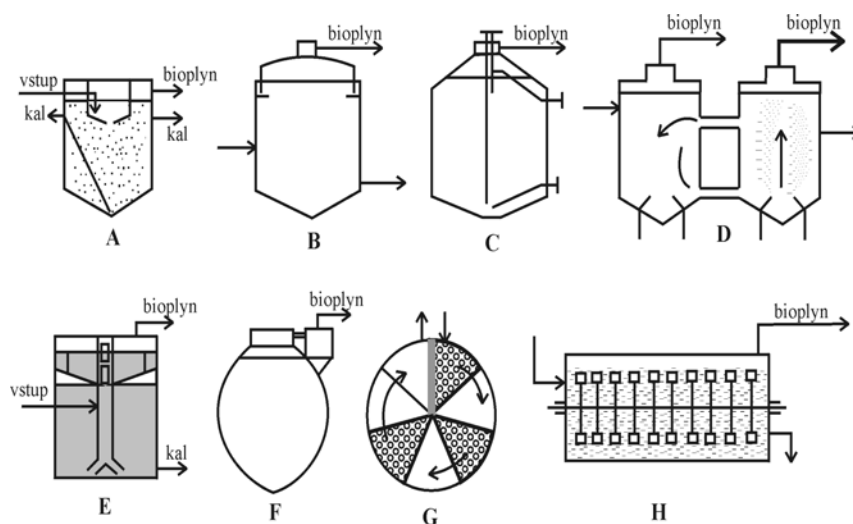
Technologické systémy pro výrobu bioplynu se principiálně liší podle vlastností zpracovávaného materiálu, především zda je zpracovávaný materiál v rozpuštěné formě nebo v suspenzi. U suspenzních materiálů je rozhodující velikost a koncentrace tuhých částic. Z tohoto hlediska lze metanizační reaktory rozdělit do tří základních skupin:

- reaktory pro zpracování rozpuštěného substrátu (odpadní vody),
- reaktory pro zpracovávání substrátu v suspenzi, obsah sušiny do cca 10-12% (kaly, kejdy, suspenze rozdrcených rostlinných materiálů a pod.),
- reaktory pro zpracování tuhých materiálů, obsah sušiny cca 10 – 50% (na př. slamnatý hnůj).

Téměř každý reaktorový systém sestává se z vlastního reaktoru a ze separační části. Oddělení tuhých částic po fermentaci od vodného zbytku je nejčastěji prováděno strojně (odstředivka, pásový lis, kalolis apod.).

Reaktory se konstruují na různém principu jako jednoduché nebo kombinované – viz obrázek 2.1, kde jsou schematicky znázorněny různé typy anaerobních reaktorů pro fermentaci substrátů v suspenzi. Technologické linky se mohou skládat z jednoho nebo více reaktorů v sériovém nebo paralelním řazení. Společným znakem je sdružený odběr bioplynu a liniový průtok reagující suspenze.

Obrázek 2.1 - Různé typy anaerobních reaktorů pro zpracování materiálů v suspenzi



A – historická štěrbinová (Imhoffova) nádrž, B – nádrž s nasazeným plynojemem, C – železobetonová nádrž stojatá válcová s kónickým dnem, D – pneumaticky míchaná dvojitá nádrž, E – pulzační nádrž systém BIMA, F – nádrž vejčitá s přepadovou komorou, G – válcová nádrž s programově řízenými míchacími sektory (pohled shora), H – horizontální nádrž s rotačním míchadlem

Míchání a teplota patří mezi nejdůležitější faktory ovlivňující dobrou funkci anaerobních reaktorů. Z konstrukčního hlediska existuje několik základních způsobů míchání a vytápění methanizačních reaktorů.

Míchání methanizačních reaktorů může být:

a) *mechanické* - různé druhy míchadel, turbin, vrtulových míchadel, čerpadel a pod. Časté je použití míchání recirkulací kalu. Kalovými čerpadly různých typů a konstrukcí umístěných uvnitř nebo vně nádrže. Kal je odčerpáván z dolní části nádrže a pod určitým tlakem opět vstřikován do různých míst nádrže tak, aby došlo k dobrému promíchání obsahu nádrže a současně aby se zabránilo vzniku plovoucí kalové vrstvy (kalového stropu);

b) *pneumatické* - míchání recirkulací plynu. Bioplyn je čerpán z plynového prostoru a pod tlakem vháněn do různých míst nádrže tak, aby došlo k dobrému promíchání. To se provádí:

- přímým vháněním stlačeného bioplynu do reaktoru jednou nebo více trubkami,
- různými zařízeními na principu mamutek,
- vháněním stlačeného plynu do systému difuzorů, umístěných na dně nebo po obvodu nádrže;

c) *rozrušování plovoucí kalové vrstvy* může být mechanické, pomocí míchadla, rozstříkem surového kalu nebo recirkulované fermentační směsi.

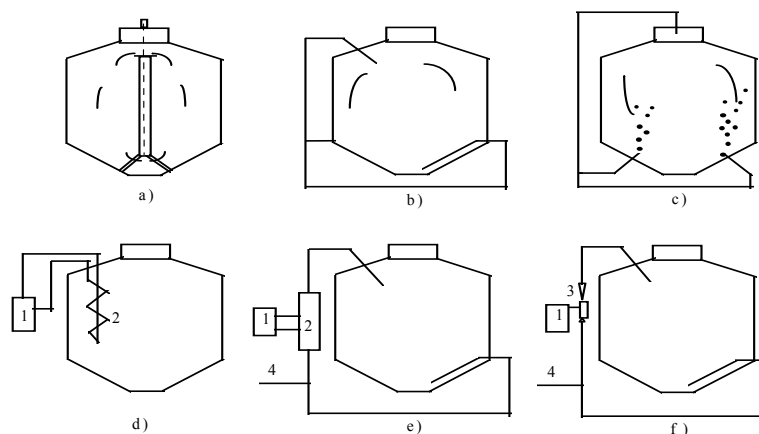
Dobré promíchání je dosažitelné při spotřebě energie 5 - 8 W/m³ reaktoru, při míchání plynem to odpovídá asi 0,27 – 0,42 m³ bioplynu na m³ reaktoru za hodinu.

Vytápění methanizačních nádrží je nejčastěji prováděno:

- a) *teplou vodou nebo párou a topnými tělesy uvnitř nádrže,*
- b) *teplou vodou nebo párou ve výměnících tepla vně nádrže.* Ohřívá se recirkulovaný a někdy i surový kal,
- c) *přímým injektováním vodní páry,* buď přímo do nádrže nebo do proudu recirkulovaného kalu,
- d) *ponořenými plynovými hořáky.*

Při praktickém provedení dochází ke kombinaci jednotlivých způsobů míchání a vytápění tak, aby byl zaručen co nejbezpečnější provoz methanizačních nádrží (obr. 2.2).

Obrázek 2.2 - Způsoby míchání a vytápění methanizačních nádrží.



a - míchání čerpadlem se středovou trubicou, b - míchání vnější recirkulací směsi, c - míchání recirkulací plynu, d - vytápění vnitřním výměníkem tepla, e - vytápění vnějším výměníkem tepla, f - vytápění přímou parou. 1 - kotel, 2 - výměník tepla mezi vodou a kalem, 3 - parní ejektor, 4 -přívod surového kalu.

2.4 Využití bioplynu

Bioplyn se skládá převážně z CH_4 a CO_2 a menšího množství H_2 , N_2 , H_2S . Při výstupu z methanizačního reaktoru obsahuje ještě určité množství vody podle teploty procesu (3 - 4%) a může obsahovat stopová množství amoniaku, mastných kyselin aj. Bioplyn z dobře pracujících reaktorů obsahuje 65 - 80% CH_4 a 20 - 35% CO_2 . Vzhledem k vysokému obsahu methanu je bioplyn cennou energetickou surovinou. Na obsahu methanu v bioplynu závisí jeho výhřevnost a obvykle se pohybuje v rozmezí od 13,72 do 27,44 kJ/m^3 (výhřevnost samotného methanu je 34,3 kJ/m^3).

Specifickou produkci bioplynu, obsah methanu a výhřevnost bioplynu při rozkladu tří nejdůležitějších skupin organických látek - tuků, bílkovin a sacharidů a několika komplexních substrátů uvádí následující tabulka 2.2.

Tabulka 2.2 - Specifická produkce bioplynu.

Látka	Specifická produkce bioplynu (m³ /kg rozložené látky)	Obsah CH₄ (%)	Výhřevnost (MJ m⁻³)
tuky	1.125-1.515	62-67	cca 23.45
sacharidy	0.79 - 0.875	50	17.76
bílkoviny	0.56 - 0.75	71 - 84	cca 24.87
čistírenský kal	0.80 - 1.30	65 - 75	cca 23.0
prasečí exkrementy	1.07	64 - 70	cca 22.0
odpadní vody z výroby pektinu *)	0,56	cca 50	cca 17,0
odpadní vody z výroby droždí *)	0,5 - 0,7	66 - 71	cca 22,0

*) pozn.: vztaženo na CHSK

Methan, který je hlavní součástí bioplynu, je bezbarvý plyn, bez zápachu, se vzduchem tvoří třaskavou směs. Methan samotný je lehčí než vzduch, ale oxid uhličitý je těžší než vzduch, tedy relativní hmotnost bioplynu závisí na jeho složení a teplotě. Při obsahu methanu nad 53% začíná bioplyn být lehčí než vzduch. Oba plyny se těžko od sebe oddělují. Methan je netoxický, avšak v koncentraci okolo 0,1 obj.% ve vzduchu působí anesteticky.

Přesto, že methan i CO₂ jsou plyny bez zápachu, bioplyn může silně zapáchat. Zápach je způsoben hlavně obsahem H₂S, který se pohybuje v rozmezí 0,1 - 10 g/m³ a dalšími zejména sirnými a dusíkatými organickými sloučeninami, které páchnou již ve velice nízkých koncentracích (merkaptany, aminy). Podstatně více zapáchá bioplyn ze skládek (od 1 do 5 x 10⁶ zápachových jednotek). Toto zvýšení zápachu způsobuje přítomnost dalších látek jako jsou různé estery, alkylbenzeny, aj.

Úprava a čištění bioplynu

Při všech v současné době používaných metodách využívání bioplynu je důležité odstranit halogenované uhlovodíky a H_2S . Fluorované a chlorované uhlovodíky jsou nebezpečné, protože nedokonalým spalováním se mohou tvořit dioxiny a dibenzofurany. H_2S vyvolává nebezpečí koroze následkem tvorby H_2SO_4 a její kondenzace ze spalin ve spalovacím zařízení. Mimo to přítomnost sloučenin chloru, fluoru, síry a fosforu ve spalinách působí jako katalytický jed a znemožňuje katalytickou redukci NO_x . Z těchto důvodů je důležité před využíváním bioplynu z něj odstranit vodu a výše uvedené nečistoty. Míra čištění bioplynu závisí na zamýšleném způsobu jeho využívání.

Nejčastější způsoby odstranění kapalin a prachových částic z bioplynu je použití různých druhů filtrů nebo cyklónů.

Odstraňování H_2S .

Přidávání solí železa

Přidávání solí železa ke zpracovávanému substrátu. Metoda je založena na zkušenostech, že soli těžkých kovů obsažené v reakční směsi reagují se vznikajícím H_2S za tvorby nerozpustných sulfidů. Takto lze snížit obsah H_2S v bioplynu na hodnoty 12 - 35 mg/m^3 . Jako zdroje železa lze použít FeCl_3 , FeClSO_4 nebo železité vodárenské kaly z čiření při úpravě pitné vody.

Odstraňování H_2S na plynárenské hmotě

Odstraňování H_2S z bioplynu adsorpcí na plynárenské hmotě. Jedná se o běžnou metodu odsiřování používanou v plynárenství. Principem je adsorpce (reakce) H_2S na tzv. suché plynárenské hmotě jejíž hlavní součástí je hydratovaný oxid železitý. Regenerace se provádí oksyločením.

Mokrý způsob odstraňování

Z mokrých způsobů odsiřování plynů je nejpoužívanější:

a) *praní alkalickými roztoky* (roztoky Na_2CO_3 , K_2CO_3 , K_3PO_4 , soli slabých organických kyselin, monoethanolamin aj.);

b) *praní suspenzemi sloučenin těžkých kovů* v alkalickém roztoku (suspenze Fe_2O_3 v roztoku Na_2CO_3) nebo roztoky solí těžkých kovů (roztoky solí Fe^{3+} , Cu^{2+});

c) *praní organickými rozpouštědly* (methanolem, dimethylformamidem).

d) *praní oxidovanou formou redoxního systému*, jež vylučuje z H_2S přímo síru a regeneruje se vzduchem (organické systémy na bázi fenolů, chelatonát železito-sodný).

Biologický způsob odstranění H_2S z bioplynu

Metoda je založena na principu, že sirné bakterie (*Thiobacillus sp.*) ve vodném prostředí za aerobních podmínek oxidují H_2S na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH. Do reaktoru s fixovanou biomasou se přivádí současně bioplyn a vzduch (kyslík). Množství přidávaného vzduchu (kyslíku) je regulováno tak, aby bioplyn vycházející z reaktoru neobsahoval žádný kyslík. Tímto způsobem lze dosáhnout snížení koncentrace H_2S v bioplynu až na 200 ppm.

Reakce může probíhat také přímo v anaerobním reaktoru, kdy do jeho horní části nebo do míchacího nebo recirkulačního potrubí se přivádí regulované množství kyslíku (tak, aby přesně stačilo k oxidaci H_2S). V závislosti na poměru $\text{H}_2\text{S}/\text{O}_2$ jsou sulfidy oxidovány na elementární síru. Při vyšších koncentracích kyslíku však dochází ke snížení výtěžnosti metanu.

Další metodou biologického odstraňování H_2S z bioplynu je sorpce na „biofiltru“. Bioplyn je vháněn do uzavřeného reaktoru, který je naplněn biologicky aktivním médiem na kterém dochází k zachycení a k oxidaci sulfanu. Jako náplně - biologicky aktivního média - se používá rašelina, kůrový kompost, chrástí nebo kombinace těchto materiálů. Vlastnosti tohoto média se mohou značně měnit, proto je potřebná dobrá adaptace na požadované podmínky.

Využití bioplynu.

Vysoký obsah methanu a tím i vysoká výhřevnost (13,7-27,4 MJ/m³) řadí bioplyn mezi ušlechtilé zdroje energie. Bioplyn se z methanizačních reaktorů odvádí do nízkotlakého plynojemů a odtud se potom rozvádí k dalšímu zpracování. Část bioplynu se zužikovává k vyhřívání methanizačních nádrží a pro další tepelné hospodářství bioplynové stanice. Zbývající část energie se využívá k výrobě tepla pro vytápění budov, na výrobu teplé vody, sušení a pod., zbytek bioplynu se spaluje na hořácích zbytkového plynu.

Spalování bioplynu

a) *Spalování bez využití energetického potenciálu.* Používá se v případě, že není jiný způsob využití bioplynu nebo jiné využití je neekonomické (např. u malých zdrojů). Jedná se tedy pouze o bezpečnou likvidaci produkovaného bioplynu.

Bioplyn se vede přímo do hořáku, který je uspořádán jako hořák zbytkového plynu. Je důležité, aby docházelo k dokonalému spalování. Spalovací komora má být navržena tak, aby minimální doba zdržení neklesla pod 0,3 sec a specifická teplota hoření pod 1 200°C.

Hořáky zbytkového plynu jsou povinnou výbavou plynového hospodářství i v případě energetického využívání bioplynu.

b) *Spalování v topných systémech.* Nejstarší metodou využívání bioplynu je jeho přímé spalování v kotlích pro ohřev anaerobních reaktorů. Pro tento účel se využije pouze část produkovaného tepla, zbylá část je využívána k vytápění budov nebo k ohřevu užitkové vody. V zemědělských bioplynových stanicích je bioplyn v letním období často využíván jako zdroj tepla pro sušení různých produktů.

c) *Spalování ve spalovacích motorech.* Za nejefektivnější se v současné době považuje využití bioplynu pro pohon spalovacích motorů spojených s agregátem na výrobu elektrické energie, tj. kogenerační výroba elektrické energie a tepla. Lze používat upravené zážehové vznětové motory nebo plynové turbíny. Bioplyn lze použít k pohonu motorů k výrobě mechanické nebo elektrické energie. Odpadní teplo z chlazení motoru a spalin se využívá k ohřevu anaerobních reaktorů, k výrobě teplé vody a k vytápění. Toto je nejefektivnější způsob využití bioplynu a ve značné míře pokrývá energetické nároky bioplynové stanice

nebo čistírny odpadních vod.

Dodávka do sítě

Po úpravě bioplynu na vysoký obsah CH_4 vypírkou CO_2 lze za určitých podmínek dodávat tento plyn do sítě nebo plnit tlakové lahve pro pohon motorových vozidel.

3. Současný stav výroby a využití bioplynu v ČR

Komplexní statistické přehledy o využívání obnovitelných zdrojů energie (OZE) v České republice zpracovává od roku 2004 Oddělení surovinové a energetické statistiky Ministerstva průmyslu a obchodu. Kromě vlastního sběru dat používá k vypracování ročních přehledů i data převzatá ze statistik a databází Energetického regulačního úřadu (ERÚ), Českého statistického úřadu (ČSÚ), Českého hydrometeorologického ústavu (ČHMÚ), Státního fondu životního prostředí (SFŽP) a dalších organizací. Data uveřejněná ve zprávě pro rok 2005 jsou plně srovnatelná s daty, která budou publikována pro rok 2005 Mezinárodní energetickou agenturou (EIA), resp. Eurostatem.

V případě produkce a energetického využití bioplynu jsou zdroje výroby bioplynu rozděleny podle převažujícího zpracovávaného substrátu na: skládkové bioplynové stanice – skládky, průmyslové bioplynové stanice, zemědělské bioplynové stanice a bioplynové stanice komunálních čistíren odpadních vod. Výsledky pro rok 2005 a jednotlivé zdroje jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tab 3.1 - Spotřeba bioplynu k energetickým účelům v roce 2005

	Spotřeba bioplynu (m ³)
Komunální ČOV	54 931 564
Skládky	44 330 256
Zemědělské stanice	5 215 848
Průmyslové	3 282 868
Celkem	107 760 536

Tab 3.2 - Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2005

	Počet zařízení	Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
Komunální ČOV	67	16 413	71 446,5	56 588,6	14 857,9
Skládky	46	16 928	78 298,8	5 142,7	72 440,7
Zemědělské stanice	17	1 954	8 242,5	2 163,2	5 613,5
Průmyslové	5	976	2 869,1	2 367,8	501,3
Celkem	135	36 271	160 856,9	66 262,3	93 413,4

Tab 3.3 - Výroba tepla z bioplynu v roce 2005

	Počet zařízení	Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (GJ)	Dodávky tepla (GJ)
Komunální ČOV	205	88 703	791 462,8	791 462,8	0,0
Skládky	12	8 675	91 140,0	13 868,0	77 272,0
Zemědělské stanice	18	3 569	67 222,5	67 222,5	0,0
Průmyslové	17	67 865	60 076,8	55 797,8	4 279,0
Celkem	252	168 812	1 009 902,1	928 351,1	81 551,0

Jak vyplývá z uvedených tabulek v roce 2005 bylo k energetickým účelům využito 107 761 tisíc m³ bioplynu, což je v porovnání s rokem 2004 více o 12,39 milionů m³ (13 %). Nejvíce se na tomto nárůstu podílelo využívání skládkového plynu - nárůst o 18,2 % a bioplynu z komunálních čistíren odpadních vod – nárůst o 12,2 %. Pokles zaznamenalo využití bioplynu ze zemědělských a průmyslových bioplynových stanic.

V roce 2005 energetický obsah veškerého energeticky využitého bioplynu činil 2 335 388 GJ. Celková hrubá výroba elektrické energie z bioplynu v roce 2005 byla 160 856,9 MWh. To představovalo 5,13 % z celkové hrubé výroby elektrické energie z OZE v roce 2005, respektive 0,23 % podíl na hrubé domácí spotřebě elektrické energie. Největší výroba elektrické energie byla ze skládkového plynu, cca 49 % z celkové výroby elektrické energie z bioplynu a z bioplynu vyráběného na komunálních ČOV s anaerobní fermentací kalů, 44 %. Zemědělské bioplynové stanice představují 5% z celkové vyrobené elektrické energie

z bioplynu a zbytek, cca 2 % je z bioplynových stanic zpracovávajících průmyslový organický odpad.

Tab 3.4 - Výroba energie z bioplynu podle krajů

	Výroba elektřiny (MWh)	Výroba tepla (GJ)
Hlavní město Praha	59 191,4	23 847,0
Středočeský kraj	13 617,0	34 771,8
Jihočeský kraj	4 905,0	56 017,0
Plzeňský kraj	8 971,2	85 355,0
Karlovarský kraj	2 446,8	23 819,0
Ústecký kraj	10 291,4	62 600,5
Liberecký kraj	4 022,6	21 291,3
Královehradecký kraj	3 557,9	37 581,1
Pardubický kraj	10 872,8	10 864,0
Vysočina	2 581,5	41 475,0
Jihomoravský kraj	8 380,0	104 883,0
Olomoucký kraj	2 130,0	35 646,7
Zlínský kraj	4 389,6	41 760,3
Moravskoslezský kraj	25 499,7	221 990,4
Celkem	160 856,9	1 009 902,1

Uvedené statistické údaje Ministerstva průmyslu a obchodu o výrobě energie z OZE mají vzhledem ke standardizaci sběru dat, velký význam vzhledem ke kvantifikaci a možnosti porovnávání jednotlivých zdrojů energie navzájem a vzhledem k celkové výrobě energie v České republice, případně v mezinárodním srovnávání. Pro posouzení možnosti intenzifikace jednotlivých zdrojů výroby bioplynu jsou však vzhledem k chybějícím technologickým parametrům vlastní výroby bioplynu nedostatečné. Což však, jak již bylo řečeno, nesnižuje jejich hodnotu. Proto pro posouzení možnosti intenzifikace budou taky použita data získaná v rámci řešení projektu – produktu „Databáze výrobců a uživatelů bioplynu“ vypracovaného pro Českou energetickou agenturu v roce 2004 (CITACE).

Pro jednotlivé zdrojové skupiny producentů bioplynu byly zpracovány dotazníkové formuláře zahrnující hlavní charakteristická data o výrobě a využívání bioplynu. Protože hlavním cílem projektu bylo zjištění aktuálního energetického potenciálu bioplynu v ČR, byly z evidence vypuštěny ty technologie, kde je bioplyn bez využívání vypouštěn, flérován (spalován) anebo zneškodňován na biofiltrech. Jedinou výjimkou je evidence skládek

s relativně vysokým stupněm připravenosti, kde zatím plyn (LFG) není využíván, ale kde je možno odhadnout energetický přínos v blízké budoucnosti (2005-2006).

Pro vyplňování formulářů byly kombinovány telefonní kontakty, osobní návštěvy technologií i komunikace elektronickou poštou. I vzhledem k určitým problémům při získávání kompletních dat vycházejících někdy z nezájmu vlastníku resp. provozovatelů bioplynových zařízení, případně objektivních překážek, jako např., že někteří výrobci bioplynu nejsou vůbec vybaveni technikou nutnou pro přesné měření výroby a hlavně složení bioplynu, se podařilo získat ojedinělou databázi produkce a využití bioplynu v ČR. Nicméně tato omezení se týkají méně než přibližně 5 % (výkonu) ze sledovaných projektů a určení celkového energetického potenciálu bioplynových technologií to ovlivní jen nevýznamně.

Navíc databáze obsahuje další technologické parametry spojené s výrobou a využitím bioplynu na jednotlivých zařízeních, jako je množství a složení zpracovávajících surovin, jejich případná předpraha, objemy a konstrukce reaktorů, provozní teploty, způsob ohřevu, používané druhy plynojemů a jejich kapacity, složení vznikajícího bioplynu, množství a využití produkovaného fermentačního zbytku – digestátu apod.

3.1 Skládky

3.1.1 Popis

Rozhodující vliv na rozvoj methanogenních procesů, a s tím spojenou produkci a kvalitu skládkového plynu, má organické a anorganické složení odpadu, vlhkost, stupeň hutnění tělesa skládky a teplota uvnitř skládky. Složení obsahu skládek je značně variabilní a závisí na druhu ukládaného odpadu. Průměrná sušina obsahu skládky se tak pohybuje od 30 - 60 %, kdy obsah organické frakce tvoří 20 - 80 % sušiny. Biologicky rozložitelná frakce organického odpadu deponovaného na skládce začne spontánně podléhat samovolnému rozkladu, který časem přechází v anaerobní fermentaci. Rozklad organických látek je sledem několika procesů.

1. Aerobní stádium. Organické látky jsou za přítomnosti vzdušného kyslíku rozkládány aerobními a fakultativně aerobními mikroorganismy na CO_2 a H_2O , za vzniku tepla. Tím se těleso skládky prohřívá a teplota uvnitř skládky může dosáhnout 40 až 60 °C. To příznivě ovlivňuje následující fáze rozkladu.

2. Anaerobní stádium acidogenní. Po vyčerpání kyslíku se rozbíhají anaerobní procesy předmetanizační fáze - hydrolýza a acidogeneze. Hlavními produkty této fáze rozkladu jsou alifatické mastné kyseliny, další nízkomolekulární látky a CO_2 .

3. Anaerobní stádium methanogenní nestabilizované. Jedná se o počáteční stádium rozvoje methanogenních mikroorganismů, spojené s produkcí bioplynu. Koncentrace methanu v bioplynu postupně vzrůstá.

4. Anaerobní stádium methanogenní stabilizované. Rozkladné procesy, hlavně acidogenní a methanogenní se dostávají do dynamické rovnováhy. Rychlost produkce a složení bioplynu jsou konstantní. Tato fáze trvá až do vyčerpání biologicky rozložitelných organických látek.

Energetický potenciál 1 tuny komunálního odpadu je pak přibližně 200 - 250 m^3 bioplynu, z toho asi 40 - 50 % může být využito. Plný rozběh methanizace nastává zpravidla po 6 - 20 měsících od dokončení tělesa. V průběhu prvních 5 ti let se vyprodukuje okolo 25 m^3 methanu na tunu odpadu a za dalších 20 let je produkce přibližně 75 m^3 methanu. Produkce bioplynu po této době pak již výrazně klesá.

Skládky tuhých komunálních odpadů obsahují často obtížně definovatelná množství inertních příměsí, odpad je málo zvlhčený anebo je organická frakce uložena ve skládce nepravidelně. Za těchto podmínek je možno jen stěží, bez praktického měření, odhadnout produkci bioplynu. Metodou, která nahrazuje vysoce nákladné vrtné průzkumy a čerpací testy na vrtech, je polní povrchový průzkum. Skládky jsou testovány záraznou sondáží a je sledováno složení plynu v podpovrchových vrstvách do 60 cm hloubky. Z nalezených koncentračních profilů se pak odvozuje zařazení skládky, podle intenzity tvorby plynu.

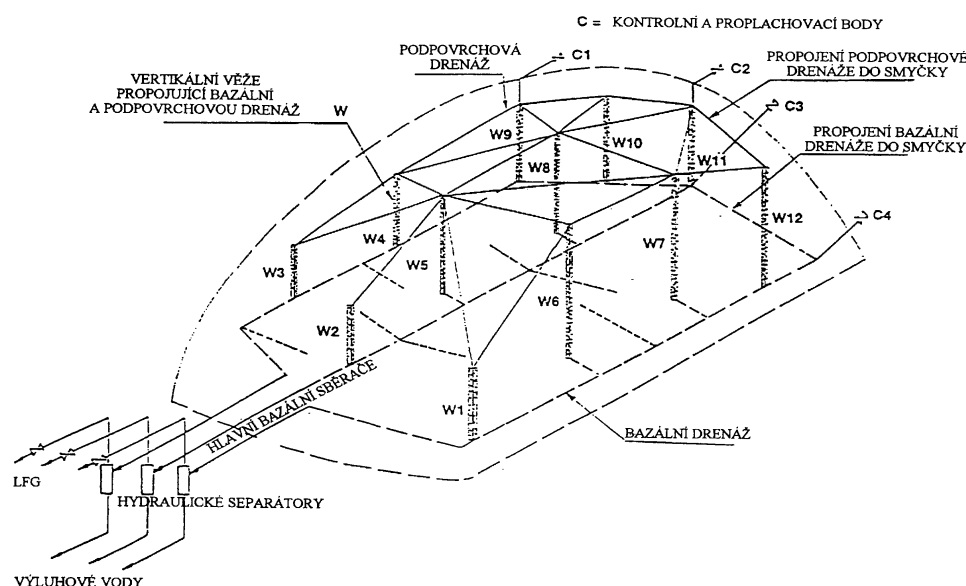
Podle měrné rychlosti tvorby bioplynu, vyjadřující objemovou produkci plynu na jednotku objemu zhutnělého skládkového prostoru za čas, je možno rozdělit skládky tuhých komunálních odpadů následovně (tab. 3.4).

Tabulka 3.4 - Rozdělení skládek TKO podle produkce bioplynu

měrná rychlost (m ³ · m ⁻³ · h ⁻¹) 10 ⁶	tvorba plynu	kategorie	využití plynu	odplynění
pod 10	nulová až velmi slabá	I	nemožné	není nutné
10 - 400	slabá až střední	II	nemožné	je nutné
400 - 700	střední až silná	II	podmínečně možné	je nutné
nad 700	silná	III	možné	je nutné - možné využití

Odplyňování skládek se realizuje odlišným způsobem, pro stará a nově zakládaná tělesa. Staré skládky se opatřují soustavou speciálních plynosběrných vrtů, o průměru 1 m, opatřených centrální perforovanou pažnicí. Tyto vrty se pak propojují sběrnou sítí drenážních a odsávacích plynovodů.

Nově zakládaná tělesa skládek, vybavená dokonalými izolacemi, již s tvorbou plynu počítají při konstrukci nových drenáží. Plyn z těchto těles je pak odčerpáván z báze skládky z hlavních drenážních tras, z nichž při vyšších výškách tělesa jsou vyváděny vertikálně budované sběrné věže se strukturou stejnou jako mají sběrné vrty (Obr. 3.2).



Obrázek 3.2 - Schéma integrovaného systému odplynění a odvodnění nově budované skládky odpadů

Složení skládkového plynu (LFG - Landfill Gas) závisí na stáří skládky tj. stupni rozvoje methanogeneze a na kvalitě uloženého odpadu (Kolektiv 1989). Koncentrace methanu se tak mohou pohybovat v jediném tělese v rozsahu 0 až 70 % objemových. Při dobře rozvinuté methanogenezi se průběžně získává bioplyn s 50 - 65 % objemových methanu. Při jeho odčerpávání je nutno dodržovat podmínku, že rychlost odčerpávání musí být minimálně stejná anebo nižší než rychlost, s níž methan vzniká. Příliš intenzivní odčerpávání působí postupnou aerobizaci tělesa, spojenou s poklesem obsahu methanu a snižováním pH. Skládkový plyn je z tělesa odčerpáván většinou nízkotlakými čerpacími stanicemi, dimenzovanými jak na objemovou kapacitu dopravovaného plynu, tak na tlak potřebný pro zvolený spotřebič. Skládkový plyn obecně obsahuje nižší hodnoty korozivně působícího sulfanu (H_2S). Zcela běžně se hodnoty H_2S pohybují v miligramech na m^3 . Důvodem je vazba vznikajícího sulfanu do podoby nerozpustných sulfidů kovů, hlavně železa, běžně přítomného ve skládkách. Poměrně velký rozdíl mezi skládkovým plynem a reaktorovým plynem ze zemědělských odpadů nebo čistírenských kalů, je v obsahu chlorovaných a chlorfluorovaných uhlovodíků (XHC). Halogenované uhlovodíky se do skládkového plynu dostávají ze zbytků ředidel, rozpouštědel, nátěrových hmot apod. uložených na skládce. I když jejich koncentrace se stářím tělesa skládky postupně klesá, jak jsou vypuzovány plynem, dosahují jejich koncentrace ve skládkovém plynem (50 - 200 $mg\ Cl.m^{-3}$) řádově vyšších hodnot v porovnání s plynem reaktorovým (0 - 30 $mg\ Cl.m^{-3}$).

3.1.2 Současný stav

Podle statistiky MPO ČR bylo v roce 2005 k energetickým účelům, výroba elektrické energie a tepla, spotřebováno 44,33 mil. m^3 skládkového bioplynu. Při instalovaném elektrickém výkonu kogeneračních jednotek 16, 9 MW bylo vyrobeno 78 298 MWh elektrické energie (Tab. 3.5) . Roční výroba tepla činila 91 140 GJ. (Tab. 3.6). V porovnání s rokem 2004 vzrostl spotřeba skládkového bioplynu využitého k energetickým účelům o 12,2 %.

