



SPALOVÁNÍ BIOODPADŮ S POUŽITÍM FERMENTAČNÍHO REAKTORU A KOGENERAČNÍ JEDNOTKY

Vydala: Česká energetická agentura
Vinohradská 8
120 00 Praha 2
tel: 02 / 2421 7774, fax: 02 / 2421 7701
e-mail: cea@ceacr.cz
www.ceacr.cz

Vypracoval: Doc. Ing. Karel Trnobranský, CSc.

Tato publikace je určena pro poradenskou činnost a byla zpracována v rámci Státního programu na podporu úspor energie a využití obnovitelných zdrojů

O B S A H

1. Úvod	strana 3
2. Kombinovaná výroba tepla a el. energie	4
2.1 Samostatná výroba tepla	4
2.2 Samostatná výroba el. energie	5
2.3 Výtopna	8
2.4 Základy kombinované výroby tepla a el. energie	9
2.5 Plynová kogenerační jednotka se spalovacím motorem	14
2.6 Plynová kogenerační jednotka se spalovací turbinou	16
3. Volba typu a dimenzování kogeneračních zařízení	19
4. Vznik a vlastnosti bioplynu	22
4.1 Surovina pro výrobu bioplynu	24
4.2 Biochemie metanogeneze	26
5. Provedení bioplynové stanice	29
5.1 Přípravná část	31
5.2 Fermentor	31
5.2.1 Systémy míchání	31
5.2.2 Udržování provozní teploty ve fermentoru	33
5.3 Skladování a čištění bioplynu	35
6. Přehled hlavních typů bioplynových stanic	37
6.1 Přehled bioplynových stanic v ČR	45
6.2 Přehled tuzemských dodavatelů technologické části bioplynových stanic	47
7. Plynové motory pro kogenerační jednotky	50
7.1 Požadavky na provoz plynových motorů	56
8. Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími turbinami	59
9. Kombinovaná výroba tepla a el. energie při použití parního kotle	60
10. Potřebný objem spalovacího vzduchu a objem vzniklých spalin při spalování bioplynu	64
10.1 Minimální objemová spotřeba kyslíku pro dokonalé spálení 1 m ³ bioplynu	64
10.2 Minimální spotřeba spalovacího vzduchu	65
10.3 Stanovení objemu spalin při spalování bioplynu	65
10.4 Výhřevnost bioplynu	66
11. Technicko - ekonomické hodnocení bioplynových stanic	68
12. Doporučený návrh postupu realizačního záměru na výstavbu bioplynové stanice	76
13. Ekologické požadavky kladené na využívání bioplynu	78
14. Závěr o využití bioodpadů pro kogenerační jednotky	80
Seznam použité literatury	81

1. Úvod

S ohledem na vyčerpatelnost stávajících zásob fosilních paliv je nutno, v maximální možné míře, zajišťovat jejich náhradu obnovitelnými a alternativními zdroji energie. Předložený produkt je zaměřen na energetické využití odpadů biomasy v oblasti průmyslu.

Biomasa je definována jako substance biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně pěstovaná, nebo se jedná o biomasu odpadní.

Při řešení způsobu energetického využití bioodpadů je nutno vycházet nejenom z ekonomických hledisek, která jsou v tomto případě určující, ale i hledisek ekologických, aby nadále nedocházelo k dalšímu zatěžování přírody.

Přestože využití bioodpadů pro energetické účely má i své negativní stránky, nelze nevyužít tuto možnost alespoň k částečnému řešení problémů energetiky a to především tam, kde jsou k tomu vytvořeny odpovídající podmínky.

Rozvoj energetického využívání bioodpadů je plně v souladu i s „energetickou politikou „ České republiky. V souvislosti s bioodpady a kogenerací (viz název předloženého produktu) se jedná o konkrétní plnění následujících úkolů energetické politiky ČR :

- 1) Podporovat ekonomicky efektivní rozvoj kogeneračních jednotek na současnou výrobu tepelné a elektrické energie .
- 2) Podporovat využívání obnovitelných a alternativních zdrojů energie pro výrobu elektřiny.
- 3) Podporovat efektivní hospodaření s energií a stimulovat úspory energie.