Tab. 3.5 - Výroba elektřiny ze skládkového bioplynu v roce 2005

Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
16 928	78 298,8	5 142,7	72 440,7

Tab. 3.6 - Výroba tepla ze skládkového bioplynu v roce 2005

Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (GJ)	Dodávky tepla (GJ)
8 675	91 140,0	13 868,0	77 272,0

V porovnání s výsledky studie “Databáze výrobců a uživatelů bioplynu v ČR“ v roce 2004, vzrostl instalovaný elektrický výkon na skládkách z 14,81 na 16,93 MW. Zvýšení výkonu bylo dáno zvýšenou výkupní cenou elektrické energie ze skládkového bioplynu.

Těžba skládkového plynu, průměrný obsah metanu instalovaný elektrický výkon a roční produkce elektrické energie pro některé skládky jsou uvedeny v tabulce (Tab. 3.7). Lokalizace jednotlivých sledovaných skládek s vybudovaným a provozovaným odplyňovacím systémem a s v vybudovaným ale prozatím neprovozovaným odplyňovacím systémem jsou uvedena na obrázcích 3.3 a 3.4.

Tab. 3.7 - Souhrnná tabulka produkovaného bioplynu a vyrobené elektřiny na skládkách odpadů

Skládka	Těžba plynu		Obsah CH ₄	Ninst	Výroba elektřiny
	[m ³ /h]	[tis. m ³ /rok]	[% obj.]	[kW _{el}]	[MW/rok]
Rynholec	200	1752	55 - 60	105	131
Chvaletice	600	5265	42	1100	5694
Frýdek-Místek	85	744	42	142	1002
Ostrava/Hrušov	550	4818	42	770	6570
Teplice/Modlany	800	70087	42	1400	8322
Chabry+ Ďáblice	2000	17520	50	4920	28032
Chodov/SUAS	55	482	54-60	135	548
Celio/Litvínov	85	744	58	135	1132
Jirkov	35	277	56	66	248
Horní Suchá				250	1822
Nasavrky	130	1139	46-52	270	1825
Němčice na Hané	140	1226	46-52	270	2190
Rapotín	140	1226	46-52	270	2190
Dolní Branná	70	613	46-52	130	547
Tušimice	150	1314	46-52	270	2336
Lišov	100	876	46-56	200	1314
Vysoká u Dobřan	350	3066	46-56	570	3066
Černošín	45	394	46-52	130	438
Činov	110	963	46-52	570	949
Košťálov	120	1051	46-56	270	2336
Kvítkovice	120	1051	46-56	270	2336
Radim	200	1752	46-56	570	2628
Kroměříž/Zachar	500	4380	(50)	700	3066
Hodonín	300	2628	(50)	300	2190
Úholičky	500	4380	(50)	700	3066
Brno	500	4380	(50)	300	1314



Obr. 3.3 - Mapa skládek s vybudovaným a provozovaným odplyňovacím systémem



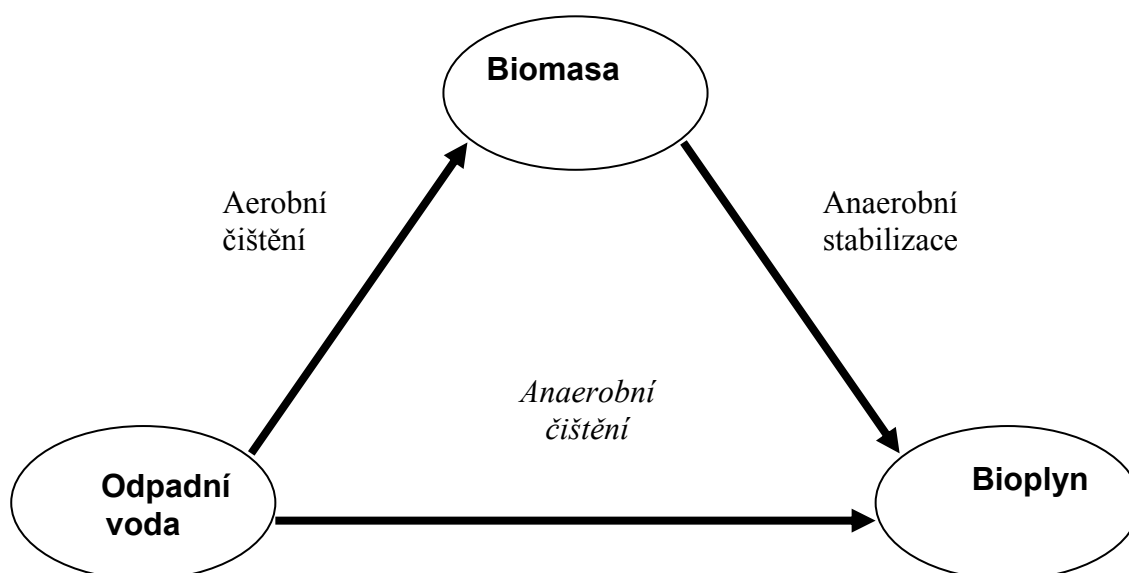
Obr. 3.4 - Mapa skládek s vybudovaným ale ne provozovaným odplyňovacím systémem

3.2.Průmyslové bioplynové stanice

3.2.1 Popis

Charakteristickým rysem průmyslových odpadních vod je vysoká koncentrace organického znečištění a často vyšší teplota, což jsou dva parametry, které velmi zvýhodňují použití anaerobní technologie pro čištění takových vod.

Od organického znečištění odpadních vod k bioplynu vedou dvě cesty běžně používané na čistírnách odpadních vod. Schematicky jsou oba postupy znázorněny na obrázku 3.5.



Obr.3.5 – Možnosti transformace organického znečištění odpadních vod na bioplyn

Rozdíl mezi oběma načrtnutými způsoby je ovšem ve výtěžnosti bioplynu. Při přímém anaerobním čištění je účinnost transformace organických látek do bioplynu až 90 % (reálně 50-80 %), při druhé variantě, tedy přes aerobní biomasu a její anaerobní stabilizaci až 60 % (reálně 20 - 40 %). Tato varianta se využívá zejména pro splaškové vody, obecně pro vody s nízkou koncentrací organického znečištění (tj. méně než cca 1000 mg/l BSK₅). U odpadních vod, které mají koncentraci vyšší je zpravidla výhodnější přímé anaerobní zpracování.

Kvalita bioplynu produkovaného z průmyslových odpadních vod je pochopitelně determinována kvalitou rozkládaného organického znečištění. Obecně se dá říci, že je charakteristická vysokými koncentracemi methanu, často až 80 % (díky acidifikaci vod, která

částečně probíhá již před anaerobním reaktorem). Lze se setkat rovněž s nepříjemně vysokými koncentracemi sulfanu (při čištění odpadních vod s vyšší koncentrací síranů).

Design reaktorů

Dalším charakteristickým rysem anaerobního čištění průmyslových odpadních vod je design anaerobních reaktorů. Je to důsledek specifických vlastností těchto odpadních vod, v nichž převažují rozpuštěné organické látky. Z toho důvodu je zde první stupeň anaerobního rozkladu organických látek – hydrolýza, která obvykle limituje celkovou rychlost rozkladu, podstatně rychlejší, případně úplně chybí. Rozkladný proces je proto celkově rychlejší a potřebná doba zdržení odpadní vody v reaktoru kratší. Díky vyššímu hydraulickému zatížení a nižší viskozitě odpadních vod oproti kalům a podobným „hustějším“ materiálům zpravidla není nutné v moderních reaktorech pro čištění odpadních vod intenzivní míchání, tak jak jej známe u reaktorů pro zpracování čistírenských kalů, živočišných odpadů, fytobiomasy apod.).

Reaktory pro anaerobního čištění odpadních vod byly oblasti v prvních etapách v mnoha rysech analogické s aerobní technologií. Příkladem mohou být kontaktní reaktory (někdy nazývané anaerobní aktivace), nebo biofiltry s průtokem shora dolů (viz zkrápěné aerobní filtry). Postupem času se však stále více projevovala specifika anaerobního procesu a jedinečným výsledkem tohoto vývoje byl reaktor UASB, ve kterém byla poprvé kultivována anaerobní biomasa ve formě kompaktních dobře sedimentujících částic - granulí. Tento reaktor přinesl kvalitativní skok ve vývoji anaerobních reaktorů a dodnes jsou vyvíjeny jeho další a další modifikace.

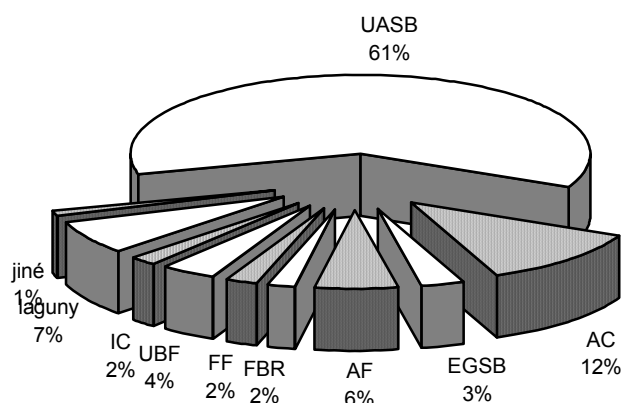
Technologie využívající růstu biomasy na jemnozrném nosiči, jenž je udržován v expandovaném nebo fluidním stavu, se v anaerobní i aerobní oblasti vyvíjejí více méně paralelně. Poslední vývoj zde směřuje ke speciálním náplním, které jsou z mikroporézních materiálů, jejichž póry jsou „šité na míru“ požadovaným typům bakterií. Příkladem jiné speciální náplně může být granulované aktivní uhlí v anaerobním GAC reaktoru.

Ve skupině reaktorů se suspenzí biomasou je zdokonalován především separační stupeň, kde se úspěšně využívá membránových procesů a také flotace. Další vývojový stupeň

membránových reaktorů již nevyužívá membránové procesy jen k separaci biomasy z odtoku anaerobního reaktoru (membránový I), ale používá membrán přímo v reaktoru (membránový II). Podobně jako v aerobní oblasti i v anaerobii je v poslední době možné pozorovat znovuoživení semikontinuální technologie „sequencing batch“.

V současné době na trhu anaerobních reaktorů převažují reaktory s granulovanou biomasou, díky svým nesporným výhodám jako je možnost velmi vysokého látkového zatížení a velmi dobrá separace biomasy, největší růstový trend pak v posledních letech zaznamenávají reaktory IC a EGSB, tedy moderní modifikace původního principu UASB. Podíl hlavních typů reaktorů používaných při čištění průmyslových odpadních vod zachycuje graf na obrázku 3.6.

Další vývoj bude patrně směřovat od extrémní specializace, kdy téměř na každou vodu jsou vyvíjeny speciální typy reaktorů k univerzálnosti a flexibilitě nových anaerobních systémů. Důležitý aspekt, který rovněž ovlivní v nejbližších letech vývoj reaktorové techniky, úzce souvisí s makroekonomickými vlivy jako je expanze velkých západoevropských firem za novými trhy. Země jako je Nizozemí, Belgie, Dánsko apod. mají značný náskok ve využívání anaerobních technologií, ale současně se jejich trh blíží úplnému satureování .



Obr. 3.6 - Relativní zastoupení nejúspěšnějších anaerobních systémů při čištění průmyslových odpadních vod

(IC - rektor s vnitřní cirkulací, UBF - hybridní reaktor, FF - biofilmové reaktory, kromě AF a FBR, FBR - reaktor s fluidním ložem, AF - anaerobní filtr, AC - anaerobní reaktory se suspenzí biomasou, UASB - reaktor s kalovým mrakem)

V řadě odvětví anaerobní technologie dokázaly, že odpadní vody mohou být energetickou surovinou. Běžně se dnes používá parametr *energetický potenciál* (EP) odpadních vod, který vyjadřuje kolik bioplynu lze vyrobit z 1 m³ dané odpadní vody. O tom, že EP některých typů vod může být mimořádně velký vypovídá tabulka 3.8.

Tab. 3.8 – Energetický potenciál vybraných odpadních vod

Typ odpadní vody	Energetický potenciál (m ³ /m ³)
splaškové	0,2
farmaceutické	4,2
cukrovarské	5,0
škrobářenské	7,6
melasové výpalky	25
výroba threoninu	32
výroba sirupů	60
výroba bionafty	80

Anaerobní technologie se uplatňuje při čištění stále širšího spektra průmyslových odpadních vod. Po prvních relativně snadných aplikacích v cukrovarech, pivovarech a dalších oblastech potravinářského průmyslu se dnes anaerobní technologie prosazuje i v takových průmyslových odvětvích, které produkují „obtížnější“ odpadní vody jako např. farmaceutický, chemický, petrochemický průmysl.

3.2.2 Současný stav

V roce 2005 bylo k energetickému využití spotřebováno 3,283 mil. m³ bioplynu vyrobeného v bioplynových stanicích zpracovávajících průmyslový odpad. Z uvedeného množství bioplynu bylo vyrobeno 2, 869 GWh elektrické energie a přes 60 tisíc GJ tepla (Tab. 3.9 a 3.10. V porovnání s rokem 2004 je nárůst výroby elektřiny o 900 MWh.

Tab. 3.9 - Výroba elektřiny z bioplynu průmyslových bioplynových stanic v roce 2005

Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
976	2 869,1	2 367,8	501,3

Tab. 3.10 - Výroba tepla z bioplynu průmyslových bioplynových stanic v roce 2005

Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (GJ)	Dodávky tepla (GJ)
67 865	60 076,8	55 797,8	4 279,0

V roce 2004 bylo evidováno 13 funkčních průmyslových čistíren odpadních vod s produkcí bioplynu. Největším producentem bioplynu (1 200 000 m³) ročně byla ČOV Česká droždářská a. s., Olomouc (bývalé Seliko Olomouc), zpracovávající anaerobní technologií odpadní vody z výroby droždí a nejmenší roční produkce (cca 6 000 m³) bioplynu je ve firmě Perri Crisps Třemošná, zpracovávající odpad z výroby bramborových lupínků. V roce 2005 Česká droždářská a. s. ukončila vlastní potravinářskou výrobu a tím i produkci bioplynu. Odpadní vody z výroby cukru zpracovávají anaerobní technologií dvě firmy, TTD a.s., Dobruška a Eastern Sugar Náměšice. Produkce bioplynu je 500 000 a 324 000 m³ ročně. Zpracování odpadních vod a tím i výroba bioplynu je však sezónní, jenom po dobu kampaně, tj. přibližně 3 měsíce v roce. Nerovnoměrnost výroby v průběhu roku a s ní spojenou produkci odpadních vod a následně výroby bioplynu, můžeme zaznamenat i u výroby piva a konzerváren. Zvláštním případem jsou ČOV TOMA a.s., Otrokovice a TIBA a.s., Dvůr Králové, zpracovávající kromě průmyslových odpadních vod i komunální vody. Vzhledem k poměrně vysokému zatížení a specifitě čištěných průmyslových odpadních vod, bylo rozhodnuto je zařadit do kategorie „Průmyslových ČOV s produkcí bioplynu“.

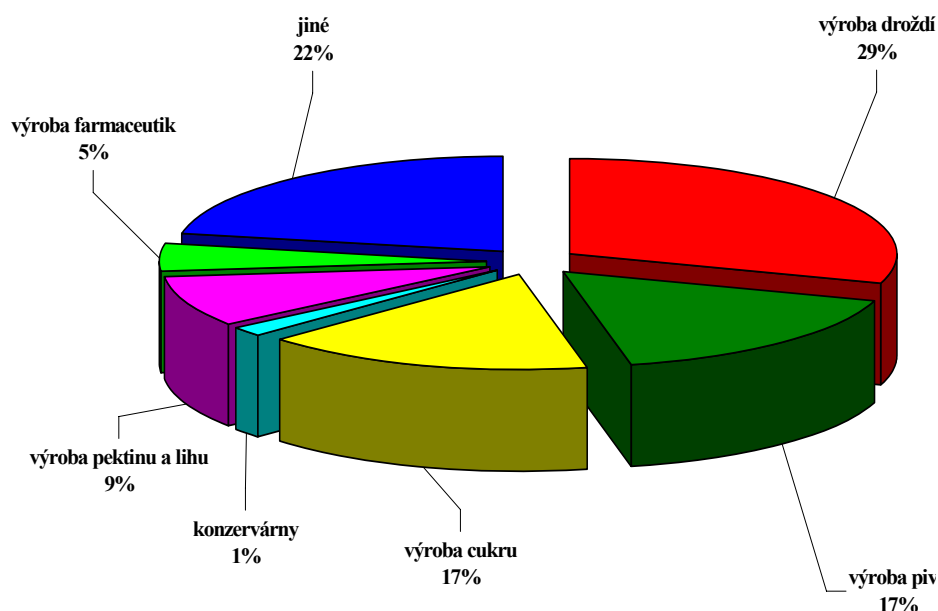
V průběhu roku 2005 byla uvedena do provozu bioplynová stanice v areálu závodu Tanex Vladislav a.s.. Tato bioplynová stanice zpracovává odpady vznikající při výrobě klišu.

V této kategorii je poměrně malý podíl ČOV využívajících bioplyn k výrobě elektrické energie. Hlavním důvodem je sezónnost výroby bioplynu (cukrovary, konzervárny, výroba piva) a vysoký obsah sulfanu v bioplynu ze zpracování droždářských odpadních vod.

Přehled průmyslových bioplynových stanic provozovaných v roce 2004 spolu s přehledem zpracovávaných odpadů je uveden v tabulce 3.11.

Tab. 3.11 - Průmyslové bioplynové stanice r. 2004

BPS	Substrát	Produkce BP	Výroba el. energie
	[m³/rok]	[tis m³/rok]	[MWh/rok]
Seliko, Olomouc	výroba droždí	1 200	0
TOMA a.s., Otrokovice	komunální a průmyslové OV	585	1 400
Radegast, Nošovice	pivovar	540	0
TTD a.s., Dobrovice	výroba cukru	3 066	0
Danisco, Smiřice	výroba pektinu	430	500
TIBA, Dvůr Králové	komunální OV + OV z výroby textilu	365	0
EasternSugar, Němčice	výroba cukru	2 628	0
Droždárna, Kolín	výroba droždí	290	182,5
Pivovar Krušovice	výroba piva	288	0
ICN Roztoky u Prahy	výroba farmaceutik	237	0
MARS Poříčí n S.	výroba cukrovinek	130	0
Pika Bzenec	konzervárny	701	0
Perri Crisps, Třemošná	výroba lupínků	6	0
CELKEM		10 466	2 082,5



Obr. 3.7 - Podíl jednotlivých výrob na celkové produkci bioplynu v průmyslových bioplynových stanicích

3.3. Zemědělské bioplynové stanice

3.3.1 Popis

Největší podíl odpadů vznikajících při zemědělské činnosti představují zbytky rostlin a exkrementy hospodářských zvířat. V obou případech se jedná o odpady s vysokým podílem organické hmoty a minerálních látek. Nejstarší a nejjednodušší formou nakládání s těmito “odpady” je jejich přímá aplikace na půdu a následné zaorání. V případě správného agrotechnického postupu při aplikaci jde bezesporu o proces, který má své opodstatnění. Současné technologie umožňují již dokonalejší využití těchto odpadů. Jednou z nejprogresivnějších je anaerobní fermentace. Tato technologie umožňuje, při zachování hnojivých účinků vstupní suroviny, využití části organické hmoty (odpadu) k produkci bioplynu jako zdroje energie.

Hlavní výhody anaerobní stabilizace zemědělských organických odpadů

- Produkce bioplynu s obsahem 50 – 75 % metanu, který je možno využít k výrobě tepelné a elektrické energie.
- Zvýšená využitelnost živin. Anaerobní stabilizace zvyšuje kvalitu hnojiva jeho homogenizací a transformací některých látek na látky s vyšším hnojivým účinkem. Společným zpracováním chlévské mrvy, obsahující větší množství draslíku, s kejdou prasat, obsahující větší množství fosforu, se získá kvalitnější hnojivo.
- Snížení zápachu. Anaerobně stabilizovaná kejda má výrazně nižší zápach než kejda surová.
- Levná a ekologicky čistá recyklace odpadů. Při kofermentaci kejdy s jinými organickými odpady se dosáhne brilantní recyklace odpadů. Ekologický aspekt zahrnuje i sanitární efekt stabilizace a účinné využití takto zpracovaných odpadů ke hnojení.
- Snížení obsahů zvířecích patogenů a semen plevelů.
- Pokles emisí skleníkových plynů. Bioplyn je obnovitelný zdroj energie. Nahrazením fosilních paliv klesá produkce oxidu uhličitého a navíc se snižují emise metanu z hnojišť.

První bioplynová stanice, zpracovávající odpad ze zemědělské výroby – kejdu prasat, byla uvedena do provozu v Třeboni již v roce 1974. V 90-tých letech v rámci státního programu Čištění odpadních vod z velkochovů, bylo postaveno několik stanic určených k anaerobní stabilizaci kejdy a slamnatého hnoje, využívajících domácích technologií a know-how. I v dnešní době jsou určité zajímavé provozní zkušenosti se snižováním koncentrace amoniaku v digestátu stripováním a destilací.

Na rozdíl od minulosti, kdy anaerobní fermentaci byla zpracovávána (upravována) hlavně kejda, je dnes z důvodu podporovaných výkupních cen energie z bioplynu, velká pozornost věnována zpracování substrátů s vyšším energetickým potenciálem. Jedná se hlavně o energetické plodiny jako je např. kukuřice. Z hlediska produkce bioplynu jsou zajímavé i jateční odpady u kterých navíc, při vlastním zpracování není potřeba platit externím zpracovatelům - kafilériím.

Ekonomicky zajímavým substrátem pro výrobu bioplynu se v České republice jeví fytomasa z trvalých travních porostů. Trvalé travní porosty – louky a pastviny, tvoří přibližně

čtvrtinu výměry (950 000 ha) obhospodařované zemědělské půdy České republiky. Rápidní pokles stavu skotu v posledních letech, zvyšující se produktivita zemědělství a finanční podpora mimoprodukčních funkcí zemědělství, jsou hlavními důvody produkce obrovských přebytků rostlinné biomasy. Jednou z nejperspektivnějších technologií jejího využití z hlediska ekonomického i environmentálního, je právě anaerobní fermentace, spojená s využitím vznikajícího bioplynu k výrobě elektrické energie a tepla. Zbytek po anaerobní fermentaci – digestát, obsahující nerozloženou část organické hmoty a prakticky nezměněné množství minerálních látek, je možno použít k zpětnému hnojení – recyklaci živin.

Největší růst počtu bioplynových stanic se v příštích letech očekává právě v zemědělském sektoru. Důležitým aspektem je snaha zemědělců o diverzifikaci zemědělské činnosti. Současné ceny zemědělských produktů jsou relativně nízké a růst jejich cen není v souladu s růstem cen vstupů. Navíc pravidelný měsíční příjem za vyrobenou elektrickou energii a případně teplo, zajišťuje v porovnání s typickým zpožděním plateb za zemědělské produkty vyrovnanější cash-flow v průběhu roku.

3.3.2 Současný stav

Dle statistiky MPO bylo v roce 2005 k energetickému využití spotřebováno 5,22 mil. m³ bioplynu vyrobeného v zemědělských bioplynových stanicích. Z uvedeného množství bioplynu bylo vyrobeno 8, 24 GWh elektrické energie což je o 1,1 GWh více než v roce minulém. Množství vyrobeného tepla, přes 67 tisíc GJ tepla, bylo prakticky stejné jako v roce 2004. (Tab. 3.12 a 3.13)

Tab. 3. 12 - Výroba elektřiny z bioplynu v roce 2005

	Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
Zemědělské stanice	1 954	8 242,5	2 163,2	5 613,5

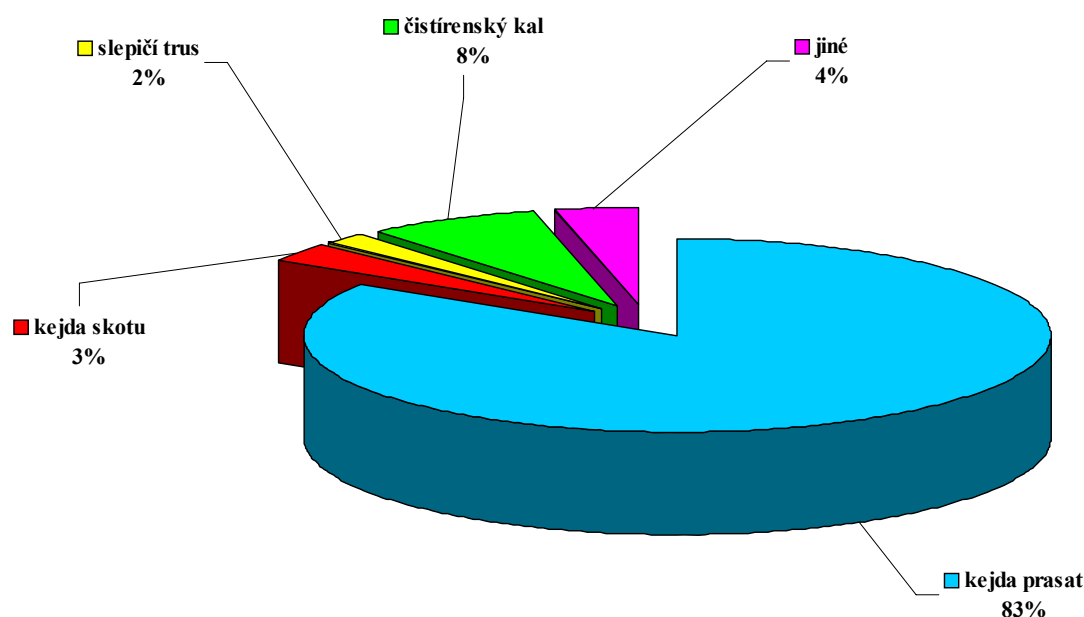
Tab. 3.13 - Výroba tepla z bioplynu v roce 2005

	Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (GJ)	Dodávky tepla (GJ)
Zemědělské stanice	3 569	67 222,5	67 222,5	0,0

Kromě bioplynové stanice společnosti Bocus – Letohrad, se jedná o zařízení postavena před rokem 2000. Jak vyplývá z obr. 3.8 převažujícím zpracovávaným substrátem je kejda prasat. Fermentory jsou železobetonové nebo ocelové. Elektrická energie je dodávána do sítě a teplo se spotřebovává hlavně na ohřev fermentorů a provozních budov. Většina tepla je v letním období mařena přes chladiče.

Tab. 3.14 - Zemědělské bioplynové stanice v ČR v r. 2005

BPS	Reaktorový objem	Substrát	Produkce bioplynu
	[m ³]	[t/rok]	[m ³ /rok]
V. Albrechtice	4 250	52 400	1 970 000
Třeboň	5 600	51 100	1 200 000
Mimoň	3 100	18 432	1 117 711
Plevnice	2 200	23 725	567 800
T. Štěpánov	700	10 220	328 500
Šebetov	3 800	27 800	250 000
Jindřichov	koše	slamnatý hnůj	200 000
Kladruby	1 020	13 200	170 000
Bocus Letohrad	700	10 000	



Obr. 3.8 - Podíl zpracovávaných substrátů v zemědělských BPS

V průběhu roku 2006 bylo v rámci programu MPO Obnovitelné zdroje, postaveno již několik nových zemědělských bioplynových stanic. Jelikož jsou maximálně ve zkušebním provozu, nejsou zde uváděná. Jejich parametry naznačují směr kterým se asi výstavba zemědělských bioplynových stanic bude v ČR ubírat. Jedná se o relativně velké stanice s elektrickým výkonem 0,5 – 1,5 MW, snahou o využití přebytečného tepla a hlavní surovinou kukuřiční siláži.

3.4. Komunální ČOV

3.4.1 Popis

Začátky výroby a využití bioplynu v České republice jsou, podobně jako v jiných zemích, spojeny s anaerobní stabilizací čistírenských kalů, vznikajících při aerobním čištění komunálních odpadních vod. První čistírny odpadních vod s anaerobní stabilizací kalu byly v České republice v provozu již v polovině minulého století. Dnes prakticky každá ČOV nad 50 000 EO je vybavená touto technologií.

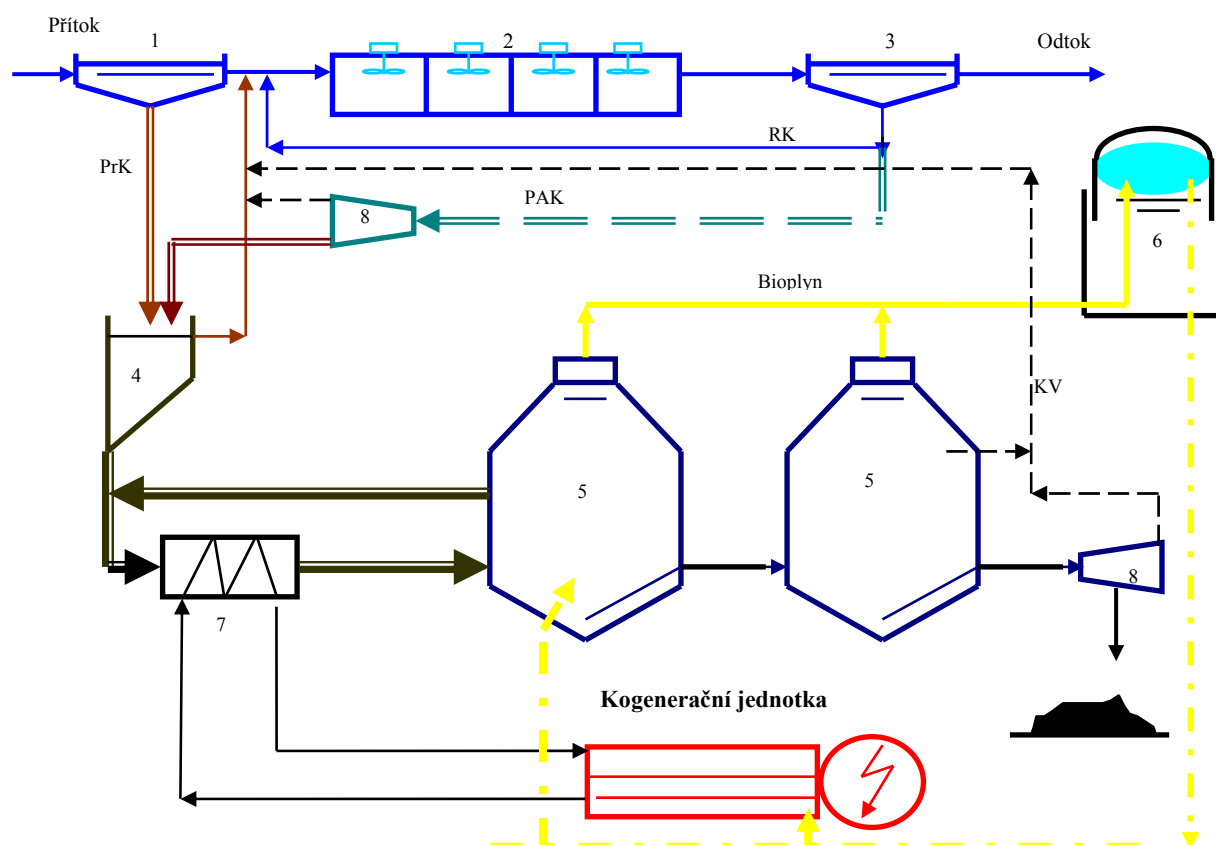
Zpracování a likvidace čistírenských kalů se stává jedním z nejdůležitějších a nejkritičtějších problémů čištění komunálních i průmyslových odpadních vod. V městských čistírnách odpadních vod představují kaly přibližně 1-2% objemu čištěných vod, je v nich však zkoncentrováno 50 až 80% původního znečištění.

V čistírnách odpadních vod vznikají obvykle dva druhy kalů, primární kal při primárním usazování přiváděné odpadní vody a přebytečný aktivovaný kal, odpadající po aerobním stupni biologického čištění odpadních vod. Primární kal obsahuje směs různých organických látek, z nichž část je velmi dobře a rychle rozložitelná. U aktivovaného kalu se jedná převážně o směs mikroorganismů, narostlých na rozpuštěném organickém znečištění odpadních vod a jejich množství závisí na množství odstraněného znečištění a druhu aerobního čištění. Složení a obsah organické sušiny surového kalu závisí na původu kalu (druh kanalizace, složení odpadních vod, poměr mezi primárním a aktivovaným kalem a pod.). V surovém kalu z městských čistíren odpadních vod je poměr organických látek v sušině k anorganickým přibližně 2:1, po anaerobní stabilizaci klesne tento poměr na 1:1. Předpokládá se, že při stabilizaci surového kalu klesá obsah organické sušiny o 45-65 %. Typický surový kal z městské čistírny obsahuje kolem 5 % sušiny (z toho asi 70 % látek organických), po stabilizaci a oddělení kalové vody má asi 7-10 % sušiny z toho asi 50 % látek organických.

Kalové hospodářství respektive jeho koncovka tj. využití nebo likvidace odpadajících kalů je na mnoha čistírnách odpadních vod limitujícím faktorem celého provozu čistírny. Na způsobu nakládání s kalem a na jeho využití závisí také modifikace linky pro úpravu a zpracování kalu na ČOV. Zatím je energeticky i ekonomicky nejvýhodnější biologické zpracování kalů anaerobní stabilizací, kdy vzniká využitelný plynný produkt – bioplyn a stabilizovaný kal.

Pro výběr technologie kalové koncovky čistírny odpadních vod je základním parametrem množství a charakter čištěných odpadních vod, způsob jejich čištění a množství produkovaných kalů. Anaerobní stabilizace s produkcí bioplynu je nejrozšířenějším způsobem zpracování čistírenských kalů na větších čistírnách (od 30 000 EO). V poslední době se vyvíjejí technologie i pro anaerobní stabilizaci tuhých městských odpadů a technologická zařízení pro aplikaci anaerobní technologie s výrobou bioplynu i u menších čistíren od 10 000 EO.

Hospodárnost anaerobní stabilizace čistírenských kalů je závislá na koncentraci sušiny zpracovávaného materiálu. Z tohoto důvodu je často přicházející materiál podrobován procesu zahušťování, které je prováděno buď sedimentačně nebo strojně (odstředivky, lisy a pod.).



Obr. 3.9 - Schéma komunální čistírny odpadních vod s anaerobní stabilizací kalu

1-usazovací nádrž, 2-aktivační nádrž, 3-dosazovací nádrž, 4-homogenizační nádrž, 5-vyhnívací nádrže (fermentory), 6-plynojem, 7-ohřev kalu, 8-odstředivka, PrK- primární kal, PAK- přebytečný aktivovaný kal, RK-recyklovaný kal, KV-kalová voda

Až donedávna byla anaerobní stabilizace kalu, tj. snížení obsahu organických látek, chápána hlavně jako nevyhnutelné zlo spojené s čištěním odpadních vod, které odčerpává až 50 % provozních nákladů čistírny a vzniklý bioplyn slouží k vytápění reaktorů v lepším případě provozních budov. Zvýšení výkupních cen elektrické energie, vyráběné z obnovitelných zdrojů energie, dává majitelům a provozovatelům čistíren možnost přehodnotit přístup k anaerobní stabilizaci a následné produkci a využití bioplynu.

3.4.2 Současný stav

V současnosti přes 50 % z celkového množství bioplynu využívaného k energetickým účelům, pochází z komunálních ČOV s anaerobní stabilizací čistírenského kalu. Podle statistik MPO to je 54,931 milionů m³. Z uvedeného množství se v roce 2005 vyrobilo 71,4 GWh elektrické energie, při instalovaném elektrickém výkonu 16,4 MW a přes 791 TJ tepelné energie. K výraznému postavení komunálních čistíren přispívá Ústřední ČOV v Praze, která produkuje kolem 40 % celkového množství bioplynu využívaného k energetickým účelům na všech ČOV a podílí se třetinou na výrobě elektřiny.

Poměrně vysoký podíl vlastní spotřeby (kolem 80 %) je daný velkou spotřebou elektrické energie pro vlastní aerobní čištění odpadních vod. Podobně to je i v případě tepla, kde 100 % vyrobeného tepla je spotřebováno vlastní ČOV hlavně na temperaci fermentoru. Existující přebytek tepla v letním období je řešen jeho likvidací chlazením, ale je vykazován jako vlastní spotřeba.

Tab. 3.15 - Výroba elektřiny z bioplynu - komunální ČOV v roce 2005

	Počet zařízení	Instalovaný elektrický výkon (kW)	Výroba elektřiny (MWh)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (MWh)	Dodávka do sítě (MWh)
Komunální ČOV	67	16 413	71 446,5	56 588,6	14 857,9

Tab.3.16 - Výroba tepla z bioplynu - komunální ČOV v roce 2005

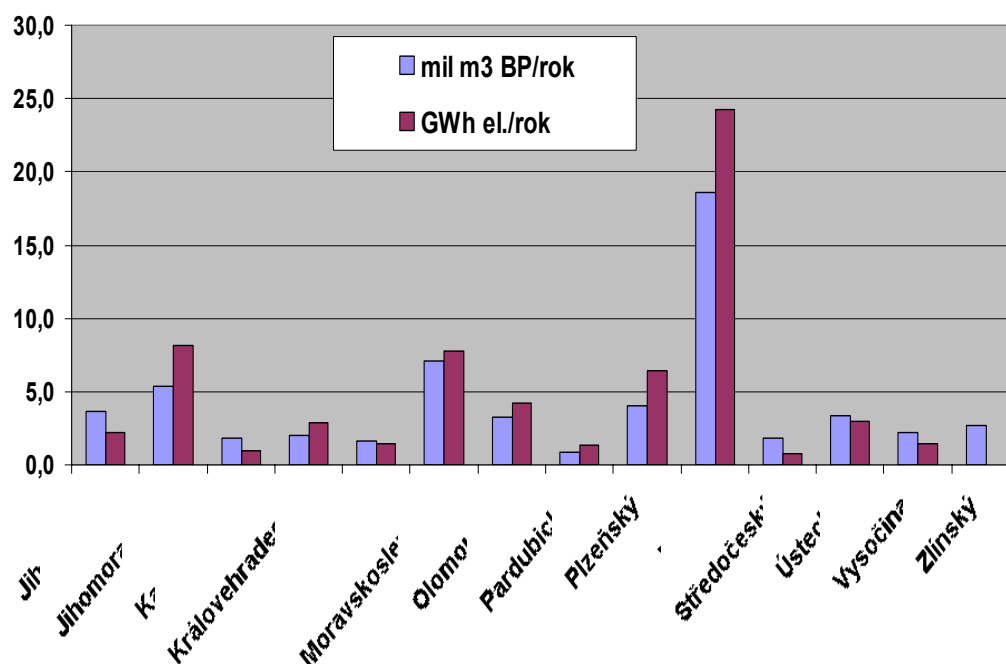
	Počet zařízení	Instalovaný tepelný výkon (kW)	Výroba tepla (GJ)	Vlastní spotřeba vč.ztrát (GJ)	Dodávky tepla (GJ)
Komunální ČOV	205	88 703	791 462,8	791 462,8	0,0

Lokalizace komunálních ČOV s anaerobní stabilizací kalu na území České republiky je uveden na obr.3.10. ČOV jsou značeny podle množství bioplynu vyrobeného v průběhu roku následovně: největší označení je pro ČOV s roční produkcí bioplynu přes 1 mil. m³,

prostřední 0,5 - 1,0 mil. m³ a nejmenší označení je pro ČOV s produkcí menší než 0,5 mil. m³ bioplynu.



Obr. 3.10 - Komunální ČOV s anaerobní stabilizací kalu na území České republiky



Obr. 3.11 - Množství vyrobeného bioplynu v milionech m³ ročně a produkci elektrické energie v GWh za rok, je pro jednotlivé kraje ČR uvedeno v následujícím grafu. Produkce bioplynu a potažmo výroba elektrické energie je daná hlavně výskytem velkých ČOV hlavně v krajských městech. Vykřičníkem zdůrazňujícím tento fakt je ÚČOV Praha.

4. Přehled intenzifikačních technologií

Biologické metody

Mezi biologické metody desintegrace se zařazuje přidavek vhodných enzymů případně mikroorganismů napomáhající rychlejší hydrolýze

V literatuře je použití enzymů ke zlepšení anaerobní stabilizace často diskutováno. A přesto, že lze nalézt údaj o jejím prohloubení o 10 %, výsledky různých výzkumů se značně liší. Využití enzymů pro úpravu primárního kalu s vysokým obsahem lignocelulózních materiálů se zdá být nejméně úspěšný. Aplikace enzymů do přebytečného aktivovaného kalu může vést k rychlé degradaci enzymů samotných, dříve než dojde k enzymatické hydrolýze.

Určitou nevýhodou biologických metod je v porovnání s dalšími špatná reprodukovatelnost výsledků.

Je možné, že biologické metody dezintegrace najdou v budoucnu širší uplatnění zejména pro specifické substráty jako např. celulóza, lignin apod.. V současnosti však není dostatek provozních aplikací, které by zdůvodňovali ekonomickou výhodnost těchto metod.

Chemické metody

Patří obecně mezi vysoce účinné způsoby hydrolýzy. Je minimálně v laboratorním měřítku odzkoušená celá škála chemických látek reagujících se sloučeninami buněčné stěny např. u čistírenských kalů (detergenty, rozpouštědla, ozón). Největší pozornost však byla věnovaná použití minerálních kyselin a zásad, zvyšujících rozklad i materiálu s vysokým obsahem celulózy. Hydrolýzu lze realizovat v podstatě v celém rozsahu pH. V kyselém prostředí kyseliny chlorovodíkové při pH 6 proběhne hydrolýza během 6 až 12 hodin. V zásadité oblasti pH 11,5 - 12,5 dochází k hydrolýze během 20 až 30 minut.

Úprava buněk alkáliemi je razantní metoda, kdy při vysokých hodnotách pH média buňky ztrácí životaschopnost a nemohou udržovat vnitřní napětí. Buňky praskají a buněčný materiál

se uvolní do roztoku, kde tak vzroste koncentrace proteinů. Když se pH v kalu zvýší, povrch buněk se negativně nabije. Tím se vytváří elektrostatický odpor, který způsobuje desorpci některých částí extracelulárních polymerů. Alkálie reagují s buněčnými stěnami několika způsoby, jedním z nich je saponifikace lipidů buněčné stěny, která vede k rozpuštění membrány. Vysoké koncentrace alkálií vyvolají mnoho degradací včetně denaturace bílkovin. Tato metoda směřuje jak k rozrušení buněčné stěny, tak k rozbití uvolněných produktů.

Mechanické metody - sem patří dezintegrace a mletí tuhých látek přítomných v substrátu různými druhy mlýnů (vysokorychlostní kulový mlýn, dispersní mlýn, koloidních mlýn) vysokotlakým homogenizátorem, ultrazvukem, apod.

Zajímavou a provozně ověřenou mechanickou metodou je desintegrace čistírenských kalů v zahušťovací odstředivce s integrovaným zařízením pro destrukci buněk

Během zahušťování přebytečného aktivovaného kalu v centrifugách dochází k mechanickému rozrušení malé části buněk mikroorganismů střížnými silami. Umístěním lyzovacího (rozrušovacího) zařízení do proudu vystupujícího zahuštěného kalu se zvýší účinnost destrukce buněčných stěn. Využije se tím částečně přebytek kinetické energie centrifugy. Takto upravená centrifuga je potom využívána jako dvojúčelové zařízení k lyzaci a zahušťování. Množství rozbitých buněk závisí na parametrech centrifugy (počet otáček, průměr bubnu, atd.), na druhu rozrušovacího zařízení a na druhu a kvalitě zpracovávané biomasy zpracovávaného aktivovaného kalu. Lyzace probíhá v centrifuze v oblasti zahuštěného kalu, a proto nedochází k ovlivnění jakosti centrátu. Kal zahuštěný lyzátovací centrifugou je dále podroben anaerobní stabilizaci (Dohányos et al., 1994; Zábranská et al., 1996, Kutil et al., 1998, Vít et al., 1998).

Komplexnímu vyhodnocení této metody bude věnovaná samostatná kapitola.

Fyzikální metody

Z hlediska provozních aplikací jsou z této skupiny nejrozšířenější termická hydrolýza - využívající působení zvýšené teploty a tlaku úpravu, a desintegrace ultrazvukem. Oběma technologiím bude věnovány samostatné kapitoly.

Biologické	Mechanické	Fyzikální	Chemické
Enzymová lyze	Kulové mlýny	Zmrazování- rozmrazování	Kyselá nebo alkalická hydrolýza
Autolýza	Vysokotlaký homogenizátor	Osmotické šoky	Oxidace H_2O_2/O_2
	Ultrazvuk	Plazmové pulsy	Ozon
	Lyzátovací zahušťovací centrifuga	Tepelná předúprava Cambi proces RTR	Mokrý oxidace

Stanovení stupně desintegrace

Při desintegraci dochází ke zmenšení velikosti částic (rozbití vloček kalu) a rozrušení buněčných stěn s následným uvolněním buněčného obsahu do roztoku. Uvolnění organického obsahu z buněk většinou představuje primární cíl desintegrace kalu. Jelikož mezi desintegrací buněk a jejich uvolněným obsahem je přímá souvislost, lze přírůstek rozpuštěných organických látek v kapalně fázi brát jako hodnotu charakterizující stupeň desintegrace kalu. Zatímco desintegraci kalových vloček lze určit metodou distribuce částic různých velikostí, k určení stupně desintegrace buněk je třeba aplikovat jiné metody.

Stupeň desintegrace se vyjadřuje jako poměr přírůstku množství rozpuštěných organických látek uvolněných desintegrací do roztoku k celkovému množství organických látek ve zpracovávaném materiálu (kalu). Stupeň desintegrace buněk se určuje na základě stanovení $CHSK_{Cr}$. Nejdříve se u kalu před desintegrací stanoví $CHSK_{Cr}$ homogenizovaného směsného vzorku kalu (tzn. pevné i kapalně fáze) a poté se po separaci pevné fáze téhož vzorku (na vysokoobrátkové odstředivce) stanoví $CHSK_{Cr}$ pouze v kapalně fázi. Po desintegraci se stanoví pouze $CHSK_{Cr}$ kapalně fáze pro zjištění přírůstku organických látek uvolněných do roztoku.

Často se používá i druhá (německá) metoda stanovení stupně desintegrace. Podle této metody se stupeň desintegrace vyjadřuje jako poměr přírůstku množství rozpuštěných organických látek uvolněných desintegrací do roztoku k celkovému množství organických látek uvolněných alkalickou hydrolýzou kalu před desintegrací. Homogenizovaný směsný vzorek se podrobí alkalické hydrolýze a poté se stanoví $CHSK_{Cr}$ kapalně fáze. Stanovení $CHSK_{Cr}$ v kapalně fázi směsného vzorku (po separaci) je totožné jako u výše uvedené

metody. Takto stanovený stupeň desintegrace pak dává přibližně dvojnásobné hodnoty oproti metodě založené na poměru k celkové $CHSK_{Cr}$.

Vzorec pro výpočet stupně desintegrace (SD):

$$SD = \frac{CHSK_{rozp.ZPAK} - CHSK_{rozp.PAK}}{CHSK_{hom og.ZPAK} - CHSK_{rozp.PAK}} * 100 \quad [\%]$$

Kde:

$CHSK_{Cr}$ rozpZPAK: $CHSK_{Cr}$ v kapalně fázi (vzorek po laboratorním odstředění) desintegrovaného zahuštěného přebytečného aktivovaného kalu

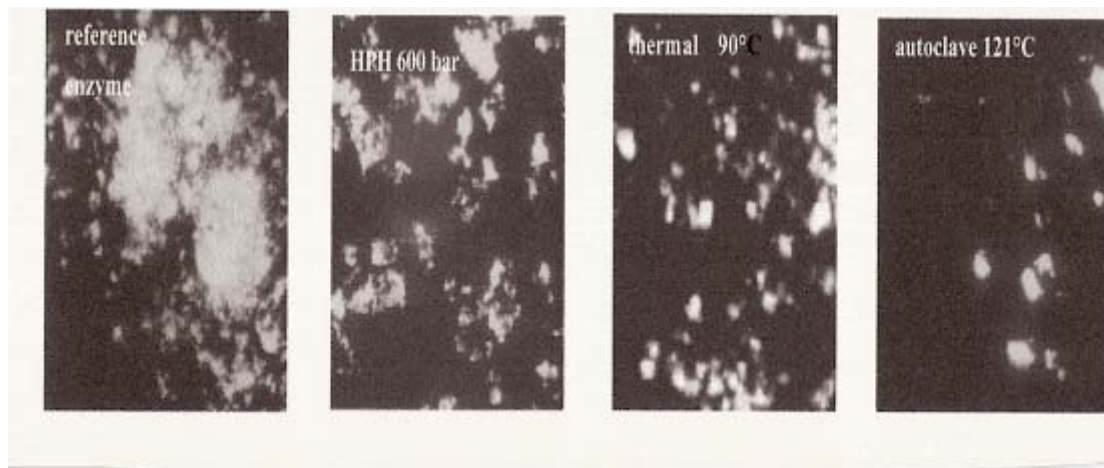
$CHSK_{Cr}$ rozPAK: $CHSK_{Cr}$ v kapalně fázi (vzorek po laboratorním odstředění) přebytečného aktivovaného kalu před desintegrací

$CHSK_{Cr}$ homogZPAK $CHSK_{Cr}$ v homogenizovaném vzorku (původní vzorek) desintegrovaného zahuštěného přebytečného aktivovaného kalu

Poznámka: U druhé metody vyjadřování stupně desintegrace se místo $CHSK_{homogZPAK}$ použije $CHSK_{Cr}$ kapalně fáze po alkalické hydrolyze homogenizovaného vzorku.

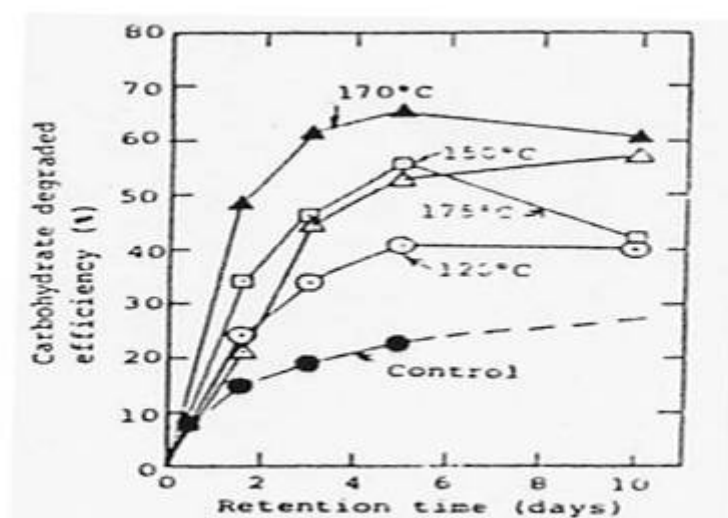
4.1 Termická hydrolýza

Princip technologie termické hydrolýzy je založen na zjištění, že při působení vysoké teploty (150 - 180 °C) a tlaku (6 MPa) na buňky, dochází k narušení tuhých buněčných komponent a hydrolýze makromolekulárních struktur buňky.



Obr. 4.1.1 - Vliv předúpravy na vzhled přebytečného kalu

Desintegrovaný - hydrolyzovaný materiál je pak lépe odbouratelný při následné anaerobní fermentaci.



Obr. 4.1.2 - Vliv tepelné předúpravy přebytečného kalu a doby zdržení (retention time) na rozklad organické hmoty (vyjádřeno jako % rozkladu polysacharidů)

Výzkum v oblasti termické hydrolýzy za účelem zlepšení procesu anaerobní stabilizace čistírenských kalů začal v 70tých letech minulého století, kdy společnost CH2M HILL (USA) uvažovala o využití této technologie pro město Los Angeles. Technologie však měla problémy například s vysokotlakým čerpáním kalu, nespolehlivostí výměníků tepla a s rychlým opotřebením některých prvků technologie. V devadesátých letech se termická hydrolýza začala věnovat norská firma Cambi A/S, která dovedla termickou hydrolýzu do provozního uplatnění.

V České republice byla vyvinuta modifikace termické hydrolýzy kalu tzv. „Rychlá termická kondicionace biomasy“. Materiál určený k úpravě se podrobí ohřevu po dobu několika minut, při teplotě 100 - 200 °C a tlaku 0,1 - 1,3 MPa. Poté dojde k rychlému uvolnění tlaku a snížení teploty, což způsobí destrukci buněk a uvolnění jejich obsahu do roztoku.

Obě modifikace termické hydrolýzy jsou provozně prověřeny a s možností implementace i do stávajících bioplynových provozů. Zvýšená odbouratelnost upraveného materiálu zvyšuje produkci bioplynu. I přes nutné vnosy energie (teplota, tlak) je proces energeticky pozitivní. Navíc dochází k dokonalé hygienizaci zpracovávaného materiálu. Nezanedbatelným přínosem je i nižší produkce digestátu.

4.1.1 Popis technologie

4.1.1.1 Rychlá termická kondicionace biomasy na ČOV Klatovy

Původní termický – lyzátovací reaktor byl na ČOV Klatovy provozován v samostatném stavebním objektu, v němž byla umístěna i parní kotelna. Jednalo se o účelovou, bioplynovou kotelnu, poskytující páru pro proces lyzace. Objekt s reaktorem a kotelnou byl součástí dílčího provozního souboru starého anaerobního reaktoru 1 (staré metanizační - vyhnívací nádrže 1). Tento lyzátovací reaktor pracoval od 04/2000 a dále i po celou dobu první etapy generální rekonstrukce a modernizace ČOV Klatovy, až do konce září 2002. Za tuto dobu byly získány cenné provozní zkušenosti a byly potvrzeny výhody této intenzifikace (zvýšený vývin bioplynu, zvýšení účinnosti odstranění organického podílu sušiny kalu při stabilizaci,

posílení tepelného systému pro vytápění anaerobního reaktoru. V průběhu generální rekonstrukce byl starý anaerobní reaktor 1 přestavěn na uskladňovací nádrž 1 (rekuperační nádrž), vybavenou trubkovým rekuperátorem - za účelem přestupu tepla z termofilně stabilizovaného kalu do surového směsného kalu. Účelová parní kotelná se v průběhu stavby stala součástí modernizovaného energocentra. Inovovaný, rychlý termický reaktor (RTR) byl umístěn do stavebního objektu strojovny MN1 + MN2 (modernizované, metanizační – vyhnívací nádrže 1 a 2). MN1 a MN2 jsou z hlediska průtoku kalu stabilizačním procesem zapojeny sériově, termický reaktor je funkčně připojen k MN1, která je již provozována v termofilním režimu.

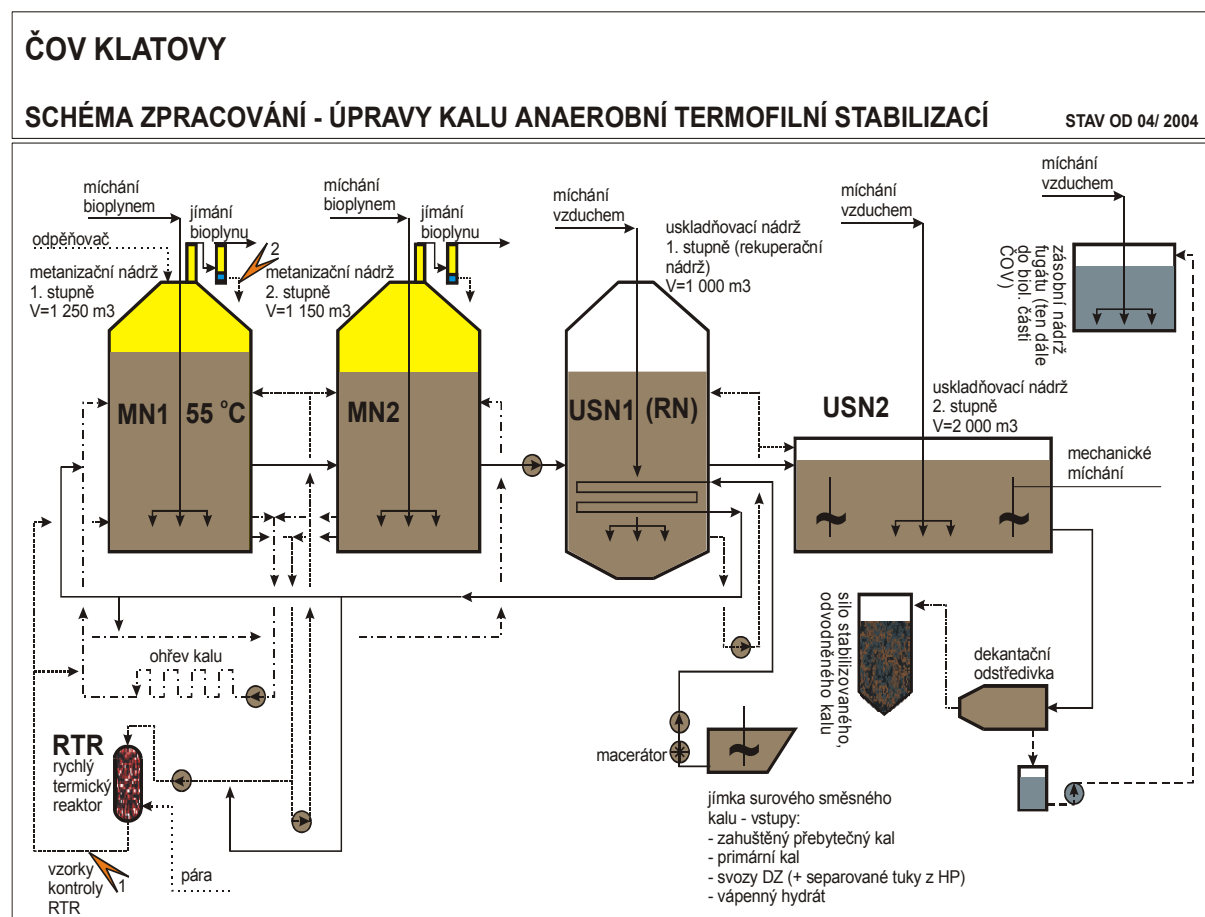
Z hlediska konstrukce je RTR tlaková nádoba se speciální vestavbou, umožňující rychlý, přímý ohřev kalu sytou parou. Zapojení RTR umožňuje ohřívát (lyzovat) jak kal (směs) z metanizačních nádrží, tak i surový směsný kal.

Výroba páry pro RTR je zajišťována v lokální parní kotelně s parním kotlem (výkon 0,5 t páry/h), vybaveným kombinovaným, automatickým hořákem ($\sim 50 \text{ m}^3 \text{ BP/h}$; $\sim 30 \text{ m}^3 \text{ ZP/h}$), který může spalovat jak bioplyn, tak i zemní plyn. Součástí parní kotelny je napájecí systém se změkčovacím filtrem a dávkováním účelových chemikálií (pyrosíran a fosforečnan sodný).

V daném případě do RTR vstupují 2 média – pára ($T \sim 180 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta p \sim 0,8 \text{ MPa}$) a kalová směs (zvláště čerpaný proud z MN1 o $T \sim 55 \text{ }^\circ\text{C}$), z RTR pak vystupuje 1 médium – lyzátová směs

($T \sim 140 \text{ }^\circ\text{C}$, $\Delta p \sim 0,6 \text{ MPa}$), vedená zpět do MN1. Doba provozu RTR se mění podle ročního období, respektive podle klimatických teplot, které ovlivňují dodávku tepla do vytápěné MN1. V letním období je RTR provozován cca 4,5 h/den, v zimním období pak cca 7,5 h/den. V letních měsících postačuje teplo v lyzátové směsi prakticky zcela k ohřátí surového kalu i ke krytí tepelných ztrát MN1.

Princip zapojení RTR včetně úpravy kalu s použitím anaerobní termofilní stabilizace na ČOV Klatovy je patrný z následujícího technologického schématu.

**Obr. 4.1.3**

V nových podmínkách – po generální rekonstrukci ČOV byl RTR spuštěn v na počátku března 2004 a je prakticky bez přerušení (kromě krátkodobé odstávky v září 2004) v provozu. V tomto II. provozním období (03/2004-07/2005) se opět potvrdily výhody zaznamenané už v I. provozním období (04/2000-09/2002). Ve II. provozním období RTR se oproti I. období výrazně zvýšil rozsah provozního sledování. To umožnil jednak automatizovaný informační a řídicí systém ČOV, tak i modernizovaná provozní laboratoř Šumavských vodovodů a kanalizací – provozovatele ČOV Klatovy. Z celé škály sledovaných ukazatelů kalového a plynového hospodářství ČOV bylo pro účely tohoto příspěvku vybráno 37 položek.

Údaje byly statisticky zpracovány do 3 skupin

A: aritmetických průměrů stavu před spuštěním RTR (průměr 05/2003-02/2004),

B: aritmetický průměr stavu při provozu RTR – s vyloučením nestandardního období 09/2004-11/2004 (průměr 03-08/2004 a 12/2004-07/2005),

C: aritmetický průměr stavu od zahájení zkušebního provozu v 05/2003 do současnosti (průměr všech hodnot od 05/2003 do 07/2005).

Údaje skupiny B ve srovnání se skupinou A ukazují, že při kondicionování kalové směsi buněčným lyzátem (provozem rychlého termického reaktoru) došlo ke zvýšení účinnosti odstranění organického podílu sušiny kalu z 51,2 % na 61,6 %. Specifická produkce bioplynu z 1 přivedeného kg VLzž se zvýšila z 0,61 m³/kg na 0,72 m³/kg. Celková produkce bioplynu se zvýšila z 1 571 m³/d na 1 911 m³/d, čímž vzrostlo i využití kogenerační jednotky z 54 % na 64 %. Vyrobená elektrická energie tak zrostla z původních 3 347 kWh/d na 3 949 kWh/d.

Kromě výše uvedených výhod však byla zaznamenána i jedna nevýhoda a to zvýšená specifická spotřeba flokulantu na odvodnění stabilizovaného kalu (přesto, že obsah organických látek ve stabilizované kalu poklesl z původních 60,8 % na 56,1 % !!). A to z 11,0 g/kg VL na 12,6 g/kg VL (zhoršení konzistence odvodněného kalu – např. lepivost apod. nepozorováno). Nutno poznamenat, že tento nárůst byl do určité míry kompenzován mírným zvýšením koncentrace sušiny odvodněného kalu – z původních 24,1 % na 24,7 % a rovněž i zvýšením bilance celkové sušiny odvodněného kalu – z původních 1,7 na 1,9 t VL/d. Avšak zvýšení specifické spotřeby flokulantu je nicméně markantnější.

Tento zaznamenaný negativní jev by však mohl možná mít i jiné příčiny, než někdy připisovaný vliv buněčného lyzátu. V současné době se například zabýváme analýzou vlivu používaných provozních chemikálií – anorganického koagulantu PIX XL2 (srážení zbytkového fosforu) a vápenného hydrátu (alkalizace surového kalu).

Z hlediska ekonomického však nárůst specifické a tudíž i absolutní spotřeby flokulantu není příliš významný – zvýšení absolutní spotřeby flokulantu představuje cca 3 kg/d, což při ceně cca 100,- Kč/kg reprezentuje 300,- Kč/d. Toto zvýšení provozních nákladů je však kompenzováno cenou za zvýšenou výrobu elektrické energie, kdy cenový zisk představuje cca 1 500,- Kč/d.

Závěrem možno konstatovat, že kondicionování kalové směsi buněčným lyzátem prostřednictvím rychlého termického reaktoru se v provozu ČOV Klatovy, tj. v provozu s vyšším zatížením kalového hospodářství, osvědčilo. Podle dosavadních výsledků sledování tak v tomto případě pozitiva jednoznačně převažují nad negativy.

4.1.1.2 Termická hydrolýza - systém CAMBI

Provozně aplikovatelná technologie termické hydrolýzy byla vyvinuta v období 1990 – 1995 a provozně testována v Hamaru (Norsko) firmou CAMBI. Vývoj technologie vycházel ze dvou poznatků :

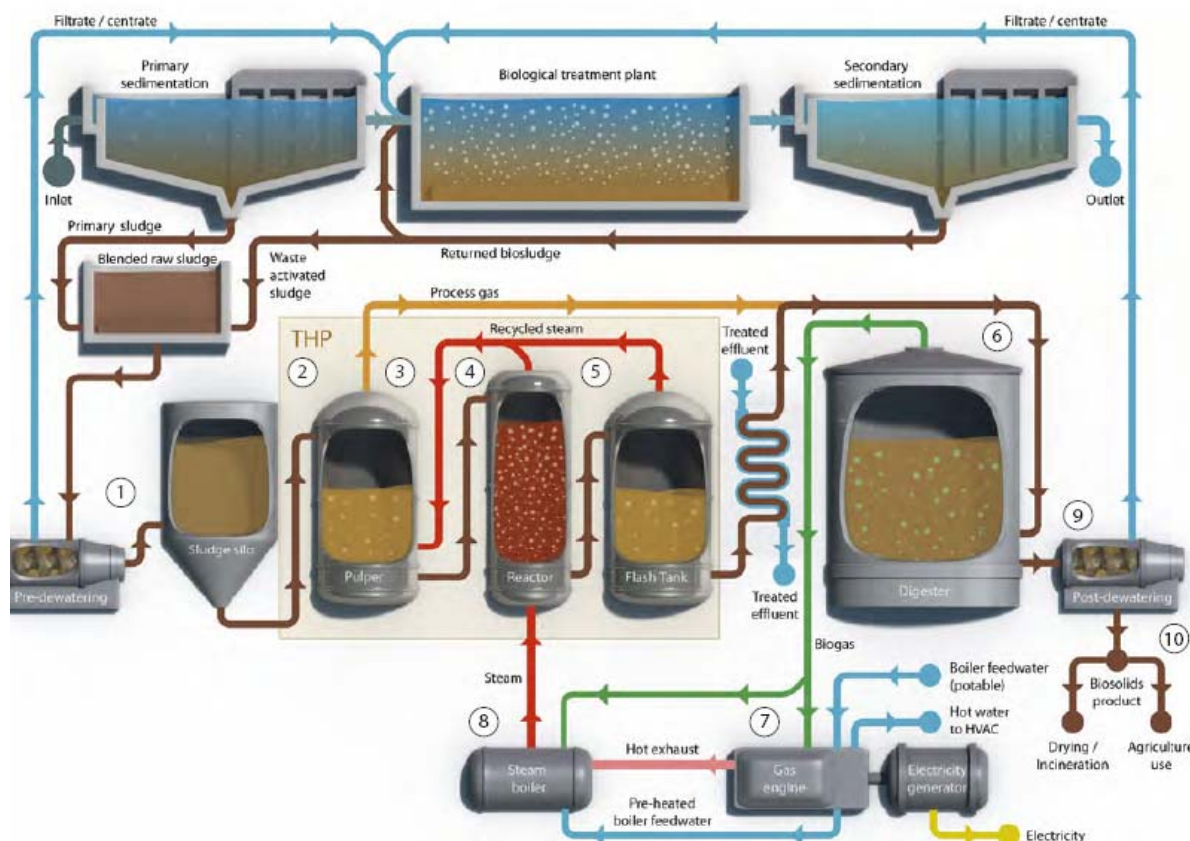
1. V laboratorním měřítku bylo prokázáno, že termická tlaková úprava kalu v rozmezí 150 – 180 °C má velký pozitivní vliv na následnou anaerobní fermentaci.
2. Tepelná úprava má vliv na odvodnění kalu, ale je spojena se zvýšenou korozí použitých materiálů, problémy s transferem technologie do provozních měřítek a problémy s CHSK ve filtrátu.

Cambi provedla několik zásadních úprav technologie. Místo ohřevu kalu přes výměníky tepla byl použit přímý ohřev zahuštěného kalu párou. Tím se odstranili problémy s čerpáním při vysokých tlacích a problémy s korozí tepelných výměníků. Předehřívání kalu odstraňuje navíc vibrace a nestabilitu systému při aplikaci páry do studeného kalu.

Druhá zásadní idea byla snížit teplotu předchozí tepelné úpravy tak, aby kal mohl být fermentován. V tomto případě byla obětována výrazná výhoda odvodnění za cíl získat hydrolyzovaný substrát, který má vysokou odbouratelnost a nevede k vysokým hodnotám těžko odbouratelné CHSK, jak tomu je u jiných technologií tepelných úprav.

Dnešní standardní technologie CAMBI má tři základní technologické prvky:

- Zásobní - homogenizační nádrž (Pulper tank)
- Vlastní hydrolyzační reaktor (Thermal treatment reaktor)
- Zásobní - Flash nádrž (Flash tank)



Obr. 4.1.4 – Schéma technologie Cambi

1. Primární a přebytečný kal je smíchán a zahuštěn na cca 16% sušiny
2. Odvodněný kal je veden do uskladňovací nádrže a následně do homogenizační tlakové nádrže (Pulper tank)
3. V homogenizační nádrži je kal přehříván recyklovanou párou z hydrolyzačního reaktoru a flash tanku. Zvyšováním teploty klesá viskozita upravovaného materiálu. Snížená viskozita média umožňuje míchat obsah nádrže hydraulicky. Z důvodu eliminace zápachu jsou těkavé nízkomolekulární látky - plyny, dopravovány pomocí kompresoru do kalového potrubí a následně do anaerobního fermentoru.
4. Přehřátý kal je z „pulperu“ čerpán do hydrolyzačního reaktoru (ů). Po naplnění se začne do reaktoru přivádět pára až do dosažení požadované teploty a tlaku v reaktoru. Proces probíhá v vsázkovém - batch provedení. U velkých zařízeních se dosahuje semikontinuálního procesu použitím více reaktorů. Teplota, tlak a doba zdržení směsi v reaktoru jsou ovlivněny charakteristikou zpracovávaného

materiálu. Minimálním kritériem je dosažení sterilizace. Po 30 minutách se postupně otevře tlakový ventil reaktoru a dojde k poklesu tlaku.

Průběh hydrolýzy z hlediska trvání jednotlivých operací v jedno reaktorovém provedení a teplotou hydrolýzy 133-180 °C je následovní.

- 15 minut pro naplnění reaktoru
 - 15 minut pro aplikaci páry
 - 30 minut doba zdržení (může být mezi 20 - 30 minutami)
 - 15 minut na přepuštění páry do pulperu
 - 15 minut na přepuštění obsahu reaktoru do „flash“ tanku.
5. Po hydrolýze je kal veden do „Flash tanku“ kde je snížena jeho teplota na 105 °C , uvolněním páry obsažené v hydrolyzovaném materiálu. Uvolněná pára slouží k předehřátí obsahu homogenizačního reaktoru. Flash tank slouží i jako zásobník pro další zpracování hydrolyzovaného materiálu anaerobní fermentací.
6. Teplota hydrolyzátu je před dávkováním do anaerobního reaktoru upravena (snížena) ve výměníku tepla.
7. Bioplyn je využíván v kogenerační jednotce k výrobě elektrické energie a tepla.
8. Technologická pára je vyráběná v parním vyvíječi. K předehřevu vody se využívá teplo z chlazení kogenerační jednotky. Jako hlavní zdroj tepla slouží výfukové plyny a menší část, dodatkové teplo, se získává přímo spalováním části bioplynu
9. Fermentační zbytek - digestát - je zahuštěn na sušinu cca 30 - 34 %.

Technologie termické hydrolýzy kalu firmy CAMBI, Norsko je využívána v provozním měřítku na ČOV v rozsahu 1000 – 35000 tun sušiny kalu ročně. Od roku 1995 bylo postaveno 10 zařízení na termickou úpravu substrátu a všechny fungují bez problému. Tři další jsou v současnosti ve fázi výstavby.

Výrobce uvádí následující výhody technologie:

- vyšší produkce bioplynu – kolem 60 % redukce organických látek
- menší množství kalu, přes 30 % sušiny
- možnost zvýšení zatížení reaktoru, 5 – 6 kg organických látek/m³. den
- dokonalá hygienizace kalu – bez patogenů
- vysoká stabilita anaerobní digesce
- snížení potřeby reakčního objemu – na polovinu v porovnání s klasickou digescí

Technologie může být snadno integrovaná do stávající technologie anaerobní digesce. Každá ČOV je optimalizována s cílem dosažení nejnižších možných provozních nákladů. Při všech realizacích si CAMBI poradila s konkrétními problémy a všechny ČOV pracují bezproblémově.

4.1.2 Příklad použití

HIAS, Norsko, 1995

ČOV HIAS slouží k čištění odpadních vod pro město Hamar a několik přilehlých obcí. Čistírna je navržena pro 90 000 EO. V roce 1995 zde Cambi postavila svoji první provozní technologii termické hydrolýzy kalu (THP) jako součást nového kalového hospodářství zahrnující hydrolýzu, anaerobní stabilizaci a odvodnění kalů. Od této doby je technologie úspěšně provozována. Technologie má roční kapacitu 3 600 tun sušiny kalu, při průměrné sušině 16 %. Samotná ČOV produkuje ročně kolem 2 600 tun sušiny kalu, ale vzhledem k zájmu o výsledný produkt, čistírna postupně zvyšuje dovoz surového kalu z okolních čistíren. V lednu roku 2005 získala Cambi AS kontrakt na dodávku dalšího anaerobního termofilního reaktoru s cílem zvýšit kapacitu čistírny.

Chertsey, Anglie, 1998

Cambi THP technologie v Chertsey poblíž Londýna byla uvedena do provozu v roce 1998. Technologie je navržena na 8 000 tun sušiny kalu ročně, produkováného v Chertsey, Leatherhead, Esher a jiných čistírnách. Použitím technologie Cambi se zdvojnásobila kapacita reaktoru v Chertsey. Technologie je provozována firmou Cambi.

Naestved, Dánsko, 2000

Naestved leží přibližně 90 km jižně od Kodaně. ČOV je v majetku města a technologie Cambi je navržena na roční kapacitu 1 600 tun sušiny kalu. V roce 2000 byl instalován „bypas“ na usazovací nádrži s cílem snížit obsah endokrinních polutantů v kalu. Produkovaný kal byl těžko fermentovatelný a odvodnitelný. Použitím technologie Cambi došlo k dramatickému snížení množství produkovaného anaerobně stabilizovaného kalu. Zvýšení produkce bioplynu, zvýšená flexibilita a bezpečnost zlepšily ekonomiku čistírny. Cambi technologie zdvojnásobila odbouratelnost a zahuštění kalu.

Tab.4.1.1 - Naestved – hmotnostní bilance

Naestved	Před termickou hydrolýzou 1999	Po termické hydrolýze 2000 (Extrapolace z prvních 6 měsíců)
Surový kal, tuny sušiny ročně	850	850
Vyhnílý kal, tuny sušiny ročně	714	589
Zahuštění %	17-19	30-34
Produkce kalu v tunách	4708	1840
% redukce org. látek	30	54-60

Aberdeen, Skotsko, 2001

Čistírna zpracovává kal od přibližně 350 000 obyvatel a dovážený kal z regionu Grampain (kolem 250 000 obyvatel). Celkově je kalové hospodářství navrženo na zpracování 15 000 tun sušiny kalu ročně. Kal je zahušťován, uskladněn ve společném síle objemu 300 m³ a dávkován do 4 reaktorového systému Cambi k termické hydrolýze. Po metanizaci ve dvou reaktorech, každý o objemu 4000 m³, je vyhnílý kal odvodňován na pásovém lisu na sušinu kolem 32 %, uskladněn v zastřešeném objektu a po krátké době (kondicionaci) použit v zemědělství o průměrné sušině kolem 38 %.

Tab. 4.1.2 - Aberdeen – hmotnostní bilance

Množství surového kalu – tuny sušiny	14,249
Množství vyhnilého kalu – tuny sušiny	8085
HRT - dny	17.5
OL odbourání %	57.5%
VFAs mg/l	432
Amoniak mg/l	2147
PH	7.67
Sušina % surového kalu* adjustovaná na VFA	9.2%
Sušina % vyhnilého kalu	5.12%
Sušina % odvodněného kalu	32%
Sušina % odvodněného kalu* po uskladnění	38%
Tuny odvodněného kalu	21076
Energetická hodnota bioplynu - MWh	31765

Dublin, Irsko, 2002

Osmi reaktorová technologie termické předúpravy kalu Cambi byla navržena ke zpracování 36 000 tun sušiny kalu ročně. Aby byly splněny irské požadavky na pasterizaci, ČOV původně sušila primární kal ve dvou bubnových sušárnách. Po rozšíření čistírny o SBR technologii vzrostlo množství produkovaného kalu, což by vyžadovalo ztrojnásobení výkonu sušáren. Instalací technologie Cambi kleslo množství odvodněného kalu a potřebná kapacita sušáren se zvýšila jenom o 50 %. Navíc byl redukován potřebný fermentační objem: Tři fermentory o objemu 4 500 m³ produkují 45 000 m³ bioplynu denně při denním zatížení 6 kg OL/m³.

Tab. 4.1.3 - Porovnání anaerobní stabilizace původní s Cambi systémem

	Anaerobní stabilizace (AD)	AD s Cambi THP
Sušina kalu %	5%	12%
Požadovaný objem reaktorů	30,500 m ³	12,750 m ³
Odbourání OL (HRT 15 dnů)	42%	62%
Sušina odvodněného kalu %	25%	34%
Tuny odvodněného kalu	92,300	54,200
Tuny odpařené vody (t WE)/hod. (= MWs potřebné energie ve formě plynu)	11.2 t WE	5.7 t WE
Potenciál MW (elektrický) generovaný z bioplynu	2.9	4.0

4.1.3 Shrnutí a reference

Fredericia, Dánsko, 2002

ČOV Fredericia se nachází přibližně 200 km západně od Kodaně a je vlastněna městem Fredericia. Kapacita anaerobie byla 4 000 tun sušiny kalu ročně a zpracováván byl jenom primární kal. Přibližně stejné množství tvořil přebytečný aktivovaný kal, který musel být odvodňován bez předchozí anaerobní stabilizace a kompostován. Po implementaci Cambi technologie čistírna zpracovává všechny kal, až do 8 000 tun sušiny ročně a produkce bioplynu vzrostla o 100 % . Množství odvodněného kalu kleslo o 50%.

Na obrázku 4.1.5 je uveden typický retrofit Cambi technologie. V tomto případě je 2 reaktorový systém Cambi instalován mezi stávající vyhnívací nádrže a budovu kogeneračních jednotek.



Obr. 4.1.5, Dvoureaktorový Cambi systém ve Fredericii

Borregaard, Norsko, 2000

Borregaard Industries je provoz na výrobu celulózy v Sarpsborgu, Norsko. Cambi THP technologie je navržena na zpracování 4 000 tun sušiny přebytečného aktivovaného kalu, vznikajícího při čištění průmyslových odpadních vod v aerobní čistírně. Původně byl anaerobně stabilizován jenom kal upravený alkalickou hydrolýzou použitím hydroxidu sodného. Tento postup byl nahrazen termickou hydrolýzou dle technologie Cambi , která se zaplatila z úspor chemikálií. Navíc se zvýšila výroba bioplynu a výrazně byl snížen reflux na ČOV.

Lillehammer, Norsko, 2001

Po několika letech vývoje začala v prosinci 1999 v Lillehammeru výstavba Cambi THP technologie pro zpracování bioodpadů v celém regionu. Biologická frakce odpadů - dětské pleny, odpady z jídel, papír a zahradní odpady, je před anaerobní stabilizací předupravena technologií THP. Zařízení zpracovává 14 000 tun separovaného bioodpadu, který se po anaerobní stabilizaci kompostuje a prodává.

Bydgoszcz, Polsko, 2005

Cambi dodalo zařízení na klíč v rámci modernizace kalového hospodářství s anaerobní fermentací na ČOV Kapusciska, Bydgoszcz. Kontrakt zahrnuje zahuštění kalu (7500 tun sušiny ročně), termickou hydrolýzu, kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie, včetně stavebních prací spojených s instalací. Implementace Cambi technologie vedla ke snížené produkci kalu, zvýšené odvodnitelnosti, hygienizaci kalu, zvýšené produkci bioplynu a elektřiny.

Brusel, Belgie, 2006

Cambi je subdodavatelem firmy OTV/SEE na dodávku zařízení pro termickou hydrolýzu kalu pro novou ČOV Brusel - Sever. ČOV bude zpracovávat odpadní vody od 1,1 milionů obyvatel. Zařízení Cambi THP zahrnuje pulper, 5 reaktorů, flash tank a chladič kalu. Dodávka Cambi zahrnuje inženýring, dodávky a dohled, OTV/SEE je zodpovědná za výstavbu. Zařízení bude zpracovávat 18 000 tun sušiny kalu ročně pro následnou fermentaci. Posledním krokem zpracování kalu bude technologie mokré oxidace ATHOS. Předúprava kalu technologií Cambi výrazně sníží investiční náklady na technologii ATHOS.

Brisbane, Austrálie, 2005/6

V listopadu 2004 město Brisbane prostřednictvím vlastní společnosti Brisbane Water Enviro Alliance (BWEA) udělila Cambi zakázku na první THP zařízení v Austrálii v rámci modernizace ČOV Oxley Creek. Zařízení bude zpracovávat kal v množství 10 800 sušiny ročně. BWEA aplikovala na ČOV technologii biologického odstraňování nutrientů. Vznikající aktivovaný kal je obtížně anaerobně stabilizovatelný a odvodnitelný.

BWEA zkoušela několik technologií na zvýšení anaerobní rozložitelnosti kalu včetně biologické hydrolýzy a ultrazvuku. Předpokládá se, že Cambi technologie zdvojnásobí využitelnost objemu reaktorů, zvýší se produkce bioplynu a klesne množství produkovaného kalu, který bude mít snížený zápach a může sloužit jako hygienizovaný půdní kondicioner. Zařízení je ve stádiu výstavby a bude uvedeno do provozu příští rok.

4.2 Ultrazvuková desintegrace

Technologie využívající ultrazvuk k předpravě-desintegraci zpracovávaných substrátů z důvodu jeho lepší rozložitelnosti při anaerobní fermentaci jsou známy od šedesátých let. Tehdejší technologie ultrazvukových zařízení však nebyla na takové úrovni, aby ji bylo možné ekonomicky výhodně použít v provozních podmínkách. V posledních letech došlo k značnému vývoji v této technologii. Dnes je tato metoda již plně srovnatelná s ostatními technologiemi předúpravy substrátů a provozně-ekonomicky předstihuje jiné technologie. Jednoduchá instalace a provoz této technologie je zvláště atraktivní pro komunální ČOV.

4.2.1 Princip metody

Ultrazvuk je zvuk s frekvencí mezi 20 kHz a 10 MHz, tedy nad horní hranicí slyšitelnosti u lidského ucha. Pokud je ultrazvuk použitý na kapaliny, vzniká jev zvaný „kavitace“, při kterém dochází ke vzniku, zvětšování a náhlé implozi mikroskopických bublin v kapalině. Imploze bublinek vytváří místní přehřátí s teplotami až 5000 K a tlakem až 7250 psi. Desintegrace pevných částic organického původu vyžaduje maximální intenzitu kavitace, což je zajištěno využitím frekvencí na spodním okraji ultrazvukových frekvencí. Jak frekvence zvuku roste, intenzita kavitace naopak klesá.

Ultrazvukové zařízení obvykle sestává z ultrazvukového generátoru, který mění frekvenci elektrického proudu z 50Hz na danou ultrazvukovou frekvenci, v případě desintegrace nejčastěji 20 000 Hz. Vysokofrekvenční proud je následně veden přes převodník, který obsahuje piezoelektrický krystal, který převádí vysokofrekvenční oscilaci elektrické energie na zvukovou (mechanickou) energii. Kovová nebo keramická sonda případně ozvučnice poté rozvibrovává ošetřovanou kapalinu. Vibrační vlny indukují vznik mikroskopických bublin, jejichž imploze zajistí desintegraci. Většina vysokovýkonných ultrazvukových převaděčů pracuje v oblasti 20-30kHz, což je optimální rozsah pro použití v kapalinách.

Ultrazvukové sondy používané k desintegraci odpadních vod jsou většinou vyrobeny z titanu, který při optimálních vibracích zajišťuje nejlepší mechanické vlastnosti a pevnost.

U ultrazvukových zařízení se setkáváme s několika typickými parametry:

Intenzita ultrazvuku – výkon na jednotku plochy sondy (W/cm^2)

Hustota ultrazvuku – výkon na jednotku objemu kapaliny v reaktoru (W/l)

Dávka ultrazvuku – energie dodaná na jednotku objemu (Wh/l)

Specifická energie ultrazvuku – energie na jednotku hmotnosti pevných částic v reaktoru (Wh/kg nebo kJ/kg)

Amplituda ultrazvuku – vzdálenost vibrace nebo vychýlení ultrazvukové sondy (μm)

Parametry užívané nejčastěji v ultrazvukových aplikacích jsou intenzita, dávka a amplituda.

Vliv na pevné částice

Výzkumy ukázaly, že největší význam má ošetřování přebytečného kalu. Přebytečný kal sestává z obtížně rozložitelných buněčných materiálů. Zvýšení produkce bioplynu je mnohem nižší při ošetřování primárního kalu, z důvodu jeho snadnějšího rozkladu anaerobní fermentací. Proto se technologie desintegrace obecně zaměřují na ošetření přebytečného kalu.

Kalové vločky nebo seskupení částic jsou ultrazvukem nejprve rozbity na jednotlivé buňky a extracelulární pevný materiál. Buňky jsou následně rozrušeny (poškození buněčné stěny) vlivem kavitace. Vliv ultrazvuku - sonifikace na kal může být odhadován na základě zvýšení koncentrace rozpustných organických látek, měřených jako zvýšení chemické spotřeby kyslíku (CHSK) v ultrazvukové komoře (reaktoru). Ultrazvuk nemůže za ekonomicky příznivých podmínek rozrušit všechny buňky, není tedy možné jej použít pro desinfekci, ovšem při jeho použití existuje řada přínosů:

- zvýšení destrukce pevných částic
- zvýšení produkce bioplynu
- zlepšení následného odvodnění kalu
- zvýšení kapacity digesce (zkrácením doby zdržení v reaktoru)
- redukce následných technologií ošetření pevných částic

Zvýšení destrukce pevných částic, které se promítne do vyšší produkce bioplynu a možnosti provozovat reaktory ve stabilnějším režimu či dokonce zkrácení dobu zdržení na 12 – 15 dní, zajišťuje zařízením limitovaným objemem reaktorů pracovat efektivněji, tedy lépe a levněji, resp. z vyšším výnosem.

Ultrazvukový systém je možné snadno implementovat na anaerobní fermentaci přebytečného kalu. Požadavky na energii jsou nízké a energetická bilance je v případě použití ultrazvuku vyšší než například při použití termální hydrolyzy, neboť zde odpadá nutnost pracovat s vysokou teplotou a tlakem. Navíc jsou nižší i náklady na tuto technologii, jelikož není nutné linku vybavovat přídatnými nádržemi, zařízením na vysoký tlak a udržování vysoké teploty.

Ultrazvukové zařízení bylo testováno až do koncentrace 10 % pevných částic, ačkoliv viskozita pevných částic se považuje za důležitější než jejich koncentrace. Provoz zařízení se substrátem s vysokou koncentrací a viskozitou pevných látek nebylo zatím dostatečně testováno a není dosud zřejmé, jak se zvyšuje potřeba energie při ošetření kalu s koncentrací pevných částic vyšší než 6,5 %.

Požadavky na čistírnu

Z úvodu vyplývá, že ne každá čistírna je vhodná pro použití dezintegrace. V této kapitole budou představeny požadavky na čistírnu z hlediska nasazení dezintegrace. Ultrazvuková dezintegrační zařízení jsou stavěna vždy individuálně pro každou čistírnu. Na čistírnách, které odpovídají následujícím požadavkům, vzniká nasazením ultrazvuku vysoký optimalizační potenciál. Pokud nebudou požadavky splněny, je třeba důkladně zvážit ekonomiku využití dezintegrace. Tento profil požadavků na čistírny by měl být předem co možná nejlépe přezkoumán.

Vlastnosti kalu

Ideální médium k ošetření je zahuštěný přebytečný kal. Za prvé obsahuje organismy, které mohou být zničeny dezintegrací a za druhé je přebytečný kal taková frakce ve vyhnívacím procesu, která se dá těžko organicky odbourat. Ošetření ostatních kalů (směsné kaly nebo vyhnílé kaly) však nic nebrání.

Obsah sušiny zahuštěného přebytečného kalu by se měl pohybovat v rozmezí 3,0 % až 8,0 %. Jestliže se obsah sušiny pohybuje pod 3,0 %, nemohou být ultrazvuková zařízení kvůli chybějící koncentraci pevných látek většinou hospodárně nasazena. Jestliže obsah sušiny ošetřovaného kalu přesáhne hranici 8,0 %, může dojít ke ztrátě účinnosti. Obsah pevných

látek v kalu je přímo úměrný reprezentativní viskozitě. Vysoká viskozita oslabuje účinnost ultrazvuku. Vědeckými výzkumy byly stanoveny ukazatele pro vhodné reprezentativní viskozity kalu (EDER, 2004).

Další základní předpoklad pro nasazení dezintegrace k optimalizaci vyhnívání je organický podíl. Ten by měl být v ošetřovaném kalu větší než 60 %. Ztráta žiháním se pohybuje průměrně mezi 65% a 75% podle stáří kalu.

Dodatečně je třeba sledovat stupeň organického odbourávání η_o sušiny vyhnívacím procesem a organický podíl ve vyhnílem kalu. Jestliže se stupeň organického odbourávání pohybuje nad 60 %, je zapotřebí přehodnotit nasazení dezintegrace k optimalizaci vyhnívání. To samé platí pro kaly, jejichž organický podíl po vyhnívání je pod 50 %.

Na poměru primárního kalu k přebytečnému kalu může záviset podíl zpracováváný ultrazvukem, ať už je to ošetřování plného nebo dílčího proudu.

Zahušťovací agregát hraje pro nasazení desintegrace jen sekundární roli, protože účinky spočívají hlavně na přidávaném množství flokulantů. Čím vyšší je přídavek flokulačních prostředků do zahuštění, tím silněji se spojují kalové vločky mezi sebou do sítí a tím více energie se vynaloží na rozbití vloček. Tato energie chybí při ničení buněk.

Místní podmínky

Také doba vyhnívání je důležitým bodem pro nasazení dezintegrace. Podle teoretických propočtů není dezintegrace při vyhnívací době delší než 40 dní účelná, protože biologická hydrolýza má dostatek času k rozmělnění a zpracování organismů. Přesto stále výzkumy dokazují, že i při vyhnívací době delší než 50 dní stále ještě existuje ve vyhnívání značný optimalizační potenciál.

Ultrazvukové zařízení sice nezabírá mnoho místa (ca. 15 m² na 16 kW příkonu), přesto by mělo být pro všechny případy naplánováno dostatek místa. Neměla by být instalována žádná dlouhá a složitá potrubí.

Příklady používaných ultrazvukových technologií

IWE Tec ultrazvukový systém sestává z kaskády vibračních sond s vlastními cylindrickými reaktory. Jde o patentovaný systém. Dosud většina zařízení pracovala s výkonem vibrátorů 2kW a 4kW. Dr. Heilscher GmbH vyvinul vibrační sondu s vyšším výkonem, až 16 kW, která tak může zvýšit efektivnost nákladů celého procesu.

Technologický postup IWE Tec je založen na částečném ošetření sekundárního kalu. Ačkoliv ošetření většího množství kalu ještě zvyšuje produkci bioplynu, odvodnění digestátu se zhoršuje. Zlepšení odvodnění při částečném ultrazvukovém ošetření kalu je způsobeno bioflokulací, kdy se vnější strany lyzovaných buněčných stěn váží na opačně nabitě buněčné stěny nelyzovaných buněk a vytvářejí shluky. Zvýšená desintegrace má naopak za následek velké množství malých částic buněčných stěn, které se již nespojují a nejsou zachyceny při separaci.

IWE systém pracuje s dobou sonifikace 30 – 60 sec., přičemž za klíčovou je považována velikost amplitudy a zatížení sondy resp. průtočné množství kalu. Systém je navržen tak, aby pracoval mezi 50 a 70 % maximálního výkonu. Protože celý systém pracuje blízko své maximální amplitudy, je množství ošetřeného kalu dáno průtokem kalu nebo koncentrací pevných částic v kalu. Nedávné inovace celé technologie zahrnují například:

- Zvýšení maximální amplitudy z 25 na 50 mikrometru
- Zvýšení výkonu vibračních sond z 4 kW na 16 kW, včetně nového systému chlazení.
- Nový design vibračních sond

Zlepšení anaerobní digesce použitím 4 kW ultrazvukových sond za podmínek uvedených výše je následující:

- Zvýšení destrukce pevných částic o 20 – 25 %.
- Zvýšení produkce bioplynu o 25 – 30 %.
- Zlepšení odvodnění o 0-5 %.

Sonico

Sonico systém zahrnuje jednotlivé radiální vibrátory prstencového tvaru. Vibrátory jsou montovány v sériích po 3-5. Vlastní reaktor je možné připojit na šestipalcové potrubí. Vlastní design ultrazvukových vibračních sond i komory jsou patentovány. Výzkum tohoto zařízení probíhal s vibračními sondami s výkonem 2kW a 3kW případně 6 kW.

Technologie Sonico pracuje s ošetřením celého proudu sekundárního kalu. Provedené výzkumu ukazují na maximální produkci bioplynu při ošetření celého množství kalu. Na rozdíl od německé firmy IWE neprováděla společnost Sonico větší měření vlivu ošetření ultrazvukem na pozdější odvodnění kalu. Přesto poloprovozní aplikace ukazují na zvýšení odvodňovatelnosti o 1 – 2 %.



Obr.4.2.1 - Sonico systém

Systém pracuje se sonifikací v trvání cca 2 sekund. Hustota a dávka ultrazvuku jsou považovány za klíčové parametry úspěšnosti technologie, která pracuje v oblasti 70 – 75 % maximální amplitudy. Zlepšení, která v poslední době zlepšují efektivnost nákladů jsou například:

- Zvýšení maximální amplitudy z 12 na 16 mikrometru
- Zvýšení výkonu z 3 na 6 kW.
- Zlepšení výroby ultrazvukových sond.
- Zlepšení účinnosti chlazení.

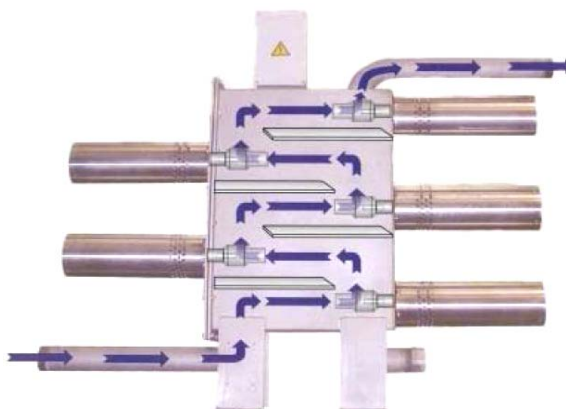
Stávající technologie využívající 3 kW ultrazvukové sondy má na celý proces desintegrace následující vliv:

- Zvýšení destrukce pevných částic o 30 – 50 %
- Zvýšení produkce bioplynu o 30-50 %
- Zlepšení odvodnění o 0-25 %

Konečné výsledky pochopitelně závisí na vlastní technologii digesce, době zdržení apod.

Waves Ultrasound System

Zařízení Waves sestává z krátkých cylindrických vibračních sond seskupených do série v reaktoru, kterým protéká kal v serpentínách, jak je patrné z obrázku. Reaktor obvykle obsahuje 5 sond.



Obr.4.2.2 - Waves systém

Každá ultrazvuková sonda má výkon 2 kW a celý systém nejčastěji pracuje s 50 % maximálního výkonu. Waves nenabízí silnější ultrazvukové sondy, neboť chlazení by bylo nerentabilní. Proto je produkce zaměřena na malé producenty bioplynu.

Podobně jako firma IWE Tec, i Waves ošetřuje pouze část kalu, ovšem jejich přístup se liší, Waves poukazuje na skutečnost, že čím vyšší je sonifikace, tím vyšší je výtěžnost bioplynu. Přesto považují ošetření 30-50 % kalu za nejefektivnější. Firma vyvinula metodu měření CHSK v sonifikovaném vzorku jako procenta maximálního CHSK, kterého může být dosaženo.

Systém Waves pracuje s dobou sonifikace cca 2 sekundy. Za klíčové parametry považuje hustotu a dávku ultrazvuku. Maximální amplituda je 40 mikroetru, ačkoliv celé zařízení je nastaveno na amplitudu 25 mikrometru. Doporučení výrobce je, že zvýšení amplitud snižuje životnost zařízení.

Data od zařízení Waves s 2 kW sondami prokazují následující výhody:

- zvýšení produkce bioplynu o 10 – 50 %
- zvýšení destrukce pevných částic, což koresponduje se zvýšením produkce bioplynu.

VTA Engineering und Umwelttechnik (Rakousko) využívá ultrazvuk s frekvencí 25 kHz. Část vznikajícího zahuštěného přebytečného kalu protéká plynule od spodu nahoru dezintegračním reaktorem. V reaktoru se nacházejí ultrazvukové vibrátory (1 – 8 max.), kolem nepřetržitě proudí kalová emulze. Podle délky pobytu kalu v reaktoru, průtokového množství, počtu otáček míchadla a dodané energie pro zabudované vibrátory se dá volit stupeň rozkladu (A-CHSK, uvolnění enzymů). Takto ošetřený kal je součástí vyhnívacího procesu.

Ve svých technologiích využívá firma ultrazvukové vibrátory o výkonu max. 2 kW od výrobce Telsonic AG nebo Martin Walter Ultraschalltechnik AG.



Obr.4.2.3 - VTA systém

Efekty při nasazení protiproudové dezintegrace VTA GSD:

- Redukce organických substancí ve vyhnívacím kalu (organické sušiny) až o 25 %
- Zvýšení výtěžnosti plynu až o 30 %
- Zvýšení produkce elektrické energie až o 30 %
- Redukce celkového množství kalu a s ním spojené náklady na likvidaci až o 20 %
- Zvýšení obsahu sušiny v existujícím systému odvodňování až o 15 %
- Snížení spotřeby pomocných prostředků (polymerů) při odvodnění kalu až o 30 %
- Dosažení stabilního vyhnívacího procesu
- Zkrácení vyhnívacího času
- Potírání pěnění vyhnívacích věží, způsobené vláknitými baktériemi
- Postupné zlepšování provozu v biologických ČOV pomocí rozkladu vláknitých bakterií (plovoucí nebo zbytnělý kal, usazování aktivovaného kalu atd.)

4.2.2 Příklad použití

4.2.2.1 Referenční výzkum ve Freisingu

Na ČOV Freising jsou paralelně provozovány dvě stejně velké vyhnívací nádrže. ČOV je určena pro 110.000 EO, nyní je připojeno asi 65.000 EO. Odpadní voda, cca 12.000 m³/d (Q_T) je čištěna v jednostupňové aktivaci s primární usazovací nádrží a dosazovací nádrží. Ošetřování kalu probíhá v jednostupňovém vyhnívacím zařízení. Kal vyhnívá cca 22 dní ve dvou 1200 m³ velkých, paralelně a shodně zavážených vyhnívacích nádržích. Zavážení vyhnívacích nádrží probíhá střídavě v denním rytmu, tj., že jeden den je zavezena první nádrž a další den druhá veškerým kalem. Obě nádrže jsou promíchávány 24 h/d.

Do obou vyhnívacích nádrží je přiváděn primární a přebytečný kal odděleně. Primární kal je na sítu zahuštěn asi na 6,0 % sušiny a jde vzápětí do vyhnívání (ca. 70 m³/d). Jiným sítím je zahuštěn přebytečný kal na 5,0 – 6,0 % sušiny a šnekovým čerpadlem je přiveden do vyhnívací nádrže. Šoupátkem se denně střídá zavážení nádrží.

Zapojení ultrazvukového zařízení do procesu ošetření kalu

Pro účely osmiměsíčního pilotního pokusu bylo ultrazvukové zařízení zabudováno mezi zahušťování přebytečného kalu a vyhnívání. Ultrazvukové zařízení sestávalo z tří sériově zapojených modulů s celkem 15 horizontálně uloženými sonotrodami (ultrazvukový vibrátor s jednou hlavou). Frekvence sonotrod byla 20 kHz, amplituda asi 16 μm . Každý druhý den, když byla zavážena první vyhnívací nádrž, byl čerpací šachtou zahušťování odčerpán dílčí proud (30% - 40%) zahuštěného přebytečného kalu, byl dále zpracován a přiveden zpět do čerpací šachty, čímž se neošetřený dílčí proud smíchal s neošetřeným kalem a dostal se do vyhnívací nádrže 1.

Následujícího dne bylo ultrazvukové zařízení vysazeno a vyhnívací nádrž 2 zavezena přebytečným kalem. Tím bylo zajištěno, že nádrž 1 byla zavezena pouze ošetřeným kalem a druhá vyhnívací nádrž pouze neošetřeným kalem (jako reference).

Zkratům se zabránilo jednak různou výškou odběru a zpětného přivedení kalu, a také relativně rychlým odčerpáním celkového zahuštěného kalu z šachty.

Výsledky

Nasazení ultrazvuku na ČOV Freising bylo v každém ohledu úspěšné. Na vyhnívací nádrži 1 byl jednak zvýšen výnos plynu, a zároveň se snížilo množství kalu k likvidaci, aniž by se objevily nějaké negativní vedlejší účinky na čistírnu. Nebylo zjištěno žádné vážné zpětné zatížení biologie fugátem ani zvýšení podílu těžkých kovů v kalu.

Tab.4.2.1 - Přehled nejdůležitějších výsledků výzkumu na ČOV Freising

Změny	jednotka	hodnota
Ošetřený kal	ca. 30-40 % přebytečný kal	
Obsah pevných látek v přebytečném kalu	kg / m ³	55 - 60
Ztráta žíháním přebytečného kalu	%	71
A _{CHSK} -stupeň rozkladu	%	max. 3,5
Zvýšení stupně organického odbourávání	%	5
Zvýšení specifického výnosu plynu v l/kg sušiny nasazením ultrazvuku	%	cca 11
zvýšení denního výnosu plynu	m ³ /d	cca 85
Energetická bilance		
Spotřeba na den	kWh / d	72
Zisk elektrické energie dezintegrací	kWh / d	190
Saldo energetické bilance	kWh / d	+118
Zlepšení výsledku odvodňování	%	10
Snížení množství čistírenského kalu na likvidaci	t/rok	propoččet 750
Zpětné zatížení ČOV	CHSK popř. NH ₄	< 1,0 %

4.2.2.2 Welsberg

ČOV Wasserfeld ve Welsbergu pro 40.000 EO je vytížená zhruba na 70%. Sestává z primární usazovací nádrže, dvou větví kaskádové jednostupňové aktivační nádrže s biologickým odbouráváním fosforu, denitrifikací a nitrifikací. Kal se anaerobně stabilizuje ve vyhnívací nádrži o obsahu 1450 m³ a poté odvodňuje na komorovém lisu. Z bioplynu se vyrábí elektřina v kogenerační jednotce a dodává do sítě. Šetření nemohla být prováděna současně vzhledem k existenci pouze jedné vyhnívací nádrže. Proto se srovnávaly roky 2003 bez dezintegrace a 2004 s dezintegrací. Kvůli srovnání byly použity specifické parametry.

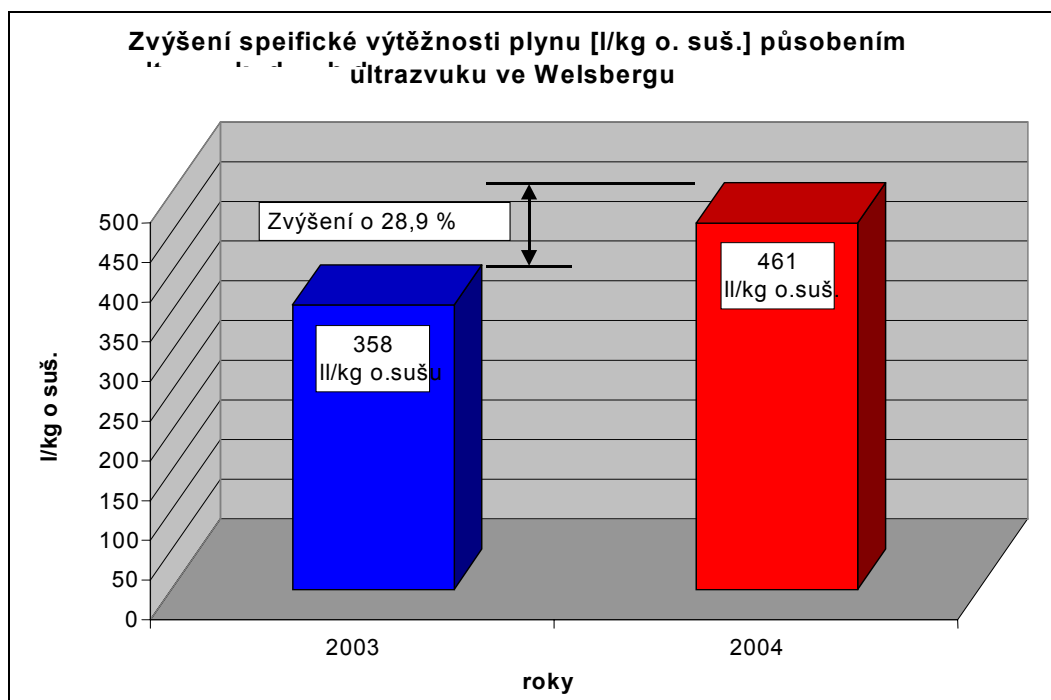
Začlenění zařízení na ultrazvuk do zpracování kalů

Vzhledem k prostorovým možnostem bylo možné zařízení relativně jednoduše začlenit do procesu zpracování kalů. Přebytečný kal, který měl být ošetřen, byl zahuštěn na 5,0 – 6,0 % sušiny. Asi 40-60% zahuštěného přebytečného kalu se přivádělo do zásobníku o objemu

4 m³, což umožnilo 24hodinový provoz dezintegrace. Šnekovým čerpadlem se kontinuálně zavážel dezintegrační reaktor o objemu 1,5 m³. Díky relativně dlouhému času ošetření bylo dosaženo střední hodnoty A_{CHSK} vyšší než 5,0 % (podle ATV-DVWK). Dezintegrovaný kal byl nakonec smíchán se zbytkem přebytečného kalu a primárním kalem v zásobníku a přečerpán do vyhnívací věže.

Výsledky

Oproti roku 2003 bez dezintegrace se v roce 2004 načerpalo do vyhnívací věže přibližně stejné množství kalu (29,1 m³/d až 29,3 m³/d). Přestože obsah pevných organických látek byl o 8,5 % nižší (1234 kg o.sušiny v r.2003, 1129 kg o.sušiny v r.2004), bylo vyrobeno více elektřiny (958 oproti 983 kWh/d). Nasazením ultrazvuku se také zvýšila specifická výtěžnost plynu z 358 l/kg o.sušiny na 461 l/kg o.sušiny (obr.4.2.4). Dále došlo k zlepšení odvodňování z 23,1 na 26,0 % sušiny (tab.4.2.2). Také stupeň organického odbourávání η o.sušiny ve vyhnívání se zvýšil působením ultrazvuku z 51,9 na 58,4 % (tab.4.2.3)



Obr.4.2.4 - Zvýšení specifické výtěžnosti plynu ve Welsbergu působením ultrazvuku

Tab.4.2.2 - Zvýšení specifické výroby energie a stupně odvodnění působením ultrazvuku ve Welsbergu

Zvýšení specif. výroby kWh		Zvýšení stupně odvodnění		
kWh / kg o. suš. přiv. 2003	0,756	2003	% suš.	23,1
kWh / kg o. suš. přiv. 2004	0,974	2004	% suš.	26,0
Zvýšení o	0,218	Zvýšení o		2,9
Zvýšení	28,8 %	Zvýšení		12,5 %

Tab.4.2.3 - Zvýšení stupně org. odbourávání působením ultrazvuku ve Welsbergu

Zvýšení stupně org. odbourávání η_o suš.		přiváděná	odváděná	rozdíl		
Dosažené odbourávání '03	kg o.suš	1.234	593	640	51,9	
Dosažené odbourávání '04	kg o. suš	1.129	469	659	58,4	
Zvýšení odbourávání - srovnání		%body			6,5	
zvýšení					12,5	

Působením ultrazvuku bylo dosaženo:

- O 28,8 % vyšší výroby elektřiny
- O 21,6 % méně kalu k likvidaci
- O 21,8 % nižší spotřeby pomocných prostředků.

Vyjádřeno v ekonomickém přínosu:

- Roční přínos cca 13 500 € za vyšší výrobu elektřiny
- Roční přínos cca 2500 € za zvýšení výroby tepla (žádný nákup propanu)
- Roční úspora cca 25.000 € za nižší množství kalu k likvidaci
- Roční úspora cca 5.000 € za nižší spotřebu pomocných prostředků k odvodňování

Proti těmto úsporám stojí investiční a provozní náklady – celkem 22.500 €/ročně.

Porovnáním těchto údajů dojdeme k ročním úsporám cca 23.500 €, z čehož vyplývá, že se zařízení zaplatí za 5 let (bez dotací).

Zařízení se vyznačuje bezporuchovým provozem a nízkým opotřebením. V současné době jsou generátory ultrazvuku v provozu již 15.000 hodin bez znatelného opotřebením. Výrobce zaručuje dalších 15.000 hodin provozu.

4.2.3 Shrnutí a reference

Případy nasazení ultrazvukové dezintegrace představené v tomto příspěvku dokazují hospodárnost této technologie. Vedle optimalizace vyhánění zvýšením výnosu plynu a snížením množství kalu bylo dosaženo i stabilně probíhajícího procesu vyhánění. Dále bylo zjištěno zlepšení výsledku odvodňování a nižší spotřeba přídavných prostředků k odvodňování.

Při průměrné spotřebě energie cca 0,15-0,35 kWh na kg pevné látky k ošetření pracuje ultrazvukové zařízení v provozu na dílčí proud energeticky velmi úsporně. Ve většině případů je energetická bilance výrazně pozitivní.

Důležitý pro úspěch dezintegračních zařízení je také stupeň rozkladu. Čím vyšší stupeň rozkladu, tím lepší výsledek. Ale vysoký stupeň rozkladu znamená vysokou spotřebu energie. Tento protiklad klade požadavky na ty, kteří zařízení nabízejí. Je třeba najít střední cestu a docílit co nejlepšího výsledku s nejmenší možnou spotřebou energie.

Hlavní podíl úspor je vidět ve snížení kalu na likvidaci. Přesto na některých čistírnách považují za největší přínos vlastně vedlejší efekty dezintegrace. Např. na mnoha čistírnách je problémem vysoké hydraulické zatížení vyháněvací věže. V těchto případech lze zajistit nasazením ultrazvuku dostačující efekt vyhánění přes krátkou dobu pobytu ve vyháněvací věži. Existují i další možnosti nasazení ultrazvuku v jiných průmyslových oblastech, kde může tato technologie znamenat velký přínos.

Předpokládá se, že ultrazvukové systémy mají návratnost investice 2 – 5 let, což záleží na několika faktorech:

- Místně specifická zlepšení v produkci bioplynu, redukce produkce pevných částic – záleží na vstupních parametrech, doba zdržení v reaktoru apod.
- Cena energie – náklady na elektrickou energii či cena produkováného bioplynu vyjádřená jako cena zemního plynu.
- Skutečný vliv na odvodnění – možné snížení nákladů na konečné odvodnění, zlepšení tvorby odvodněného koláče kalu.
- Cena za likvidaci / využití odvodněného kalu.

- Hustota vstupního kalu – větší zředění vyžaduje větší ultrazvukové zařízení a zároveň snižuje produkci bioplynu na instalovanou ultrazvukovou jednotku.
- Místně specifické další náklady – další zásobní nádrže, systém regulace tlaku, instalace armatur apod.

Ultrazvukový systém je modulární a je možné instalovat více jednotek, což je určeno výkonem jednotlivých ultrazvukových sond a retenčním časem sonifikace. Oba parametry tak mají vliv na průtok v komoře. Čím větší výkon sond, tím méně jich je potřeba, což platí především pro instalaci do středních a velkých BP stanic.

reference tuzemské:

V České republice není prozatím žádná provozní reference. Byly provedeny jenom provozní zkoušky na ČOV

reference zahraniční:

V Evropě je v současnosti několik desítek aplikací na komunálních ČOV. Dále je uvedeno několik referencí s uvedením ekvivalentních obyvatel:

- **Rakousko** - Kitzbühl (47.000 EO), Villach (200.000 EO)
- **Německo** - Großostheim (30.000 EO), Halle Nord (300.000 EO), Darmstadt Zentralklärrwerk (240.000 EO), Darmstadt Süd (40.000 EO), Miltenberg (95.000 EO)
- **Polsko** - Rzeszow (220.000 EO)
- **Itálie** - Wasserfeld (35.000 EO)

Dodavatelé

Během poslední dekády byla většina výzkumu využití ultrazvuku v technologiích ŽP zahrnujících i bioplynové technologie prováděna v Německu, a sice ve dvou institucích – Universitě Hamburg-Harburg a ve Fraunhofer Institute v Drážďanech. Obě instituce založily dceřiné spin-off firmy ke komercializaci know-how. Jde o společnosti Waves a IWE Tec. Třetí společnost, Sonico, navazuje na aplikovaný výzkum britských a amerických čistírenských společností vedených strojírenskou společností Atkins z Velké Británie. Dodavatelé mají řadu aplikací po Evropě.

IWE Tec GmbH je německou společností se třemi zakládajícími partnery – Fraunhofer Institute v Drážďanech, který zajišťoval základní výzkum a je nositelem know-how, Dr. Heilscher GmbH, který je výrobcem ultrazvukového zařízení a zajišťuje další vývoj a IWE GmbH, která se zaměřuje na projektování a výstavbu ČOV.

VTA Engineering und Umwelttechnik spol. s r.o.

Větrná 72, 370 05 České Budějovice

Česká republika

Tel. +420 385 514 747

Fax: +420 385 514 748

Mobil: +420 603 854 020

Email: i.hajkova@vta.cc

Internet: www.vta.cc

4.3 Lyzátovací odstředivka

Provozně odzkoušenou metodou mechanické desintegrace buněk je použití lyzátovací odstředivky. Lyzátovací zařízení – soustava speciálních nožů, je možné namontovat na všechny zahušťovací odstředivky, běžně používané k zahušťování čistírenských kalů před jejich anaerobní fermentací. Vlastní desintegrace buněk vyžaduje dodatečný vnos energie, ve výši cca 10% - 20% příkonu ale využívá se navíc nadbytku kinetické energie vlastní odstředivky.

4.3.1 Princip technologie

Při porušení buněčné stěny mikroorganismů dochází k tzv. lyzy buněk, uvolnění „vytečení“ obsahu buněk do okolí. Směs buněk s rozrušenou buněčnou stěnou a uvolněného obsahu buněk se nazývá *buněčný lyzát*. Tento pochod probíhá přirozenou cestou u všech odumřelých buněk, pomocí hydrolytických enzymů uvolňovaných do roztoku fermentačními bakteriemi případně za použití některé z vhodných metod destrukce buněk.

Buněčný lyzát působí stimulačně na činnost a růst mikroorganismů. Působí buď přímo, tj. je zdrojem růstových faktorů, které stimulují činnost přítomných mikroorganismů nebo nepřímo tím, že enzymy v něm obsažené způsobují lyzy dalších mikrobiálních buněk. Přídavek již malého množství buněčného lyzátu (0,5 - 10%) k rozkládanému materiálu zrychluje rozklad rozpuštěných dobře rozložitelných organických substrátů (na př. glukóza, kyselina octová) a zrychluje a prohlubuje mikrobiální rozklad nesnadno rozložitelných a nerozpuštěných organických substrátů.

Důkazem stimulačního působení lyzátu na anaerobní fermentaci je například zvýšení produkce bioplynu z čistírenského kalu s přídavkem lyzátu. Zvýšení produkce bioplynu je samozřejmě mnohem větší, než odpovídá maximální teoretické produkci bioplynu z vlastní organické hmoty přidaného lyzátu. Stimulační efekt lyzátu byl potvrzen mnoha laboratorními pokusy s kaly a dalšími substráty. Urychlení probíhajících biodegradačních reakcí má za následek zkrácení doby reakce, což umožní zmenšení objemu reaktoru. Prohloubení biologického rozkladu sníží množství zbývajícího nerozloženého materiálu. Stimulace rozkladu organické hmoty lyzátem při anaerobní metanové fermentaci zvyšuje produkci

bioplynu, což činí celý proces energeticky výhodnějším a snižuje celkové množství produkováných kalů. Je třeba poznamenat, že zvýšení produkce energie získané z bioplynu vlivem lyzace je mnohem větší, než zvýšení příkonu zahušťovací odstředivky opatřené instalovaným lyzačním zařízením

Narušení buněčné stěny se dosáhne buď přidavkem vhodných chemických látek (kyseliny, zásady, detergenty apod.), které chemickou cestou narušují buněčnou stěnu, nebo použitím dodatečné energie na destrukci buněk (teplota, tlak, ultrazvuk, mechanická destrukce).

Jedinečnou technologií destrukce buněčných stěn, využívající přebytečnou kinetickou energii zahušťovacích odstředivek, běžně používaných při zahušťování čistírenského kalu před vlastní anaerobní fermentaci je **lyzátovací zahušťovací centrifuga**.

Na čistírnách odpadních vod vzniká jako produkt čištění značné množství kalů. Je to zpravidla primární kal z primárního usazování přiváděné odpadní vody a přebytečný aktivovaný kal, který se separuje po aerobním stupni čištění odpadních vod. Primární kal obsahuje směs různých organických látek, z nichž část je velmi dobře a rychle rozložitelná. U aktivovaného kalu se jedná převážně o směs mikroorganismů, narostlých na rozpuštěném organickém znečištění odpadních vod a jejich množství závisí na množství odstraněného znečištění a druhu aerobního čištění. Oba druhy kalů je možno společně dále zpracovávat anaerobní methanovou fermentací. Výťažnost bioplynu ze zahuštěného přebytečného aktivovaného kalu je relativně nízká, protože extracelulární polymery a látky buněčné stěny jsou velmi obtížně rozložitelné. Dobře rozložitelné látky buněčného obsahu zůstávají dokonce někdy uzavřeny v buňce i po methanové fermentaci. Výsledným produktem fermentace je bioplyn a stabilizovaný kal, což je narostlá anaerobní biomasa, nerozložený zbytek organických látek a anorganický podíl zpracovávané suroviny.

Hospodárnost anaerobní stabilizace čistírenských kalů je závislá na koncentraci vstupní sušiny zpracovávaného materiálu. Z tohoto důvodu je přicházející materiál, zejména přebytečný aktivovaný kal, zahušťován. Zahuštění (redukce objemu) je prováděno buď gravitačně -sedimentace nebo strojně (odstředivky, lisy a pod.).

Zahušťování přebytečného kalu a zvýšení jeho rozložitelnosti

Přebytečný aktivovaný kal vznikající při biologickém čištění odpadních vod obsahuje přes 99% vody, což je příčinou velkého měrného objemu kalu. Tento objem kalu by při jeho následné stabilizaci vedl k neúnosnému hydraulickému přetížení anaerobně stabilizačních nádrží, potažmo pak k nedostatečné anaerobní stabilizaci a sníženému výtěžku hodnotného bioplynu, který představuje při jeho dalším zpracování energetický zisk pro provozovatele čistírny odpadních vod. Proto se tento přebytečný aktivovaný kal před jeho stabilizací podrobuje procesu zahušťování. Zde se nabízí možnost vedle statického zahuštění, flotace nebo zahuštění v zahušťovacích bubnech rovněž strojní zahuštění pomocí odstředivek. Tento objem kalu může být redukován strojním zahuštěním pomocí zahušťovací odstředivky o cca 90%. Použitím zahušťovacích centrifug je dosahováno zahuštění přebytečného aktivovaného kalu na koncentraci 6% až 8% sušiny zpravidla bez přídavku flokulantu. Tyto výsledky jsou dosahovány při maximálních výkonech strojů za předpokladu konstantního obsahu sušiny v přiváděném přebytečném kalu.

Zahustitelnost čistírenských kalů závisí na řadě okolností například na: množství a složení v surové odpadní vody, množství odbouraných živin, způsobu aerace, zatížení kalu atd.

Pro danou čistírnu a zahušťovaný kal je nutné optimální nastavení. Úkolem této optimalizace je dosažení co nejvyššího stupně zahuštění (zpravidla na mez další čerpatelnosti) při současně co nejmenším zatížení fugátu nerozpuštěnými látkami a co největšího zpracovaného množství kalu za jednotku času.

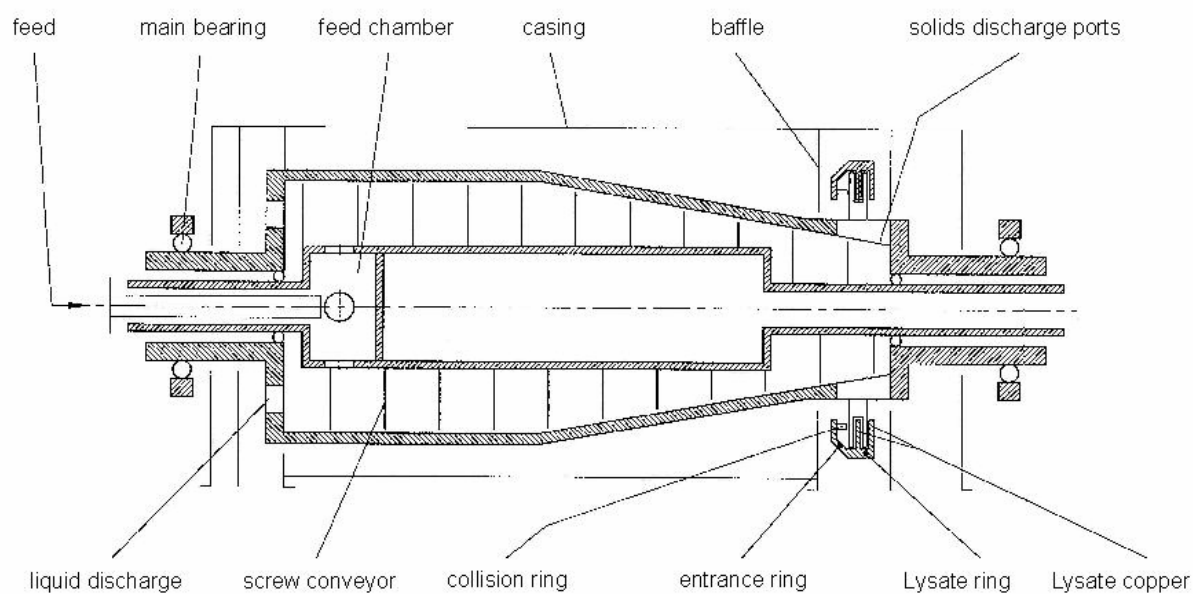
Při běžném zahušťování přebytečného aktivovaného kalu na odstředivkách se volí s ohledem na čerpatelnost zahuštěného kalu zahuštění na sušinu 5% - 6% hm. Vyšší koncentrace jsou již zpravidla vřetenovými čerpadly nečerpatelné.

Při zahušťování přebytečného kalu centrifugací jsou vytvořeny podmínky pro dezintegraci buněk. Vhodnou konstrukční úpravou centrifugy lze využít nadbytek kinetické energie centrifugy k většímu rozbití buněk mikroorganismů, obsažených v centrifugovaném kalu. K mechanické destrukci buněčných membrán pak dochází vlivem tlaku, nárazu, střižných sil nebo rotační energie. Působení těchto sil na nerozpuštěné látky má za následek napětí

a deformaci. Přestože jsou buňky mikroorganismů vzhledem k malým rozměrům a pevné buněčné stěně relativně velmi odolné mechanickým vlivům, deformacím odolávají pouze pokud je napětí menší než pevnost buněčné stěny. Lyzovaný zahuštěný přebytečný kal má podstatně sníženou viskozitu, takže běžná vřetenová čerpadla čerpají tento kal o sušině 10% - 12%. Tím se dosahuje snížení spotřeby el. energie a navíc směs primárního a zahuštěného přebytečného kalu má podstatně vyšší sušinu, takže dochází k úspoře na tepelné energii potřebné na vyhřívání fermentačních nádrží a buď ke snížení jejich objemu a nebo k prodloužení doby zdržení

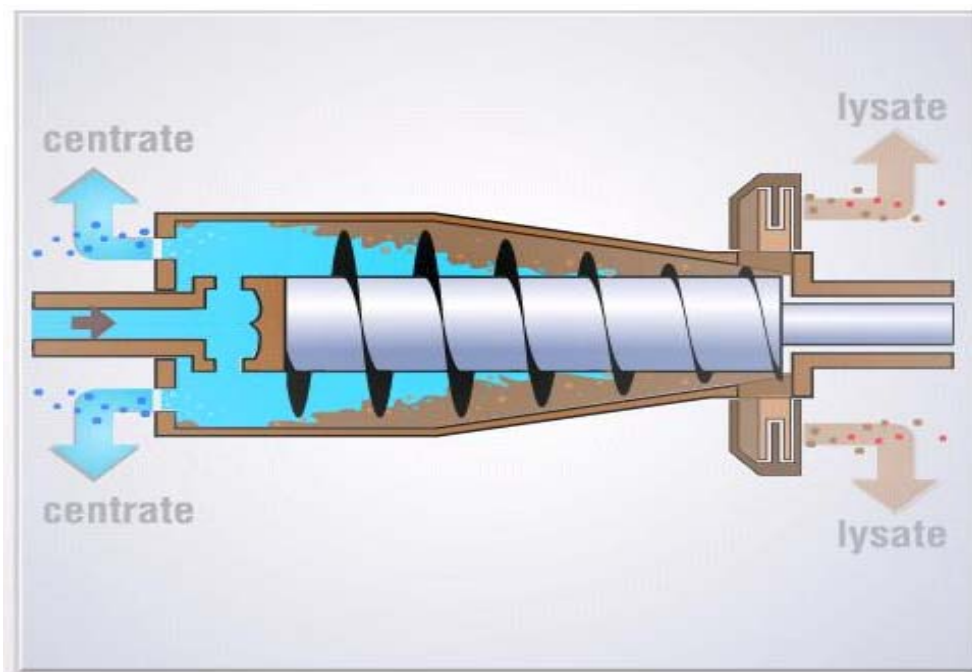
Funkce lyzátovací centrifugy

Konstrukční úprava zahušťovací centrifugy (Obr. 4.3.1) spočívá v namontování lyzovacího (rozrušovacího) zařízení, pozostávajícího ze statoru a rotoru vybavených speciálními noži, do proudu vystupujícího zahuštěného aktivovaného kalu. (Obr. 4.3.2). Tím lze dosáhnout destrukce značného množství buněk a vytvořit potřebné množství lyzátu a to vše bez zvýšení elektrického příkonu centrifugy nebo jeho minimálním zvýšení. Destrukce buněk probíhá jako vedlejší proces při zahušťování biomasy, není zapotřebí speciálních samostatných zařízení. **Obr. 4.3.3 a 4.3.4.**

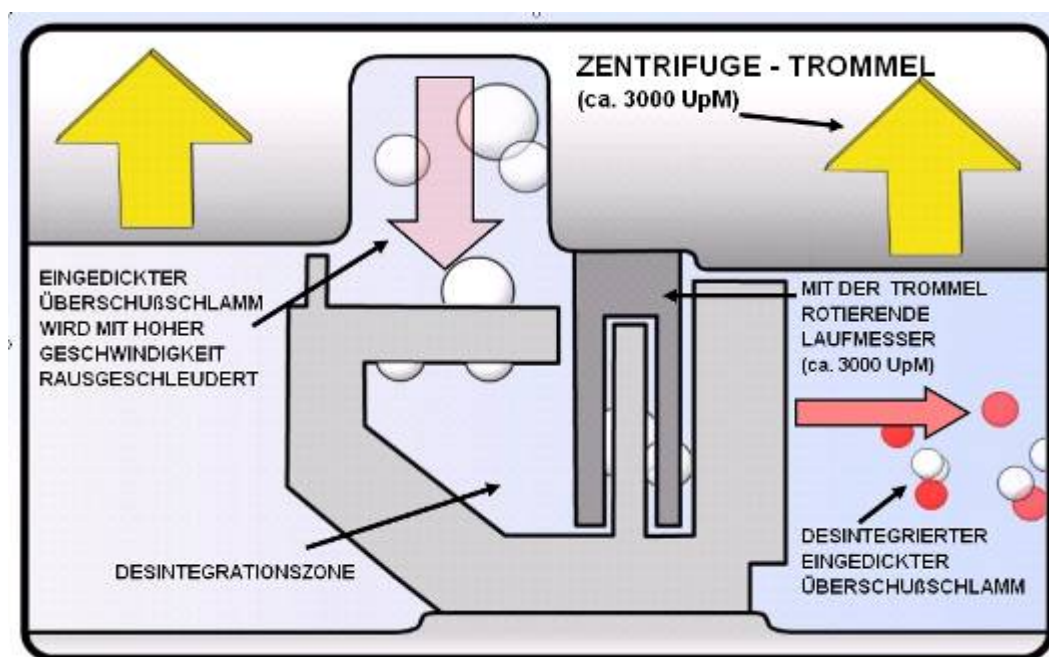


Lysate thickening centrifuge (typical drawing)

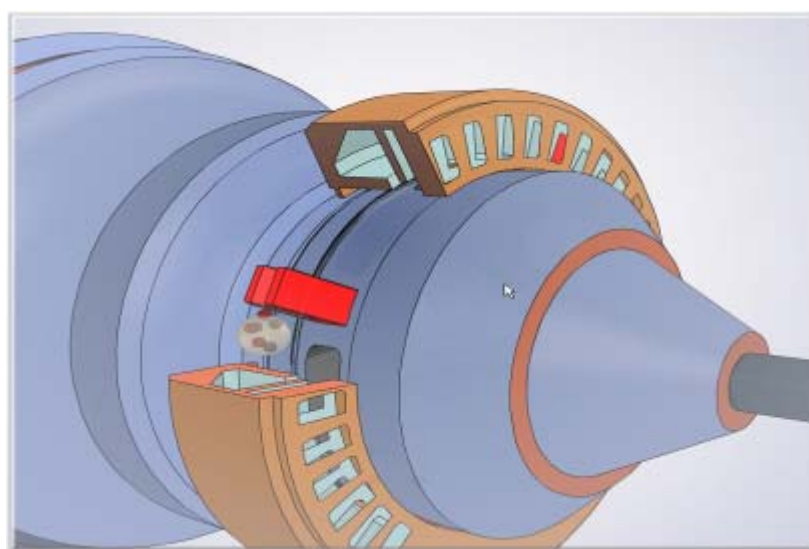
Obr.4.3.1 - Schéma zahušťovací odstředivky s lyzačním zařízením



Obr. 4.3.2 – Schéma rozrušování



Obr. 4.3.3 – Schéma rozrušování



Obr. 4.3.4

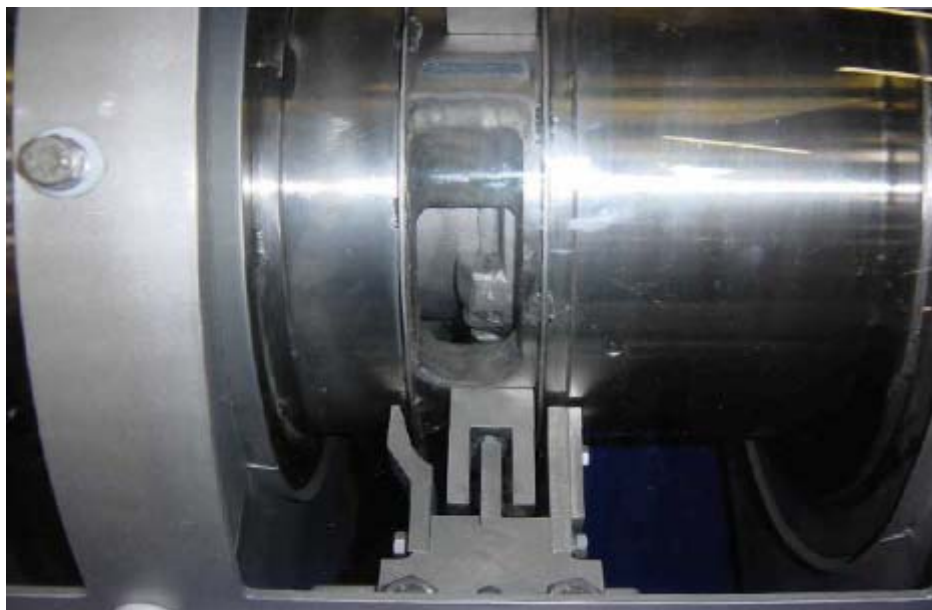
Vzhledem k tomu, že lyzace probíhá mimo vlastní buben centrifugy v samostatném zařízení, jehož statická část je pevně spojena s rámem a pouze rotační prvky jsou spojeny s vnější částí bubnu zahuštěného kalu, nedochází k ovlivnění jakosti centrátu. Další výhodou této úpravy je, že lyzovací zařízení může být namontováno dodatečně i do centrifug, které jsou již v provozu a tak je možno stávající zahušťovací centrifugu přeměnit na lyzátovací.

Vliv lyzátovací zahušťovací centrifugy na aktivační proces a na funkci celé čistírny odpadních vod je úplně stejný jako každé jiné zahušťovací centrifugy. K rozbití buněk dochází až po oddělení kapalně fáze - lyzátu a tudíž se žádný lyzát se nevede do aktivace.

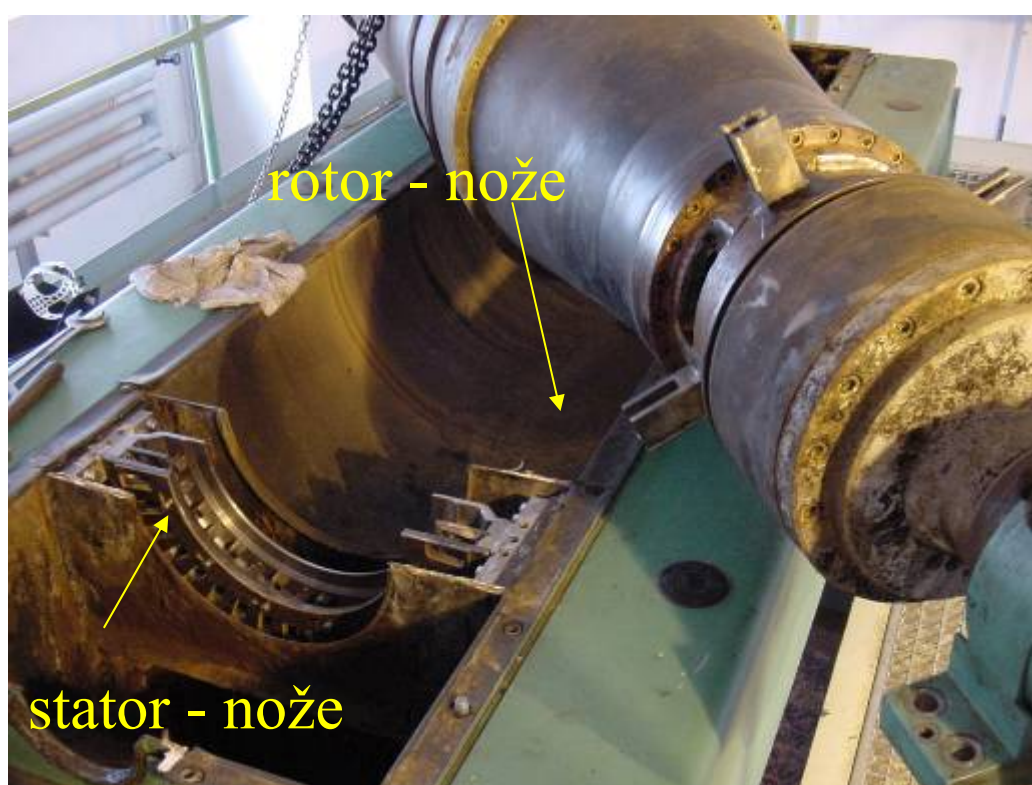
Veškerý zahuštěný kal s obsahem lyzátu se vede přímo do metanizační nádrže kde dochází k rozkladu přivedených organických látek za stimulačního působení lyzátu, který je v konečné fázi také rozložen.

Vlastní lyzační zařízení má několik modifikací, ale převážně se používá „nožová“ sestava, kdy je spojeno s hlavou rotoru několik lyzátovacích nožů, které se pohybují v soustavě přepážek s otvory (Obr.4.3.5). Přepážky jsou součástí nosného kruhu, pevně spojeného s rámem odstředivky. Energie radiálního proudu zahuštěného přebytečného aktivovaného kalu, který vystupuje z odstředivky způsobí první dezintegraci nárazem na systém pevných nožů a zároveň se změní směr proudu na axiální. Proud kalu prochází přepážkami za současného „řezání“ oběžnými noži. Počet přepážek a velikost otvorů, počet a rozměry oběžných nožů a jejich upevnění k rotoru v jedné či více rovinách, včetně rozměrů celého zařízení závisí na velikosti zahušťovací odstředivky (podle nátoky) a zejména na konstrukci odstředivky.

Umístěním lyzovacího (rozrušovacího) zařízení do proudu vystupujícího zahuštěného kalu se zvýší účinnost destrukce buněčných stěn. Využije se tím částečně přebytek kinetické energie centrifugy. Takto upravená centrifuga je potom využívána jako dvojúčelové zařízení k lyzaci a zahušťování. Množství rozbitých buněk závisí na parametrech centrifugy (počet otáček, průměr bubnu, atd.), na druhu rozrušovacího zařízení a na druhu a kvalitě zpracovávané biomasy zpracovávaného aktivovaného kalu.(Obr. 4.3.6.)



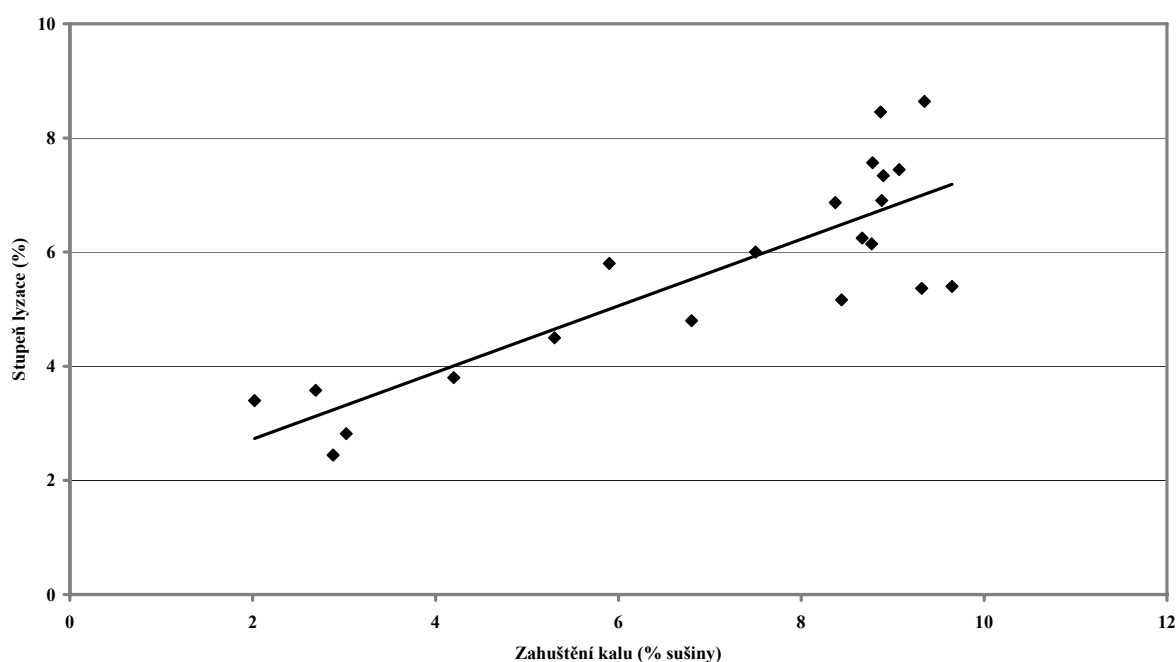
Obr. 4.3.5 - Provedení lyzačního zařízení



Obr. 4.3.6

Pro stimulaci anaerobních procesů již postačuje 0,5% lyzátu, upravená odstředivka produkuje 5- 8% lyzátu přímou dezintegrací buněk, ale do 24 hodin se v zahuštěném kalu obsah lyzátu ještě minimálně zdvojnásobí.

Obsah lyzátu v zahuštěném přebytečném kal závisí na uvedených podmínkách pro zahušťování přebytečného kalu, ale především na stupni zahuštění podle obrázku 4.3.7.



Obr. 4.3.7 - Závislost dosaženého stupně lyzace na stupni zahuštění

Dosud byla instalována lyzační zařízení do odstředivek typu HILLER, FLOTTWEG, KHD Humboldt Wedag (nyní ANDRITZ) a je již dokumentace na výrobu zařízení na typ ALFA LAVAL.

Vliv lyzace na anaerobní proces

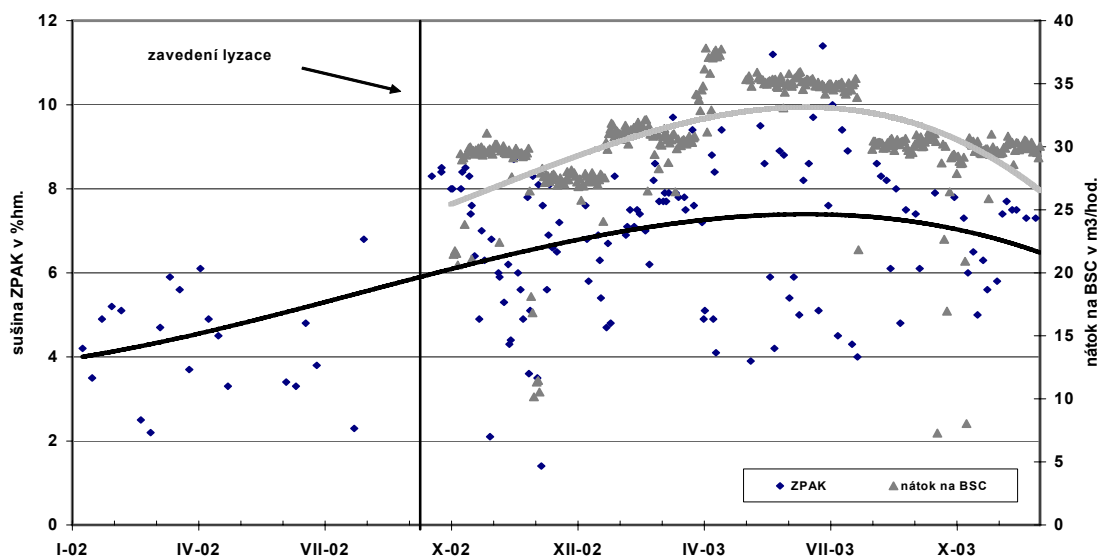
Aplikace výše uvedeného způsobu se projeví v technologické realizaci zlepšením celé řady technologických parametrů. Při zpracování rozpuštěného znečištění (anaerobní čištění odpadních vod) a při anaerobní stabilizaci kalů se dosáhne:

- zvýšení výkonnosti anaerobních reaktorů zvýšením rychlosti rozkladu

- zvýšení rozložitelnosti organických látek v průběhu procesu stabilizace (u kalů prohloubení anaerobního rozkladu, u odpadních vod možnost rozkladu problémových látek např. různých xenobiotik nebo toxických látek)
- zvýšení produkce bioplynu
- snížení obsahu organických látek a tím i množství produkovaného stabilizovaného kalu
- zlepšení odvodnitelnosti anaerobně stabilizovaného kalu
- významné zlepšení energetické bilance procesu v porovnání s klasickým uspořádáním

Při běžném zahušťování přebytečného aktivovaného kalu na odstředivkách se volí s ohledem na čerpatelnost zahuštěného kalu zahuštění na sušinu max. 5 % - 6 % hm. Vyšší koncentrace jsou již excentrickými vřetenovými čerpadly nečerpatelné.

Zavedením lyzace zahuštěného přebytečného kalu v odstředivce dojde k výraznému snížení viskozity zahuštěných kalů. Dosáhne se výrazného zvýšení obsahu sušiny v kalu a s tím spojené redukci objemu kalu určeného pro vyhnívání, delší doby vyhnívání, snížení tlakových ztrát při čerpání, snížení množství vyhnílého kalu určeného k likvidaci, značném zvýšení odvodňovací schopnosti vyhnílého kalu a ve výrazném snížení energetické spotřeby při následném zpracování kalů při sušení nebo spalování kalu. Z toho důvodu lze zvýšit koncentraci sušiny v zahuštěném kalu (tj. zahuštění) na 9 % - 12 % hm., bez jakýchkoli problémů při čerpání tohoto kalu vřetenovými čerpadly. Tím se ovšem dosáhne dalšího významného zmenšení původního objemu přebytečného kalu tedy na polovinu objemu dosaženého při nelyzovaném zahušťování (Obr. 4.3.8)



Obr.4.3.8 - Zvýšení sušiny ZPAK na BS 3054 při zachování čerpatelnosti kalu

Při dalším zpracování kalů ve vyhnívacích (fermentačních) nádržích se tak dosáhne prodloužení hydraulické doby zdržení a snížení nároků na tepelnou energii k ohřevu nádrží.

4.3.2 Příklady použití

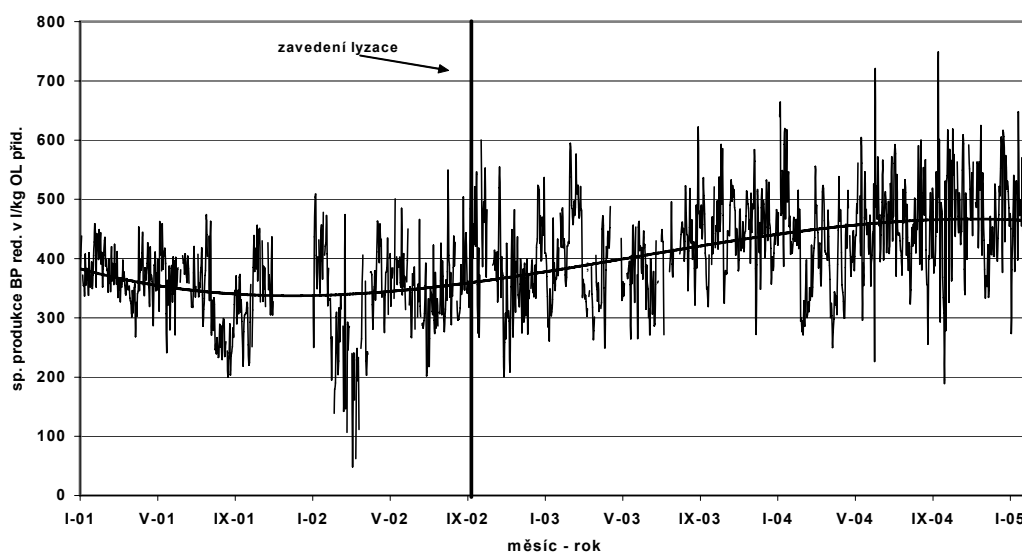
Metoda zjištění lyzačního efektu v provozní praxi je založena na stanovení objemu specifické produkce bioplynu (za normálních podmínek a jako suchý plyn), tedy na hodnotě objemu bioplynu vzniklého z 1kg organických látek, vložených do vyhnívacích nádrží. Aby tato hodnota byla spolehlivě zjištěna, je nutno specifickou produkci BP vyjadřovat jako denní hodnotu za období 6 až 12 měsíců před zavedením lyzace a alespoň za období 6 měsíců po zavedení lyzace. Roční období před zavedením lyzace umožní eliminovat vliv sezónnosti na kvalitu kalu a potom lze půlroční sledování po zavedení lyzace snadno porovnat.

4.3.2.1 Provozní ověření lyzace na ČOV Liberec

Lyzační zařízení bylo instalováno na zahušťovací odstředivce BSC 3054 a uvedeno do provozu 5.9.2002. Oba proudy kalů (primární a zahuštěný přebytečný) se čerpají každý zvlášť přímo do dvou vyhnívacích nádrží. Objem kalu v každé nádrži se udržuje na hodnotě 4420m³. Anaerobie je provozována jako střídavý jednostupňový systém.

Obrázek 4.3.9 znázorňuje změnu ve specifické produkci bioplynu zavedením lyzace. Je nutno poznamenat, že graf zachycuje i všechny provozní události, které se ve sledovaném období udály, jako např. několikaměsíční odstavení jedné VN z provozu těsně před zavedením lyzace, dlouhodobé pění VN v roce 2003, změny v provozování VN (střídavé plnění VN a krátký přechod na dvojstupňové vyhnívání a zpět), poruchy odstředivky, generální opravy lyzačního zařízení atd. Přesto je trend ve vývoji spec. produkce BP patrný.

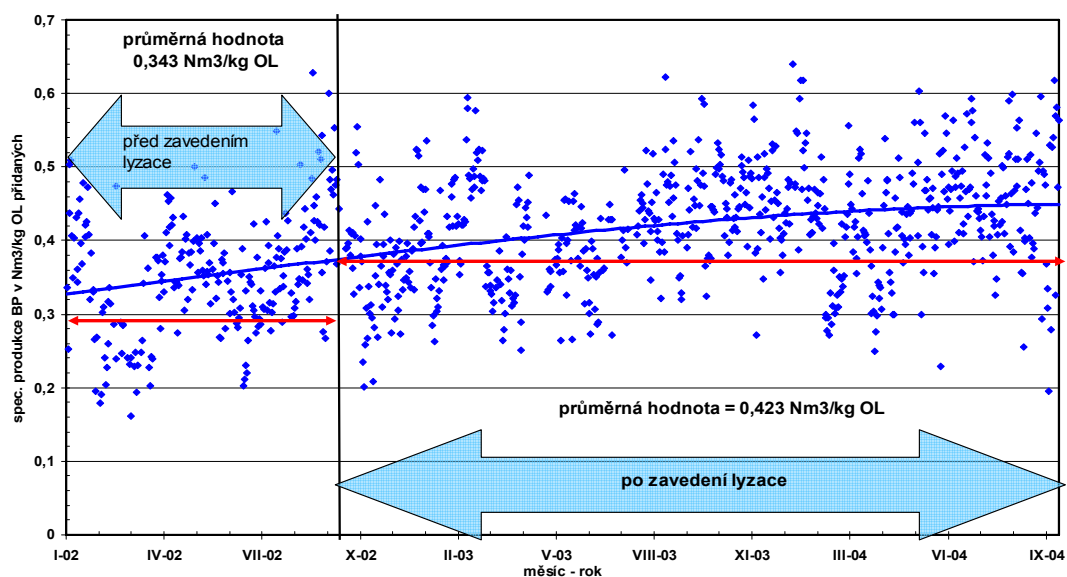
Vliv lyzace ZPAK na produkci bioplynu, byl sledován od září 2002 do ledna 2005. Jak Počáteční fáze náběhu a adaptace biocenózy ve VN byla narušena tříměsíční odstávkou jedné z VN, následoval proces obnovy dvoustupňového vyhnívání, po několika měsíčním ustáleném provozu došlo k pění a poruše procesu. Po odstranění této závady se přešlo opět na střídavý (jednostupňový) provoz VN. Vzhledem k mimořádně abrazivním vlastnostem ZPAK na ČOV Liberec, dochází často k opotřebení oběžných nožů a aby lyzační kapacita byla zachována, je nutná jejich výměna jednou za rok až dva roky.



Obr. 4.3.9 - Vývoj specifické produkce bioplynu

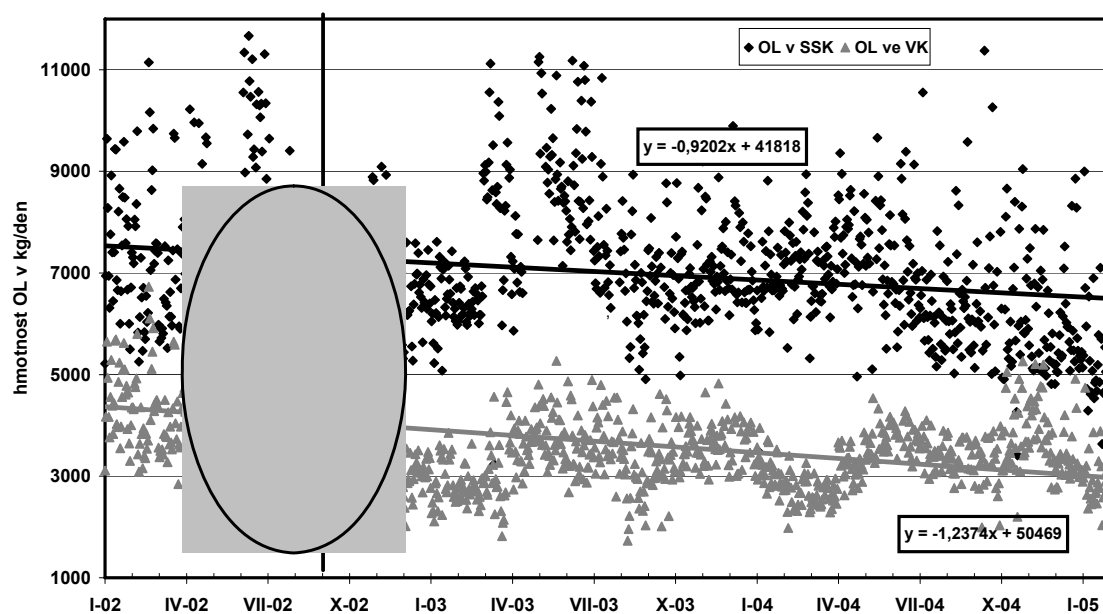
Jestliže byla tedy specifická produkce bioplynu před zavedením lyzace $0,343 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ organických látek příd., pak za 25 měsíců sledování účinnosti lyzace se průměrná hodnota zvýšila na $0,423 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ organických látek příd., tj. o 23%. Ale jak je patrné z polynomického trendu, k ustálení dochází asi na hodnotě $0,450 \text{ Nm}^3/\text{kg}$ organických látek

což odpovídá 31% navýšení. Zcela určitě se tedy pohybuje efekt zvýšení specifické produkce bioplynu v tomto rozpětí, tedy mezi 23 % až 31 %. (Obr. 4.3.10)



Obrázek 4.3.10 - Vliv lyzace na specifickou produkci bioplynu na ČOV Liberec

Zavedením lyzace došlo k vyrovnání i celkovému poklesu v denní hmotnosti org. látek ve vyhnílelém kalu (VK) ve srovnání s hmotností org. látek v dávkovaném surovém směsném kalu (SSK), jak je na obrázku 4.3.11.



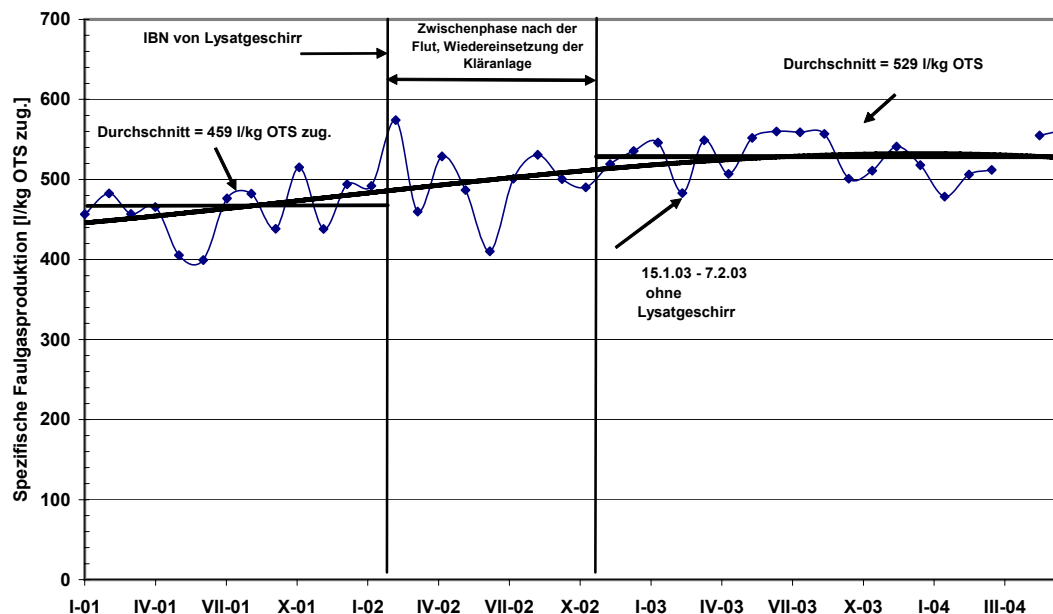
Obr. 4.3.11 - Denní hmotnost OL v SSK a ve VK

4.3.2.2 Provozní ověření lyzace na ČOV Fürstenfeldbruck (Německo)

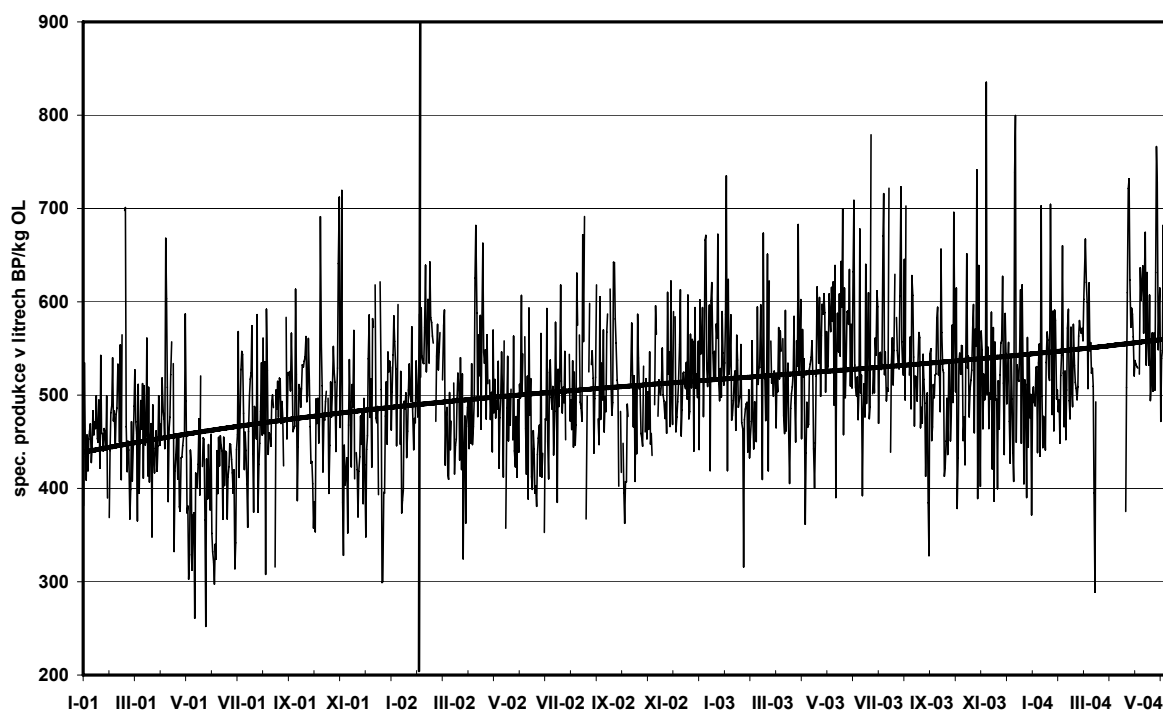
Na této čistírně, jejíž kapacita je asi 70 tis. EO, bylo lyzační zařízení na zahušťovací odstředivku BSC 3-01 instalováno počátkem února 2002. Vyhnívání je provozováno jako dvoustupňové, ve dvou nádržích o objemu 1800 m³. Hlavní provozní problémy nastaly vzápětí po zaplavení ČOV v únoru 02, do VN vnikly s kalem ropné látky a cca za 6 měsíců se teprve provoz konsolidoval. V průběhu sledovacího období došlo k několika provozním výpadkům odstředivky a od konce března do počátku května 04 byly střídavě vyřazeny z provozu obě VN za účelem revize a oprav. Tyto události vždy měly významný vliv na sledované parametry. Sledované a vyhodnocované období je od 1.1.2001 do 30.6.2004, kdy již obdobně jako na ČOV Liberec je patrná ustálená hodnota specifické produkce BP na kg organických látek přidaných.

Provozní aplikaci předcházely produkční testy z odebraných vzorků, jednak po laboratorní lyzaci v dubnu 2001 a potom v červnu 2002 již s provozně lyzovaným ZPAK, které byly provedeny na VŠCHT Praha.

Vývoj specifické produkce bioplynu je vyjádřen na obrázku 4.3.11. Je sestaven z měsíčních průměrných hodnot a zachycuje i hlavní provozní události. Je to již zmíněné zaplavení ČOV, dále výpadek (oprava) lyzačního zařízení, vyřazení VN z provozu atd. Přesto je zřetelný vzestupný trend do ustáleného stavu a tak je možno konstatovat, že lyzací ZPAK dochází ke zvýšení specifické produkce bioplynu asi o 15%. Tato hodnota je ostatně v souladu s oběma produkčními laboratorními testy. Tento základní graf je ještě doplněn celkovým vývojem denních hodnot specifické produkce bioplynu na obrázku 4.3.12.



Obr. 4.3.11 - Průběh specifické produkce BP red. za období leden 2001 až červen 2004.



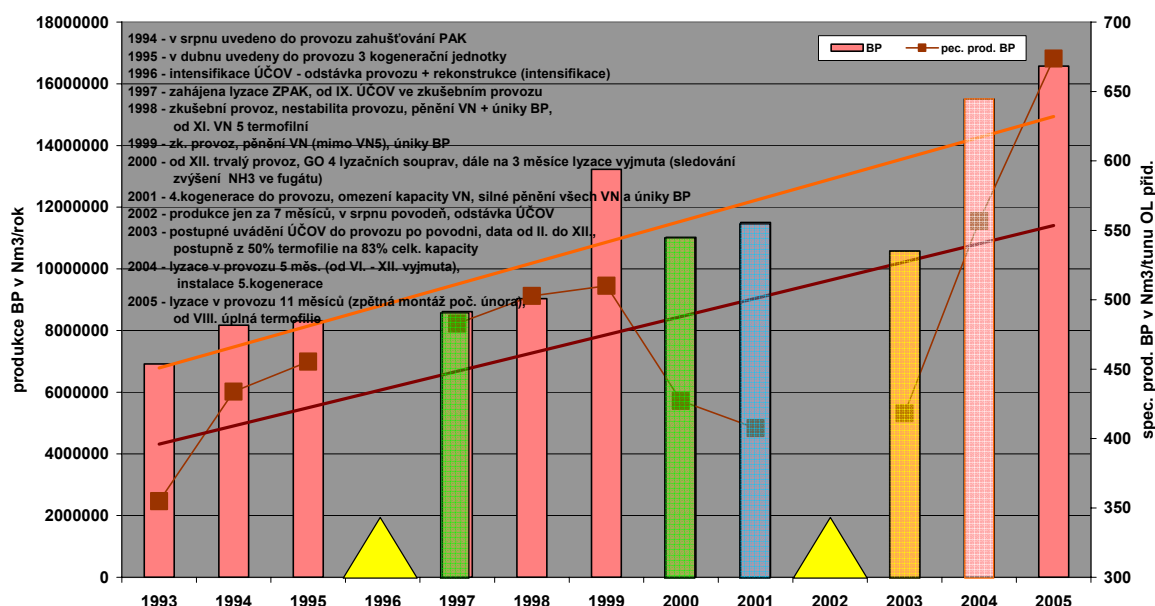
Obr. 4.3.12 - Denní specifická produkce bioplynu v ČOV Fuerstenfeldbruck.

4.3.2.3 Provozní výsledky na ÚČOV Praha

Zavedením lyzace zahuštěného přebytečného biologického kalu a přechod z mezofilní anaerobní stabilizace na termofilní se zvýšila specifická produkce bioplynu z původní hodnoty přibližně $0,470 \text{ Nm}^3/\text{kg OL příd.}$ na hodnotu cca $0,650 \text{ Nm}^3/\text{kg OL příd.}$, tj. o **40%**. Protože zavádění obou procesů probíhalo téměř souběžně i když v různém rozsahu a různým tempem, nelze stanovit podíl každé z metod na zvýšení parametru spec. produkce BP. Lze se oprávněně domnívat, že se navíc obě metody doplňují tak, že každá zvyšuje účinek druhé a tak konečný efekt není sumou efektů dílčích.

Růst parametru „spec.prod.BP v $\text{Nm}^3/\text{kg OL příd.}$ “ je příčinou i růstu produkce bioplynu celkem. Roste i míra jeho energetického využívání v soustavě kogeneračních jednotek. Je pozoruhodné, že v roce 2005 by míra soběstačnosti překročila 90%. produkcí výrobou z BP lze pokrýt 90%, pak se ušetří nákup 38700 MWh což činí 62 mil Kč/rok úspor provozních nákladů. Toto je ekonomický výstup intenzifikované anaerobie realizované na pražské ÚČOV. Historie intenzifikace anaerobní stabilizace je znázorněna na Obr.4.3.13

Vývoj produkce bioplynu a jeho specifické produkce na ÚČOV Praha



Obr 4.3.13 – Úplný vývoj produkce bioplynu s uvedením všech rozhodných provozních situací

4.3.3 Shrnutí a reference

Výsledky dlouhodobého pozorování provozu zahušťovacích lyzátovacích centrifug na ČOV Liberec, na ČOV Fuerstenfeldbruck (Německo) i na ÚČOV Praha, které jsou popsány v tomto příspěvku plně potvrzují opodstatněnost zavedené technologie a její deklarované přínosy. Další provozní aplikace jsou ještě na ČOV Aachen – Soers a ČOV Rodenkirchen v SRN. Další instalace, které jsou ve stadiu rozpracování a k jejichž uvedení do provozu dojde v průběhu I.pololetí 2007 jsou uvedeny v partii REFERENCE.

Z provozních výsledků získaných na ČOV Liberec byl přírůstek zvýšení specifické produkce BP porovnáním hodnoty do zavedení lyzace a hodnoty po zavedení lyzace v rozmezí 23% až 31%. Celkové snížení množství odvodněného kalu za dobu 16. měsíců provozu lyzátovací centrifugy činilo 7,98 % (v hmotnost vlhkého odvodněného kalu).

Podobné výsledky byly dosaženy i na ČOV Fuerstenfeldbruck, kde je lyzátovací zahušťovací centrifuga v provozu již přes tři roky. Průměrná specifická produkce bioplynu se zvýšila z hodnoty 0,459 Nm³/kg OL přivedených, před zavedením lyzátovací technologie na 0,529 Nm³/kg OL přivedených, po zavedení lyzátovací centrifugy, tj. zvýšení o 15,2%. Ekvivalentně se snížilo množství stabilizovaného kalu. Dalším přínosem je trvalá změna sušiny čerpaného ZPAK z původních 5 % - 6 % na 8 % až 9%.

Zvýšení produkce bioplynu na ČOV Aachen, kde byly lyzace zavedena v r.2003, činí 15 %.

Obdobný výsledek byl zjištěn i při ověření lyzace na ÚČOV Praha v letech 1999 až 2005, kdy bylo dosaženo přírůstku produkce BP ve výši téměř 40%. Je nutno ale poznamenat, že na provozovaných pěti zahušťovacích odstředivkách BSC 4–2 jsou nainstalovány lyzační soupravy z různých dřívějších vývojových etap, takže rozpětí dosaženého stupně lyzace se pohybuje od 2,5 % do 7,5 % a ze souboru šesti dvojic vyhnívacích nádrží bylo v době ověřování pět v režimu termofilním a jedna v režimu mezofilním (od srpna 05 rovněž v termofilním režimu).

Výsledky instalace lyzačního zařízení do zahušťovacích odstředivek na základě vyhodnocení provozních dat jednoznačně dokazují ekonomický přínos mechanické

dezintegrace při anaerobním zpracování kalů, a to ve zvýšené produkci bioplynu, což znamená přínos energie, ve snížení množství výstupního kalu – úspora nákladů a v lepší čerpatelnosti vstupních kalů, což znamená úsporu čerpací kapacity, energie a vyšší efektivnost anaerobní stabilizace.

Přínosy a výhody vyplývající z aplikace lyzačního zařízení instalovaného do zahušťovací odstředivky:

- snížení viskozity zahuštěného přebytečného kalu a posunutí zahuštění na 9 % až 12 % sušiny při zachování čerpatelnosti
- zvýšení produkce bioplynu o 15 % až 30 % při stejném množství vložených organických látek
- snížení produkce anaerobně stabilizovaného kalu a dosažení výrazných úspor na nákladech za likvidaci odvodněného kalu
- snížení obsahu zbytkových organických látek v anaerobně stabilizovaném kalu
- zlepšení odvoditelnosti anaerobně stabilizovaného kalu
- snížení absolutní spotřeby flokulantu při odvodňování anaerobně stabilizovaného kalu
- významné zlepšení celkové energetické bilance procesu v porovnání s klasickým uspořádáním

Reference

Tuzemské : ČOV Liberec, 150 tis EO – instalace lyzačního zařízení 5.generace (náhrada původní soupravy po 5 letech provozu), příprava realizace na další zahušťovací odstředivku instalovanou v rámci rozšíření ČOV, ÚČOV Praha, 1 250 tis. EO, postupná výměna lyzačních souprav za typ 5.generace, ve fázi realizace ČOV Příbram, 76 tis. EO

Zahraniční: ČOV Aachen – Soers (SRN), 460 tis.EO, ČOV Rodenkirchen (SRN), 60 tis. EO ČOV Fuerstenfeldbruck (SRN), 70 tis.EO

ve fázi realizace: ČOV Fürth, 150 tis. EO – SRN, ČOV Buchenhofen(Wuppertal) – 700 tis. EO (SRN)

Dodavatelé- kontakty:

Lysatec GmbH

Peter-Vischer Str. 11, 95615 Marktreidwitz, Spolková republika Německo

<http://www.lysatec.com>

4.4 Termofilie

Metabolická aktivita mikroorganismů je ovlivňována mnoha faktory, z nichž mezi nejvýznamnější patří teplota. Teplota ovlivňuje rychlosti všech probíhajících reakcí uvnitř i vně mikroorganismů. Teplotní závislost těchto reakcí je však různá pro různé druhy mikroorganismů a různé reakce. Protože vliv teploty na každý organismus je jiný, má teplota rozhodující úlohu ve složení směsných kultur, jako je tomu u konsorcia mikroorganismů účastnících se anaerobního rozkladu organické hmoty. V těchto směsných kulturách bude za dané teploty a chemického složení převládat ten druh, který přeměňuje energii nejrychleji a s nejvyšší účinností.

Vzhledem k tomu, že většina mikroorganismů potřebuje pro svůj růst vodní prostředí, je obvykle za dolní teplotní limit pro růst považována teplota bodu mrazu tj. 0°C, kdy zmrzne kultivační medium. Horní teplotní hranice růstu je daná pro jednotlivé mikroorganismy teplotou denaturace jejich bílkovin a pro různé mikroorganismy se pohybuje v širokém rozmezí.

4.4.1 Princip vlivu teploty na anaerobní procesy

Rychlost růstu mikroorganismů je ovlivňována mnoha faktory, z nichž mezi nejvýznamnější patří teplota.

Pro každý druh mikroorganismů je charakteristická optimální teplota růstu. Vedle optimální teploty je důležité tzv. „teplotní rozmezí“, tj. rozmezí teplot v němž mikroorganismus může růst. Toto rozmezí je charakterizováno minimální a maximální teplotou růstu mezi nimi se nachází optimální teplota - tj. teplota při níž dosahuje mikroorganismus maximální rychlosti růstu. Toto rozmezí se pro jednotlivé mikroorganismy pohybuje v rozsahu 20 až 70°C, obvykle okolo 40°C.

Podle teplotního rozmezí a optimálních růstových teplot můžeme mikroorganismy rozdělit do několika teplotních skupin (tab.4.4.1)

Tabulka 4.4.1 - Rozdělení mikroorganismů do teplotních skupin

	T _{min}	T _{opt.}	T _{max}
Psychrofilní	<0	<15	<20
Termotolerantní mezofily	<5	>15	>20
Mezofilní	>5	<45	<50
Termotolerantní termofily	<25	>45	>50
Termofilní	>25	>45	>50
Termotolerantní extrémní termofily	<45	>65	>70
Extrémní termofily	>45	>65	>70

Anaerobní rozklad je charakterizován řadou následných rozkladných stupňů (hydrolýza, acidogenese, acetogenese, methanogenese). Takto probíhá anaerobní rozklad za mesofilních i za termofilních podmínek. Hlavním rozdílem mezi mezofilním a termofilním procesem jsou reakční rychlosti v jednotlivých stupních rozkladu. Obecně reakční rychlost s rostoucí teplotou vzrůstá. Nárůst rychlosti však není stejný u všech reakcí. Každá reakce může mít jinou teplotní závislost.

Mnoho mezofilních bakterií zúčastňujících se anaerobního rozkladu má své termofilní homology, ale ne všechny a ne vždy jsou ve směsné biocenose přítomny. Toto je podstatný fakt, který si musíme uvědomit při přechodu z mezofilního do termofilního procesu.

Teplota má významný vliv na reakce vně i uvnitř mikrobiálních buněk. Teplota působí jako akcelerator rozkladných procesů a často je rozhodujícím faktorem, zda daná reakce proběhne nebo neproběhne. Vnitrobuněčné prostředí potřebuje dostatečnou adaptaci, aby se stalo rezistentní vůči vyšší teplotě.

Růst

Rychlost růstu bakterií je definována známou rovnicí

$$\mu = \frac{dx}{dt} \mu_{\max} X$$

kde: μ - specifická růstová rychlost (1/h), x - koncentrace biomasy, $\mu_{\max}$ - maximální rychlost růstu - konstanta (1/h), t - čas.

Maximální růstová rychlost $\mu_{\max}$ je konstantní však pouze pro danou teplotu. Vliv teploty na růstovou rychlost je obvykle popisován modifikovanou Arrheniovou rovnicí ve které rychlostní konstanta chemické reakce byla nahrazena rychlostní konstantou bakteriálního růstu:

$$d \log k/dT = E/RT^2$$

kde: k - rychlostní konstanta biologické reakce (růstu, odstraňování substrátu a pod.), T - teplota v °K, R - univerzální plynová konstanta (8,314 J/mol°K), E - aktivační energie.

Růstové rychlosti termofilních mikroorganismů jsou 2 až 3 krát vyšší než mezofilních.

Rozpustnost plynů a solí

Se zvyšující se teplotou výrazně klesá rozpustnost plynů v kapalně fázi. Nižší rozpustnost plynů NH_3 , H_2S a H_2 , které negativně (nebo toxicky) ovlivňují anaerobní proces, způsobuje, že tyto plyny jsou snadněji vystripovány z roztoku. Také rozpustnost těchto plynů včetně methanu v odtoku z reaktoru bude nižší při termofilním procesu oproti mezofilnímu. Snížení rozpustnosti CO_2 způsobuje zvýšení neutralizační kapacity systému.

Rozpustnost většiny anorganických solí s teplotou vzrůstá avšak součin rozpustnosti sraženin jako např. CaCO_3 se vzrůstající teplotou klesá. Jestliže soli organických kyselin (např. neutralizované dlouhé mastné kyseliny jsou rozpustnější při vyšší teplotě, znamená to lepší přístupnost těchto sloučenin biologickému rozkladu.

Na druhé straně změna chemických rovnováh následkem vyšší teploty může vést ke zvýšení koncentrace nedisociovaných sloučenin, zejména amoniaku NH_3 , což může negativně ovlivnit anaerobní rozklad za termofilních podmínek.

Je známo, že toxicky působí nedisociované formy zejména nižších mastných kyselin, H_2S a NH_3 . Jejich toxicita je způsobena tím, že v nedisociované formě snadněji difundují bakteriální membránou. Zvýšení teploty nejvíce ovlivňuje chemickou rovnováhu u sloučenin, jejichž hodnota disociační konstanty se pohybuje okolo 10^{-8} - 10^{-7} t.j. v neutrální oblasti. Z tohoto hlediska je nebezpečnější koncentrace nedisociovaného NH_3 ($\text{pK} = 9,27$) než mastných kyselin, jejichž pK (4,70) je více vzdáleno od hodnoty pH reakční směsi.

Viskozita

Zvýšení teploty způsobuje snížení viskozity reakční směsi. To má za následek nižší energetické nároky na míchání. Míchací efekt vznikajícího bioplynu je vyšší. Snížení viskozity zlepšuje separovatelnost tuhých částic (vloček). Na druhé straně však se zvyšuje možnost flotace vloček kalu vznikajícím bioplymem.

Snížením viskozity vzrůstá rychlost difuze rozpuštěných látek. Rychlost difuze rozpuštěných látek se zvyšuje asi o 50% v termofilních podmínkách ($50\text{-}60^\circ\text{C}$) oproti mezofilním ($30\text{-}40^\circ\text{C}$). Vzhledem k tomu, že rychlost růstu termofilních mikroorganismů je 2 až 3 krát vyšší než mezofilních, odstraňování rozpuštěného substrátu v termofilním procesu může být limitováno difuzí.

Odstraňování patogenů

Úbytek patogenů lze popsat rovnicí prvního řádu a je to proces úměrný konstantě rozkladu biomasy K_b :

$$\frac{dN}{dt} = -K_b N$$

kde: N - počet buněk, K_b - rychlostní konstanta rozkladu biomasy.

Konstanta úbytku biomasy K_b vzrůstá s rostoucí teplotou. Pro většinu pathogenních bakterií je potřebná doba hygienizace několik týdnů při 20°C, několik dní při 35°C a několik hodin při 53-55°C.

Potřeba energie

Potřeba energie pro termofilní proces závisí na teplotě vstupujícího materiálu, izolaci reaktoru a době zdržení. Ekonomickou bilanci procesu kladně ovlivňuje vyšší produkce bioplynu, vznikající v důsledku hlubšího rozkladu organické hmoty a eventuálně využití tepla odtoku z reaktoru. Teplotní bilance termofilního procesu je podstatně příznivější při anaerobní stabilizaci koncentrovaných materiálů. Dle dánských pramenů pro provozní termofilní reaktor (55°C, doba zdržení 15 dní), zpracovávající kejdu a organické průmyslové odpady postačovalo pro ohřátí reaktoru na provozní teplotu méně než 5% z celkové produkce bioplynu.

Zpracování termofilního procesu

Z výše uvedeného rozboru vyplývá, že termofilní anaerobní stabilizace přináší následující výhody v porovnání s mezofilním procesem:

- 1) Zvýšení rychlosti rozkladu organických látek.
- 2) Zvýšení účinnosti, tj. hloubky rozkladu organických látek.
- 3) Zvýšený hygienizační účinek procesu.

Technologický význam těchto faktorů je v tom, že umožňuje snížení potřebného objemu reaktorů a umožňuje pracovat při vyšším zatížení reaktorů. Převedení procesu anaerobní stabilizace z mezofilních na termofilní podmínky je významným intenzifikačním krokem, který umožňuje lepší využití stávajících zařízení a odstranění přetížení reaktorů. Hlubší rozklad organických látek má za následek vyšší produkci bioplynu a snížení množství zbytku po fermentaci. Mimo to produkt dosahuje vyšší stupeň stabilizace a hygienizace. Termofilní proces významný hygienizační účinek

Hlavní podmínkou dobré funkce a stability termofilního procesu je dobré zpracování reaktoru. Zpracování mezofilní anaerobní biomasy na termofilní musí probíhat postupně.

Zvyšování teploty musí být postupné a prováděno takovou rychlostí, aby nedocházelo k poklesu produkce methanu. Jednotlivé kroky zvyšování teploty by neměly být větší než 2-3°C. Takovýto způsob zapracování je relativně dlouhý (několik měsíců), ale přináší nejspolehlivější výsledky. Druhým způsobem zapracování je okamžitý přechod na vyšší teplotu (šokové zapracování), úspěšnost tohoto zapracování závisí na složení inokula, tj. na přítomnosti termofilních nebo potenciálně termofilních mikroorganismů. Průvodným jevem tohoto způsobu zapracování je značný pokles produkce methanu, spojený s odumíráním mezofilní biomasy.

4.4.2 Příklad použití

4.4.2.1 ÚČOV Praha

Průměrný přítok odpadních vod na Ústřední čistírnu odpadních vod (ÚČOV) Praha je 4,5 m³/s a celkové látkové zatížení odpovídá cca 1,6 mil. obyvatelů. Kalové hospodářství disponuje s 12 anaerobními stabilizačními nádržemi, každá s objemem 4800 m³, 6 nádrží prvního stupně je mícháno a vyhříváno, druhé stupně jsou nemíchané a nevyhřívány, dobrá izolační schopnost pláště však dokáže udržet obsah nádrže při teplotě jen o několik stupňů nižší než v prvním stupni. Přebytečný aktivovaný kal je zahušťován na odstředivkách s dezintegračním zařízením, je čerpán do jímky, kde se míchá s primárním kalem, surový směsný kal je dávkován do anaerobních nádrží prvního stupně. Stabilizovaný kal je odvodňován na odstředivkách Centripress.

První provozní pokus termofilní anaerobní stabilizace kalů probíhal v jedné dvojici stabilizačních nádrží, v prvním stupni byla provozní teplota postupně zvýšena a poté dlouhodobě udržována na 55 °C, v druhém stupni této nádrže byla teplota přibližně 52 °C. Sousední mezofilní nádrže stejné provozní jednotky sloužily jako referenční. V průběhu provozního pokusu byla sledována kvalita vstupů i výstupů celé čtveřice, aby byl zachycen vliv na provoz druhých stupňů a na produkci bioplynu. Před zahájením pokusu byl proveden statický posudek stavu nádrží, který potvrdil možnost provozu při zvýšené teplotě.

Postupné zvyšování teploty na provozních 55 °C probíhalo 7 měsíců (214 dní), adaptace mezofilní kultury na termofilní s plnou aktivitou však byla dokončena až po 14 měsících. Pokusná termofilní dvojice nádrží ve stabilním provozu sloužila jako zdroj adaptovaného

termofilního kalu pro zpracování dalších nádrží pro termofilní provoz. V průběhu sledovaného období byl termofilní proces vzhledem ke své vyšší kapacitě využíván pro zpracování zvýšeného množství surového směsného kalu (SSK), protože byly systematicky odstavovány a čištěny jednotlivé metanizační nádrže.

V současnosti již pracují v termofilním režimu všechny anaerobní nádrže ÚČOV Praha, ale výsledky dlouhodobého převádění provozu nádrží na vyšší teplotu jsou velmi cenné, protože umožnily porovnávat účinnost mezofilního a termofilního procesu na jedné čistírně se srovnatelnými podmínkami a charakterem vstupů.

Specifická produkce bioplynu

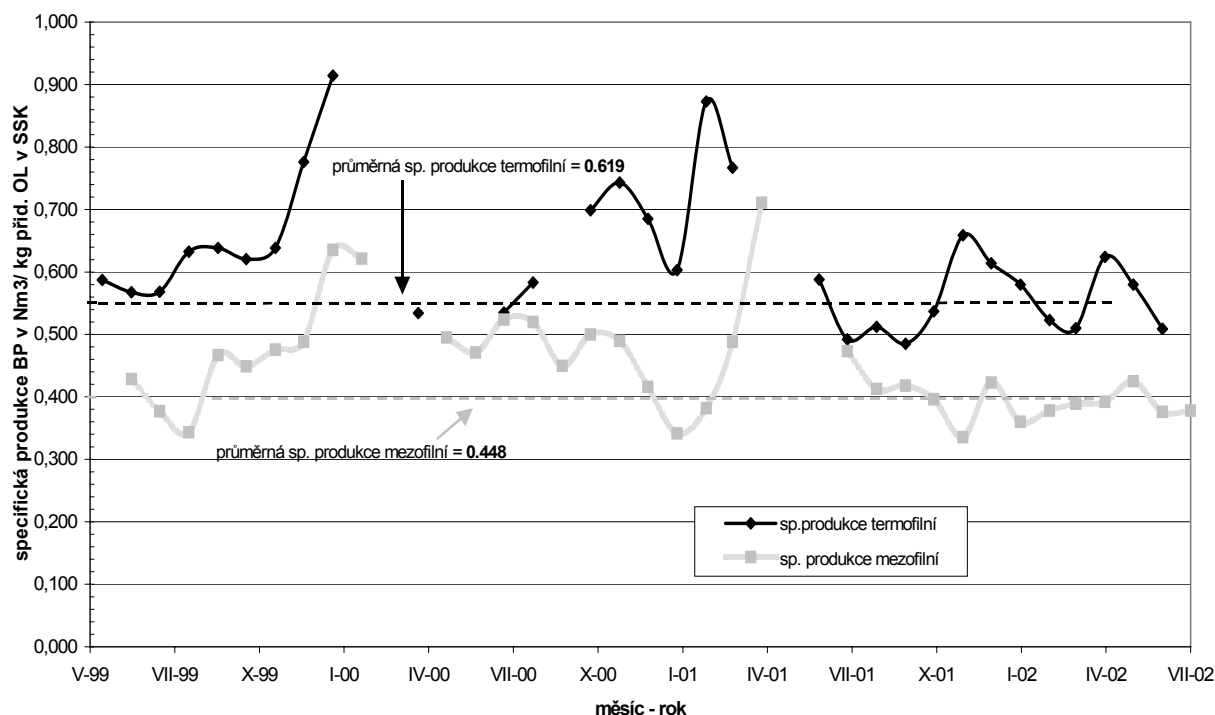
Uváděné specifické produkce bioplynu pro termofilní a mezofilní nádrže jsou vztaženy na přivedenou organickou sušinu a přepočtené na normální podmínky (0 °C, 101,3 kPa) a na suchý plyn, protože termofilní bioplyn obsahuje vyšší koncentraci vodní páry než mezofilní bioplyn. Z tohoto důvodu je také nutné termofilní biofilm před využitím v kogeneraci sušit.

Specifická produkce bioplynu na přivedenou organickou sušinu (VL org) závisí především na kvalitě organických látek v SSK, na teplotě a na hydraulické době zdržení v metanizační nádrži. Čím je kratší doba zdržení, tj. čím je vyšší zatížení, tím je specifická produkce bioplynu nižší. Při dlouhodobě konstantním složení BP na pražské ÚČOV činí obsah methanu 66 %. Tomu odpovídala průměrná specifická produkce bioplynu z termofilních nádrží ve výši 0,615 Nm³/kg organické sušiny. (Kutil a kol., 2000)

Prodloužená časová řada sledování ukončená v červenci 2002 potvrdila jednak termofilní specifickou produkci bioplynu, která nyní činila 0,619 Nm³/kg organické sušiny a jednak zvýšení specifické produkce bioplynu oproti mezofilii o 38 %. Z důvodu možného zkreslení nejsou uvažovány nestandardní stavy termofilního i mezofilního provozu. Jednalo se o provozní poruchy, nestandardní manipulace, tepelnou nedostatečnost atd.

Jako příklad obtížnosti získávání spolehlivých provozních hodnot jsou uvedeny následující problémy a změny v provozu vztahující se k datům na obrázku 1: (Kutil a kol., 2000)

- březen a duben 2000 - probíhaly úpravy v programu ASŘ kalového a plynového hospodářství, dále úpravy v systému tiskáren a proto nebyly k dispozici úplné a spolehlivé údaje. Z těchto důvodů pro nízkou spolehlivost podkladů nebyly vyhodnoceny specifické produkce bioplynu;
- červen 2000 - teplota termofilních nádrží byla dlouhodobě nízká, dne 7.6. poklesla až na 50,3°C. Dne 8.6. byla odstavena VN5 z důvodu čištění. Termofilní biocenóza byla přečerpána do VN7 a udržována při teplotě 53°-55°C;
- červenec 2000 - opět provedeny změny v režimu provozování, ke dni 25.7. byla opět postupně najeta VN5 na termofilii po přečerpání biocenózy z VN7, která byla uvedena do provozu mezofilního;
- srpen 2000 - byla vyhodnocena specifická produkce BP v termofilii, ale vlivem popsáných zásadních změn je z grafu patrné, že konsolidace procesu nebyla ukončena;
- říjen 2000 - došlo k havárii na plynojemu u VN6, od 16.10 do 28.10. bylo přerušeno dávkování SSK a VN 5 byla pouze udržována na termofilní teplotě;
- 19.4. 2001 výpadek elektrické energie včetně výpadku ASŘ, žádné informace k dispozici, složité a pomalé najíždění celého provozu, výměna ventilátorů, značný skluz v plnění harmonogramu výměny, úniky BP, měření uvedeno do spolehlivého provozu ke dni 15.5. 2001. V květnu provedena rehabilitace termofilních nádrží, protože nedostatečným příkonem tepla byl narušen jejich anaerobní proces;
- v průběhu června 2001 probíhala konsolidace všech VN.



Obr. 4.4.1. - Průběh termofilní a mezofilní specifické produkce bioplynu na ÚČOV Praha. (v období červen 2000 až červenec 2002)

Dlouhodobé sledování kalového hospodářství rovněž ukázalo, že nátok organického znečištění na ÚČOV Praha se stabilizoval a obsah organických látek v SSK v posledních letech činil 80 tun organické sušiny za den. Z 80 tun OL za den se vyprodukuje cca 50 000 Nm³ bioplynu, což odpovídá cca 60 000 m³ bioplynu při provozních podmínkách. Využitím tohoto množství bioplynu v kogeneraci se získá denně 205 MWh tepla. Celková denní spotřeba tepla (teplo na temperaturaci objektů, na ohřev kalu a na krytí tepelných ztrát pláštěm VN při minimálních venkovních teplotách -5°C a minimálních teplotách SSK 8°C) je tímto s rezervou pokryta, protože činí 181,3 MWh (57,6 MWh + 109,3 MWh + 14,4 MWh).

Zpracováním 60 000 m³ BP v kogeneraci se získá navíc denně 132 MWh elektrické energie, což za rok činí 48 200 MWh. Toto množství umožňuje ÚČOV nezávislost na vnějších zdrojích, čili veškerou spotřebu by byla schopna pokrýt svými zdroji (další varianta nabízí, uplatnit toto „zelenou energii“ na trhu, což by přineslo významný ekonomický efekt).

Homogenizace kalové směsi

Na homogenizaci dávkované kalové směsi do celého objemu reaktoru má vliv způsob míchání a dávkování. Míchání anaerobních nádrží bylo zlepšeno instalací mechanických vrtulových míchadel SCABA. Další vylepšení homogenizace bylo fázování denní dávky SSK do každé VN tak, že denní dávka byla rozložena do cca 20 dílčích dávek. To znamená, že doba čerpání dílčí dávky je cca 8 - 12 minut, potom je automaticky přepnuta do sousední VN atd. a po cca 40 – 60 minutách je načerpána další dílčí dávka a cyklus se opakuje. Je-li objem dílčí dávky 14 - 16 m³, pak její rozptýlení do efektivního objemu reakční směsi je spolehlivější a navíc, jakákoli změna v kvalitě SSK se promítne do celého systému VN, který je zatěžován porovnatelnou kvalitou. Je to významné přiblížení k ideálnímu dávkování, kterým je dávkování kontinuální.

Průběh a kontrola procesu

Spolehlivým indikátorem stability anaerobních procesů je obsah nižších mastných kyselin (NMK) v reakční směsi. Je to především obsah kyseliny octové (C2), kyseliny propionové (C3) a kyseliny máselné (C4). Jejich kumulace v reakční směsi indikuje kinetickou nerovnováhu mezi aktivitami mikroorganismů které NMK produkují a mikroorganismů, které je rozkládají. Důsledkem je snížení produkce methanu.

Při provozních změnách – zvyšování zatížení, zvyšování provozní teploty je důležité znát okamžitou odezvu procesu na změnu, to znamená co nejčastější odběry vzorků a analýzy množství a složení mastných kyselin. Na základě soustavného sledování tohoto parametru byly bez problémů převedeny všechny nádrže na termofilní režim, podle něj byla řízena změna způsobu dávkování i opětné najíždění všech nádrží po přerušení provozu po povodni v roce 2002.

Pěnění anaerobních nádrží

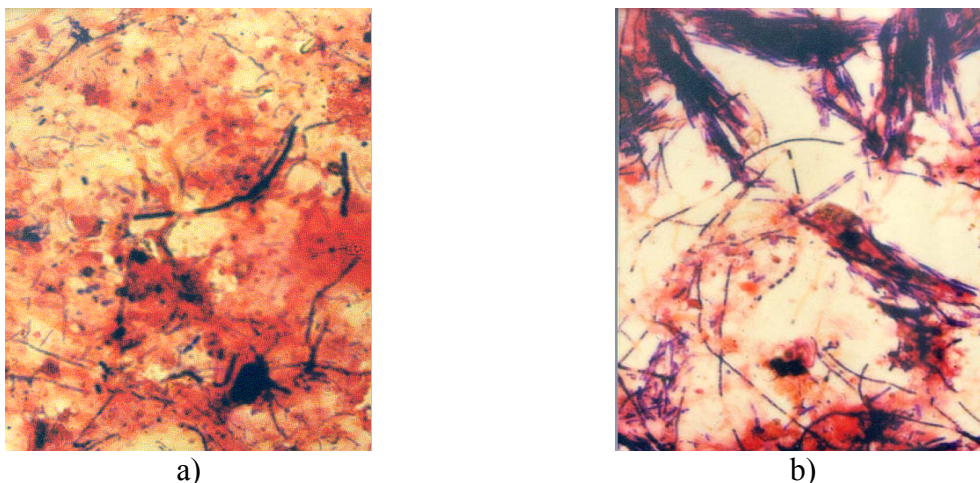
S úpravami aerobního biologického stupně a čištěním veškerého množství odpadní vody došlo k výraznému nárůstu produkce přebytečného aktivovaného kalu a po provozním zavedení předsrážení odpadní vody před primární sedimentací se navíc zvýšil podíl primárního kalu ve směsném surovém kalu. Tím došlo k významnému nárůstu látkového i hydraulického zatížení anaerobních nádrží. Nejvýznamnějším provozním problémem spojeným s přetěžováním nádrží je jejich intenzivní pěnění.

Příčin vzniku pěny je více a mohou se vzájemně kombinovat, zatím nejsou ještě plně objasněny a jejich intenzivnímu výzkumu se věnují i v zahraničí. Velmi často je pění spojeno s krátkými dobami zdržení při nedostatečném využití nádrže. V tomto směru velmi negativně působí jediný okamžitý technologický zákrok, kterou je snížení hladiny v nádrži pro vytvoření prostoru pro pěnu, čímž se ještě více zkrátí doba zdržení.

Jedna z často uváděných příčin pění anaerobních nádrží je přítomnost vláknitých mikroorganismů v aktivovaném kalu, protože přebytečný aktivovaný kal je podstatnou součástí surového směsného kalu. Bylo proto prováděno mikroskopické sledování kvality jak aktivovaného kalu, tak anaerobních kalů z mezofilní i termofilní nádrže.

Jedna z často uváděných příčin pění anaerobních nádrží je přítomnost vláknitých mikroorganismů v aktivovaném kalu, protože přebytečný aktivovaný kal je podstatnou součástí surového směsného kalu. Bylo proto prováděno mikroskopické sledování kvality jak aktivovaného kalu, tak anaerobních kalů z mezofilní i termofilní nádrže.

Na obrázku 4.4.2 jsou uvedeny barvené preparáty anaerobních kalů z termofilní a mezofilní nádrže z období, kdy se v aktivovaném kalu vyskytovala vlákna organismů *Microthrix parvicella* a *Nostocoida limicola*. Rozdíl mezi těmito kaly je výrazný, v mezofilním kalu jsou jasně vidět stejná zkrácená vlákna ze zahuštěného aktivovaného kalu, která se značně koncentrují ve shlucích v částicích kalu a nevypadají porušeně. V termofilním kalu je vláken daleko méně, jsou kratší a více rozrušená. Mikroskopický rozbor potvrzuje skutečnost, že termofilní kal je mnohem odolnější proti pění, protože dokáže pěnotvorné vláknité organismy účinněji rozrušovat.



Obr. 4.4.2 - Porovnání množství a vzhledu vláken v mezofilním a termofilním anaerobním kalu. (6.3.2000, Gramovo barvení, zvětšení 1250x), a) mezofilní kal–, b) termofilní kal

Sledování zdrojů zápachu v souvislosti s termofilním procesem

Zdroje zápachu, které mohou vznikat v provozu kalového hospodářství, mohou být spojeny i s únikem bioplynu z pojistných klapek na plynojemech. Vzhledem k vyšší produkci bioplynu z termofilní nádrže může zde docházet k častějším únikům.

Těkavé pachové látky s nízkým prahem postřehu, které se mohou vyskytovat v bioplynu, jsou hlavně sulfan a organické sulfidy. Pro zjištění pachových vlastností bioplynu z termofilní i mezofilních nádrží byl monitorován obsah sulfanu, který je hlavní pachovou látkou, dále byla provedena analýza organických těkavých látek.

V bioplynu z termofilní nádrže je v průměru téměř o 30 % menší koncentrace sulfanu, než z mezofilní nádrže. Z analýzy těkavých organických látek vyplynulo, že termofilní bioplyn obsahuje pouze lehké těkavé uhlovodíky a kyslíkaté organické látky a mimo sulfan žádnou sirnou organickou látku ve stanovitelném množství. V mezofilním bioplynu byly nalezeny tři organické sulfidy, dimetylsulfid, dimetyldisulfid a metylpropyldisulfid, které jsou pachově velmi výrazné, jejich koncentrace v bioplynu však byla nízká.

Celkově lze bioplyn na pražské ÚČOV v kontextu situace na ostatních českých ČOV s anaerobní stabilizací kalu hodnotit jako jeden z nejméně sirnatých. Dále lze konstatovat, že při mezofilní anaerobní stabilizaci vzniká bioplyn, obsahující více pachově obtížných látek, než bioplyn z termofilního procesu.

Hygienizační účinnost

Z hlediska účinnosti odstranění patogenů byly monitorovány vstupy i výstupy provozních termofilních i mezofilních nádrží a byly sledovány indikátorové skupiny bakterií – termotolerantní koliformní bakterie a enterokoky, dále byly prováděny zkoušky na přítomnost *Salmonelly* spp. Ze získaných hodnot vyplývá vyšší účinnost termofilního procesu na odstraňování mikrobiálního znečištění a to o více jak o dva řády v počtu bakterií. Výsledky ukazují, že u termofilního procesu je značná část vzorků pod hodnotou 1000 KTJ/g VL, kdežto u mezofilního procesu je nejvyšší četnost kolem 10^6 KTJ/g VL. Hygienizační potenciál v technologii termofilní anaerobní stabilizace je nesporný, je třeba však dodržet požadované parametry doby zdržení a homogenity nádrží.

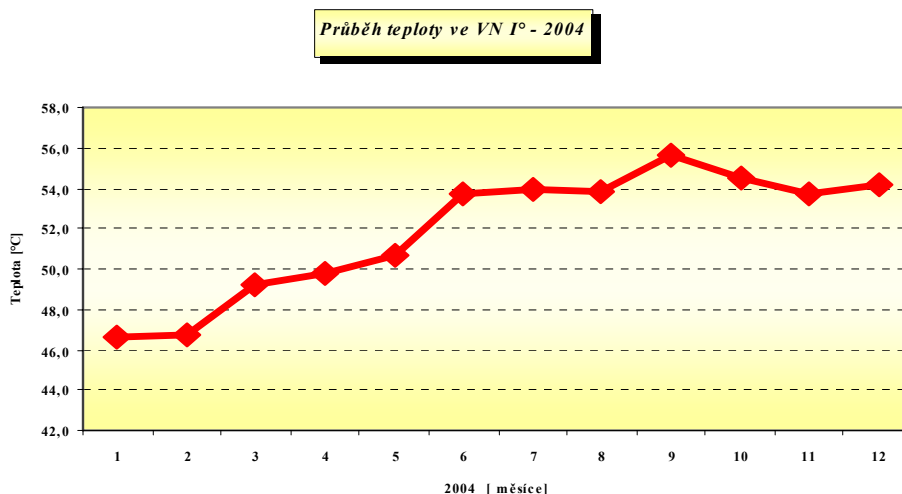
4.4.2.2 ČOV Plzeň

Jednou z dalších velkých ČOV v ČR, která přešla v minulých letech z mezofilního na termofilní režim anaerobní stabilizace kalu je ČOV Plzeň. Tato čistírna je mechanicko-biologická s anaerobní stabilizací kalu a zvýšeným biologickým odstraňováním N a P (systém R-An-D-N).

Kalové hospodářství se skládá ze zahušťovací nádrže, do které je čerpán primární kal z usazovacích nádrží a ze tří zahušťovacích odstředivek Alfa Laval, na které se čerpá přebytečný biologický kal. Zahuštěný primární a přebytečný kal je čerpán do anaerobní nádrže VN I° o objemu 6500 m³, která je ohřívána. Odtud je kal přepouštěn do VN II° (také objem 6300 m³), která již vyhřívána není. VN I° a II° jsou promíchávány stlačeným bioplynem pomocí dvou pístových kompresorů. Z VN II° je kal přepouštěn do uskladňovací nádrže, a dále do homogenizační nádrže. Z homogenizační nádrže je stabilizovaný kal čerpán k odvodnění na dva membránové kalolisy NETZSCH.

V prosinci 2003 se provozovatel ČOV Plzeň rozhodl začít intenzivně vyhřívat vyhnívací nádrž (VN). Během plynulého přechodu z teploty cca 44°C na teplotu cca 55°C, který trval 6 měsíců (Obr. 3.), se nevyskytla žádná situace, která by se odchylovala od normálního stavu. Součástí přechodu z mezofilní stabilizace na termofilní stabilizaci bylo provedení statického

posouzení vyhnívacích nádrží na teplotu 60°C jehož závěrem bylo, že stávající VN vyhovují podmínkám provozu za zvýšené teploty.

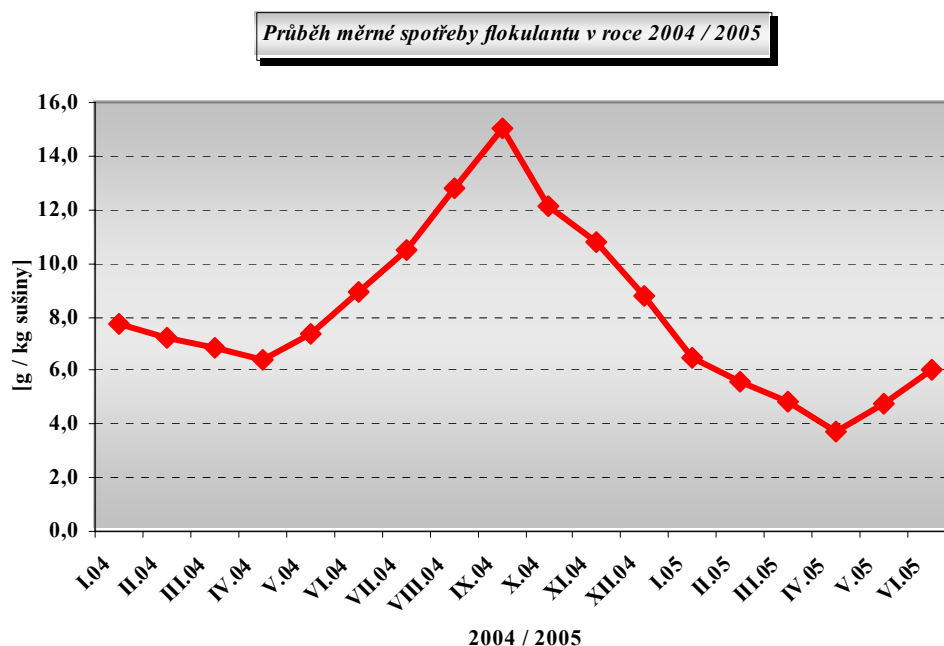


Obr. 4.4.3 - Průběh zvyšování teploty anaerobních nádrží ČOV Plzeň.

Vzhledem k tomu, že provozovatel ČOV Plzeň realizoval změnu režimu anaerobní stabilizace bez jakýchkoliv investic, soustředil se maximálně na zahušťování jak primárního, tak i biologického kalu za účelem ohřevu co nejmenšího množství kalu ve vyhnívací nádrži. Výsledkem výše uvedeného bylo zvýšení sušiny anaerobně stabilizovaného kalu v uskladňovací nádrži až na hodnotu 5,4 % (ve VN I° až na hodnotu 5,9 %). V režimu termofilní stabilizace kalu došlo výrazným způsobem k redukci anaerobně stabilizovaného kalu cca o více než 10 %.

Průběh spotřeby polymerního flokulantu

Asi nejvýraznější změna, která nastala po přechodu na termofilní stabilizaci, byla zvýšená spotřeba polymerního flokulantu na odvodňování stabilizovaného kalu. Po dosažení optimální teploty (06/2004) se začala měrná spotřeba flokulantu zvyšovat a odvodňování anaerobně stabilizovaného kalu bylo nejproblematictější záležitostí na celé ČOV. Bod zvratu nastal v září, od kdy se situace na odvodňování kalu začala výrazně zlepšovat při současném nárůstu sušiny odvodněného kalu (Obr 4.4.4).



Obr. 4.4.4 Průběh měrné spotřeby flokulantu na ČOV Plzeň. (Chudoba P., Nesnídal L., 2005)

Produkce a složení bioplynu

V produkci bioplynu došlo k nárůstu v porovnání s rokem 2003 o více než 21 % (z 0,432 na 0,524 m³/kg přivedené organické sušiny, měřeno za teploty provozu), ale je třeba objektivně přiznat, že i rok 2003 byl částečně ovlivněn povodní, neboť probíhaly opravy na plynovém hospodářství. Na druhou stranu je třeba zase připomenout, že optimálních podmínek termofilní stabilizace bylo dosaženo až na konci prvního pololetí roku 2004. Složení bioplynu zůstalo v porovnání s předcházejícími roky téměř nezměněné.

Pěnění vyhnívacích nádrží

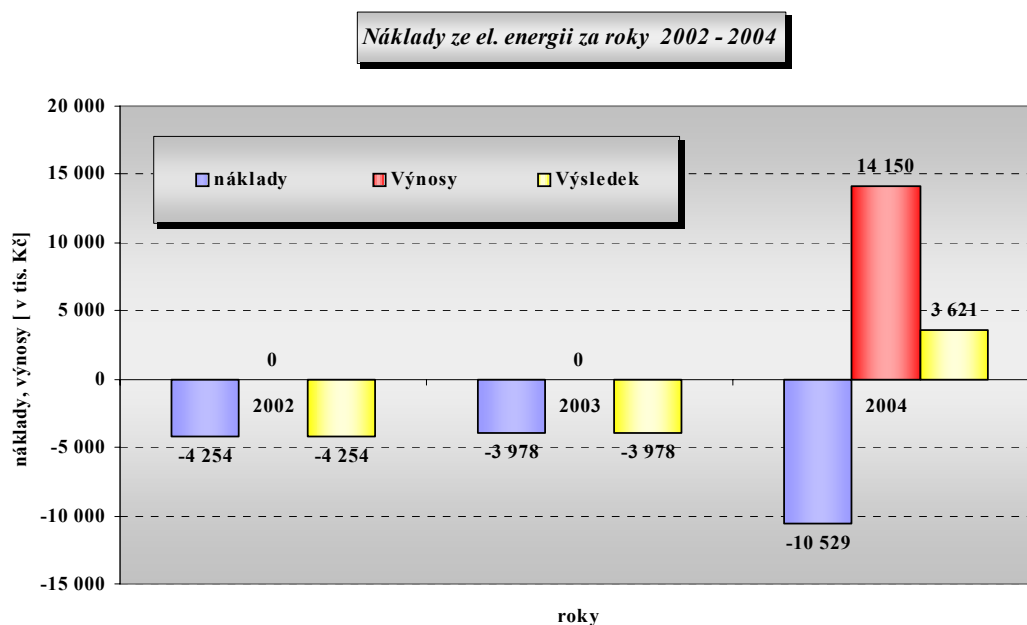
Na ČOV Plzeň se vyskytla problematika pěnění vyhnívacích nádrží poprvé od uvedení ČOV do provozu (1996) až v lednu 2003. Pěnění VN bylo způsobeno pravděpodobně dvěma příčinami, které spojovala povodeň v srpnu 2002. První příčinou byl fakt, že vyhnívací nádrže byly více jak měsíc odstaveny z provozu (bez míchání) a druhou příčinou byl nadměrný výskyt vláknitých mikroorganismů v aktivovaném kalu (*Microthrix parvicella* – četnost 5) po zprovoznění biologické části ČOV Plzeň (aktivační nádrže byly mimo provoz 1,5 měsíce!). Po mnoha experimentech, které provozovatel zkoušel, se nakonec ukázalo, že jediným řešením bylo nadávkování odpěňovače BURST 5400 do VN I° v dávce 30 ppm. Po nadávkování tohoto odpěňovače se rozdíl hladin pěna – kal po cca 7 hod. srovnal na normální

stav a pění se již dále nevyskytlo (na VN I a II se nainstalovaly radary na snímání hladiny pěny).

Nejúčinnějším způsobem pro omezení tvorby pěny se po odpěňovači osvědčilo promíchávání obsahu VN stlačeným bioplynem, kdy došlo k zastavení tvorby pěny a i k mírnému poklesu jejího množství. Díky dvojímu měření hladiny kalu ve VN (ponorná tlaková sonda a radar), kdy je nepřetržitě vyhodnocována výška pěny, nenastal od roku 2003 stav, kdy by došlo k úniku pěny (kalu) do plynového potrubí a do venkovního prostoru okolo VN.

Prodej elektrické energie

Od začátku roku 2004 začal provozovatel veškerou vyrobenou elektrickou energii prodávat Západočeské energetice. Nutnou investicí bylo vybudování nové trafostanice pro vyvedení výkonu z kogeneračních jednotek do sítě vysokého napětí. Vzhledem k příznivým cenám, za které je distribuční společnost povinna odkupovat vyrobenou elektrickou energii z bioplynu (2,50 Kč), se investice do trafostanice vrátila během 1 roku.



Obr. 4.4.4 - Náklady za elektrickou energii.

Přechod z mezofilního na termofilní vyhnívání na ČOV Plzeň měl za následek jednoznačné zvýšení kapacity VN, zvýšení produkce bioplynu a pozitivní ekonomický

výsledek. Nicméně tento přechod byl doprovázen nejen pozitivními, ale i negativními důsledky, které se projeví jako pění nádrží a z počátku vliv na spotřebu koagulantu.

Převedení procesu anaerobní stabilizace z mezofilních na termofilní podmínky je jedna z možností intenzifikace kalového hospodářství a zvýšení jeho kapacity, která umožňuje lepší využití stávajících zařízení, odstranění přetížení reaktorů a lepší využití stabilizovaného kalu. Zvýšené množství produkovaného bioplynu zlepšuje energetickou a ekonomickou bilanci čistírny.

Jako potvrzení přínosu termofilní anaerobní stabilizace byly uvedeny výsledky její realizace v provozu dvou velkých ČOV, pražské a plzeňské, provozních realizací je však již více – ČOV Klatovy, ČOV Havířov, a o dalších se na některých čistírnách odpadních vod uvažuje.

4.4.3 Shrnutí a reference

Termofilní anaerobní fermentace organických materiálů přináší mnohé výhody v porovnání s mezofilním procesem. Mezi hlavní patří zvýšení rychlosti rozkladu organických látek, zvýšení účinnosti, tj. hloubky rozkladu organických látek a tím vyšší produkce bioplynu. Produkce biomasy je za termofilních podmínek podstatně nižší než za mezofilních, což spolu s hlubším rozkladem organických látek vede k další výhodě - minimalizaci množství stabilizovaného kalu.

Termofilní proces má jako vysoce intenzivní proces odpovídající nároky na udržování optimálních podmínek, hlavně teplotních. Další důležitou podmínkou dobré funkce a stability termofilního procesu je aktivní a dobře adaptovaná termofilní kultura. Zapracování mezofilní anaerobní biomasy na termofilní musí být pečlivě sledováno a řízeno, ale přináší spolehlivé výsledky.

Velkou předností termofilní anaerobní stabilizace je zvýšený hygienizační účinek procesu, který spočívá ve zvýšené teplotě a hlavně ve vysoké hydrolytické aktivitě termofilní kultury bakterií. Vyšší stupeň stabilizace a hygienizace výstupního kalu umožňuje jeho lepší využívání. Zvýšení teploty způsobuje také snížení viskozity reakční směsi, to vede k nižším

energetickým nárokům na míchání a zlepšuje následnou separovatelnost tuhých částic, což má za následek snížení množství používaných flokulantů při odvodňování.

Potvrzené efekty termofilní anaerobní fermentace:

- zvýšení produkce bioplynu cca o 40%
- snížení množství stabilizovaného kalu a snížení obsahu organických látek pod 50%
- celkové „zkapacitnění“ kalového hospodářství
- zvýšení stability provozu - vyhnívací nádrže provozované termofilně méně pění
- zvýšení hygienického zabezpečení výstupního stabilizovaného materiálu
- vysoce efektivním využitím bioplynu v kogeneračních jednotkách se získá obnovitelná energie, čímž se dosáhne soběstačnosti ÚČOV ve spotřebě elektrické energie
- stávající objemy vyhnívacích nádrží budou postačující s dostatečnou rezervou v kapacitě a výkonu minimálně po dobu dalších 10 let

Intenzifikace výroby bioplynu na stávajících zařízeních (komunální ČOV, zemědělské a průmyslové bioplynové stanice) přechodem na termofilní režim patří z hlediska investičního k nejlevnějším. V podstatě stačí zvýšit topný výkon zdroje tepla spolu se zvýšením kapacity výměníků tepla. Často jsou současné kapacity zdrojů tepla předimenzované a po případném zavedení rekuperace tepla, nebude nutné investovat do nového tepelného zdroje. Zvýšená výroba bioplynu po přechodu na termofilní režim zajistí dostatek bioplynu - zdroje tepla pro zvýšenou spotřebu. Úvahám o zavedení termofilního režimu by mělo předcházet statické posouzení vyhnívacích nádrží - fermentorů.

5. Závěr

Anaerobní fermentací, postupném rozkladu organické hmoty až na bioplyn, je možné zpracovávat celé spektrum organických látek. Množství produkovaného bioplynu je závislé na chemickém složení zpracovávaného substrátu, jeho předúpravě a vlastních podmínkách fermentace (teplota, pH, doba zdržení atd.).

Většina zařízení na výrobu bioplynu v České republice byla uvedena do provozu v době kdy výroba bioplynu a jeho následné využití nebyly hlavními důvody k jejich výstavbě. Podpora výroby energie z obnovitelných zdrojů tento pohled mění. Vhodnou intenzifikací je možné na většině stávajících zařízeních, kromě skládek, zvýšit výrobu bioplynu bez výstavby nových reaktorů a plynovodů, tj. položek které představují nejvyšší investiční náklady.

V práci jsou popsány čtyři „intenzifikační“ technologie. Jedná se o technologie provozně ověřené v České republice resp. ve státech EU. Jak prokazují uvedené reference, všechny jednoznačně zvyšují produkci bioplynu v porovnání se stavem před jejich zavedením. Vzhledem k rozdílnosti jednotlivých zdrojů bioplynu v množství a charakteru zpracovávaných surovin, technologického uspořádání, prostorových možností pro umístění intenzifikačních technologií atd., by bylo vlastní ekonomické vyhodnocení dopadu intenzifikace značně obtížné a neseriózní. Navíc u všech uvedených technologiích jsou uváděny další pozitivní efekty, jako je zvýšení kapacity reaktorů, lepší odvodnitelnost digestátu, lepší stabilita procesu.

Z hlediska dalšího zvýšení výroby bioplynu je obzvláště významné „uvolnění“ kapacity reaktorů. To dává prostor ke zpracování dalších organických materiálů - kofermentace, na stávajících zařízeních. Ekonomický přínos intenzifikace tak kromě, zvýšené výroby elektrické energie a tepla, může být v platbách za zpracovávání kofermentátů. Určitým vodítkem je tabulka porovnávající technicko - ekonomické ukazatele metod předúpravy čistírenského kalu v přepočtu na ekvivalentní obyvatele (EO).

	Jednotka	Lyzátovací odstředivka	Dezintegrace ultrazvuk (VTA)	Termická hydrolýza (CAMBI)
Investiční náklady	€/1000 EO	216	1400	2000 - 4000
Provozní náklady	€/1000 EO	16	80	
Zvýšení produkce bioplynu	%	15	10 - 30	20 - 25

Obzvláště obtížné je generalizovat náklady na zavedení termofilního režimu fermentace. Na rozdíl od uvedených metod, kdy je potřeba instalovat novou technologii, se dá u přechodu na termofilii očekávat alespoň částečné využití stávajících tepelných výkonů, které jsou ve většině případů předimenzovány. Každopádně bude zavedení termofilie investičně i provozně nejlevnějším intenzifikačním prvkem. Při zpracování čistírenských kalů se uvádí zvýšení čisté výroby bioplynu o 20 - 40 % v porovnání s mezofilním vyhníváním.

Z uvedených údajů vyplývá, že intenzifikací je možno zvýšit výrobu bioplynu o 15 - 40 %. Průměrné využití instalovaného elektrického výkonu kogeneračních jednotek bylo v roce 2004 u skládek 65,8 %, u ČOV 46,8 %, zemědělských bioplynových stanic 48,6 % a průmyslových stanic 23,3 %. To znamená, že ve většině případů by zvýšení výroby bioplynu nevyžadovalo nárůst elektrického výkonu stávajících kogeneračních jednotek. Intenzifikace procesu fermentace s následným zvýšením výroby bioplynu by mohlo být důvodem k ekonomicky odůvodnitelnému nákupu kogeneračních jednotek u zařízení, kde doposud z důvodu nízké roční výroby bioplynu nebyly instalovány.

Skládky

Skládky se od ostatních zařízení na výrobu bioplynu výrazně liší. Reaktorové nádrže jsou zde zastoupeny vlastním tělesem skládky v němž se uložené odpady rozkládají a při dobře vedené skládce není prakticky další možnost intenzifikace vlastního procesu. S postupujícím omezováním skládkování biologicky rozložitelných podílů klesá i potenciál výroby bioplynu z těchto zdrojů. U skládek odpadů jde o časově omezený vývoj plynu, který od okamžiku ukončení zakládky navíc exponenciálně klesá s časem. Vznikající bioplyn – skládkový plyn je ze skládek odsáván přes soustavy sběrných věží či vrtů nebo ze systému horizontálních drenáží. Současný značný rozvoj využívání těchto zdrojů bioplynu je podporován podmínkami výkupu elektrické energie. V rozšiřování využitelnosti skládkového plynu hrají hlavní roli ekonomické dopady vzájemného působení investičních nákladů na odplyňovací systém a kapacity skládkového tělesa. Pro skládky s úložnou kapacitou pod 200 000 t TKO se ekonomické podmínky rychle zhoršují a u těles s kapacitou pod 100 000 tun TKO je využívání bioplynu praktikováno jen vzácně. Míra nárůstu počtu odplyňovaných skládek není přímo úměrná rostoucímu množství odpadu, ale rychlým rozšířením čerpacích technologií i na menší skládky, kde těžba plynu dříve nebyla ekonomicky zajímavá.

Přesto, že neustále klesá podíl organických odpadů ukládaných na skládkách, a tím klesají i kapacity v produkci skládkového plynu, existuje dosud poměrně značný potenciál na skládkách, kde jsou odplyňovací systémy plánovány anebo dokonce již částečně vybudovány, ale kde bioplyn dosud není využíván.

Potenciál pro lepší energetické využití bioplynu, je využití odpadního tepla vznikajícího při kogenerační výrobě elektrické energie. Plyn je možno transportovat do lokalit s využitím tepla. Příkladem může být skládka Ďáblice a Dolní Chabry, kde je skládkový plyn přiváděn plynovodem na skládku Ďáblice a odtud společně s ďáblickým plynem transportován plynovými kompresory do podniku Avia v Letňanech.

Průmyslové bioplynové stanice

Praxe ukazuje, že firmy se rozhodují pro anaerobní čištění, resp. předčištění odpadních vod ze třech důvodů:

- nemohou již dále vypouštět odpadní vody přímo do recipientu (vysoké zbytkové znečištění po aerobním čištění, nebo nízká vodnatost recipientu)
- jsou nuceni provádět předčištění odpadních vod před vypouštěním do veřejné kanalizace na úroveň požadovanou místním kanalizačním řádem
- vlastní výroba bioplynu a jeho energetické využití.

Vzhledem k tomu, že výstavba a provoz bioplynové stanice je investice s dlouhodobou návratností jsou firmy velice opatrné v investicích do této oblasti. Hlavním důvodem je skutečnost, že je těžko předvídatelné, bude-li výroba pokračovat i v budoucnu resp. z pohledu bioplynové stanice, budou-li odpadní vody v požadovaném množství a organickém znečištění. Z toho důvodu firmy raději platí poplatky specializovaným firmám za sběr a likvidaci těchto odpadů. Určitým řešením je společná investice do bioplynové stanice případně dohoda o zpracovávání surovin s místní komunální sférou, případně se zemědělci. To znamená využít možnost kofermentace. Společné zpracovávání se jeví výhodné zvláště u provozů pracujících sezónně (cukrovary). V případě výstavby nové bioplynové stanice je pak potřeba vzít do úvahy sortiment a vlastnosti surovin – odpadů a přizpůsobit tomu technologii bioplynové stanice, hlavně vlastního fermentoru.

Zemědělské bioplynové stanice

Jak již bylo zmíněno, uvedené zemědělské bioplynové stanice zpracovávají hlavně kejdu prasat. Samotná kejda je vzhledem k relativně nízké sušině, poměrně málo vydatný zdroj pro výrobu bioplynu. Z jednoho m³ kejdy prasat o sušině 7 % (85 % organických látek v sušině) a době zdržení 15 dní se udává produkce cca 35 m³ bioplynu. Provozní výsledky ukazují, že u velkochovů prasat v ČR je běžná sušina kejdy 3 – 5 %. Přitom při sušině pod 3 % je veškerá energie získaná ve formě bioplynu spotřebována na vlastní ohřev kejdy na teplotu fermentace. Proto je potřeba věnovat velkou pozornost kvalitě zpracovávané kejdy.

Z důvodu vyšší produkce bioplynu na jednotku reaktorového objemu začali v poslední době provozovatelé zemědělských bioplynových stanic přidávat (kofermentovat) ke kejdě energeticky bohatší substráty o vyšší sušině. Nejvhodnější a nejméně konfliktní z hlediska legislativy následného využití digestátu se jeví přidávání fytomasy (kukuřičné siláže, travní senáže, obilí apod.). I z hlediska vlastní fermentace jsou tyto substráty nekonfliktní. Vysoká pufrační kapacita kejdy zabezpečuje dostatečnou stabilitu pH i při zvýšení koncentrace sušiny ve fermentoru přidavkem fytomasy až na hodnotu kolem 10 %. Určitý problém může vzniknout s mícháním fermentoru, hlavně tam kde je používáno pneumatické míchání bioplynem a může vznikat tzv. „deka“.

V případě stávajících zemědělských bioplynových stanic provozovatelé velice rychle reagovali na zavedení výkupních cen z obnovitelných zdrojů energie a zavedli intenzifikační prvky (kofermentace, zvýšení teploty, předúprava substrátu), které jim zajistily zvýšenou výrobu bioplynu.

Nejvyšší růst počtu bioplynových stanic v příštích letech se očekává právě v zemědělství. Jelikož se bude jednat o nová zařízení, primárně určená k výrobě energie, dá se předpokládat, že budou vycházet z posledních vědeckých a technologických poznatků.

Komunální čistírny odpadních vod

Technologie anaerobní stabilizace kalů je na jednotlivých ČOV v České republice poměrně uniformní. Zpracováváný čistírenský kal (primární a přebytečný aktivovaný kal) o sušině 2 – 3 % a 65 % organických látek je dávkován do vyhnívacích nádrží - fermentorů. Z důvodu zlepšení energetické bilance procesu je někdy kal před dávkováním zahušťován na obsah sušiny 4 – 6 %. Vyhnívací nádrže jsou ve většině případů železobetonové, obsah nádrží je promícháván obvykle pneumaticky bioplynem nebo hydraulicky. Fermentace probíhá většinou v mezofilní oblasti (38 - 40 °C). Obsah reaktoru je ohříván cirkulací přes externí výměník tepla. Vznikající bioplyn (v množství 250 – 450 m³ na tunu sušiny zpracovávaného kalu) je využíván k výrobě tepla a případně elektrické energie. Vyhnílý – anaerobně stabilizovaný kal je zahušťován na sušinu 20 – 35 % a předáván k využití specializovaným firmám.

V porovnání s bioplynovými stanicemi zpracovávajícími zemědělský a průmyslový biologicky rozložitelný odpad, které jsou financované hlavně z prodeje vyrobené elektrické energie, je produkce bioplynu u zařízení zpracovávajících čistírenské kaly na jednotku reaktorového prostoru přibližně poloviční. Hlavním důvodem je relativně nízká koncentrace zpracovávaného substrátu. Látkové zatížení se tak pohybuje kolem 0,5 – 1,0 kg organických látek na m³ reaktorového objemu a den, při době zdržení 15 – 40 dnů. Bylo prokázáno, že při kvalitní homogenizaci obsahu reaktoru, nečiní technologické potíže zatížení reaktorů organickou sušinou 2,5 - 5 kg/m³/den. Přidáním vhodných organických odpadů o relativně vysoké koncentraci organických látek ke zpracovávaným čistírenským kalům – kofermentací, je možné při minimálních investičních a provozních nákladech až zdvojnásobit produkci bioplynu.

Kromě kofermentace je velký potenciál zvýšení výroby bioplynu na stávajících ČOV v předúpravě - desintegraci kalu a zvýšení teploty fermentace z mezofilní (38 - 40 °C) na termofilní oblast (55 °C). Vzhledem k celkovému reakčnímu objemu na komunálních ČOV (přes 270 000 m³) lze po zavedení intenzifikačních opatření očekávat roční nárůst výroby bioplynu až o desítky milionů m³.