Z bioodpadů se produkuje pomocí fermentačního reaktoru bioplyn, který představuje plynné palivo pro pohon kogenerační jednotky. V souladu s úkolem energetické politiky „ efektivní hospodaření s energií „ uvádíme v následující části produktu přehled možných způsobů výroby tepelné a el. energie. Z tohoto přehledu pak vyplyne i jednoznačná odpověď na otázku, proč je kladen takový perspektivní význam kogeneračním jednotkám.

2. Kombinovaná výroba tepla a el. energie

2.1 Samostatná výroba tepla

Pro výrobu tepla je možno použít kotel, který může být dle požadavků spotřebitele tepla teplovodní, horkovodní nebo parní.

Plynový hořák kotle, který je běžně dodáván pro zemní plyn, však bude nutno upravit na použitý druh plynu, to je bioplyn. Tato přestavba hořáku spočívá v podstatě v úpravě mísících poměrů spalovaného plynu a potřebného spalovacího vzduchu.

Tepelná účinnost kotle je definována vztahem :

$$\eta_k = \frac{Q_v}{Q_u} = \frac{Q_v}{V_{pl} \cdot Q_n} \quad \dots (1)$$

kde značí

Q_v	- tepelný výkon na výstupu z kotle	/ kW /
Q_u	- tepelný výkon přiváděný v palivu	/ kW /
V_{pl}	- spalovaný plyn	/ m ³ /s /
Q_n	- výhřevnost plynu	/ kJ/m ³ /

Při použití bilance tepelných ztrát je možno určit tepelnou účinnost kotle dle dalšího vztahu a to :

$$\eta_k = \frac{Q_u - Q_z}{Q_u} = 1 - \frac{Q_z}{Q_u} \quad \dots (2)$$

kde Q_z je celková tepelná ztráta kotle vlivem

- sdílení tepla do okolí
- chemické nedokonalosti spalování
- komínové ztráty.

Zanedbáme li ztrátu sdílením tepla do okolí a ztrátu chemickou nedokonalostí spalování, pak tepelná ztráta komínová jednoznačně převažuje. Tato ztráta je dána vztahem :

$$Z_k = V_s \cdot c_s (t_k - t_o) = Q_z \quad \dots (3)$$

Ve vztahu (3) značí :

V_s	objemový průtok spalin na výstupu z kotle	/ m ³ /s /
c_s	měrné teplo spalin	/ kJ/m ³ °C /
t_k	teplota spalin za kotlem	/ °C /
t_o	teplota okolí kotle	/ ° C / .

Dosažením vztahu (3) do vztahu (2) dostaneme pro stanovení tepelné účinnosti kotle výsledný vztah :

$$\eta_k = 1 - \frac{V_s \cdot c_s (t_k - t_o)}{V_{pl} \cdot Q_n} \quad / - / \quad \dots (4)$$

V závislosti na teplotě a průtočném objemu komínových spalin se tepelná účinnost plynového kotle pohybuje na hodnotě cca 90 % . Pro dosažení maximální tepelné účinnosti kotle je požadavkem co možno nejnižší teplota spalin na výstupu z kotle a co možno nejnižší součinitel přebytku spalovacího vzduchu. Součinitel přebytku spalovacího vzduchu ovlivňuje objemový průtok spalin V_s .

2.2 Samostatná výroba el energie

Pokud budeme uvažovat se samostatnou výrobou el. energie ta je především zajišťována v kondenzačních elektrárnách. Za parním kotlem je instalována kondenzační parní turbina , která je hnacím agregátem pro el.generátor.

Z energie dodané palivem Q_{UKE} se získá elektrický výkon na prahu elektrárny P_{KE} . Energetická účinnost kondenzační elektrárny je :

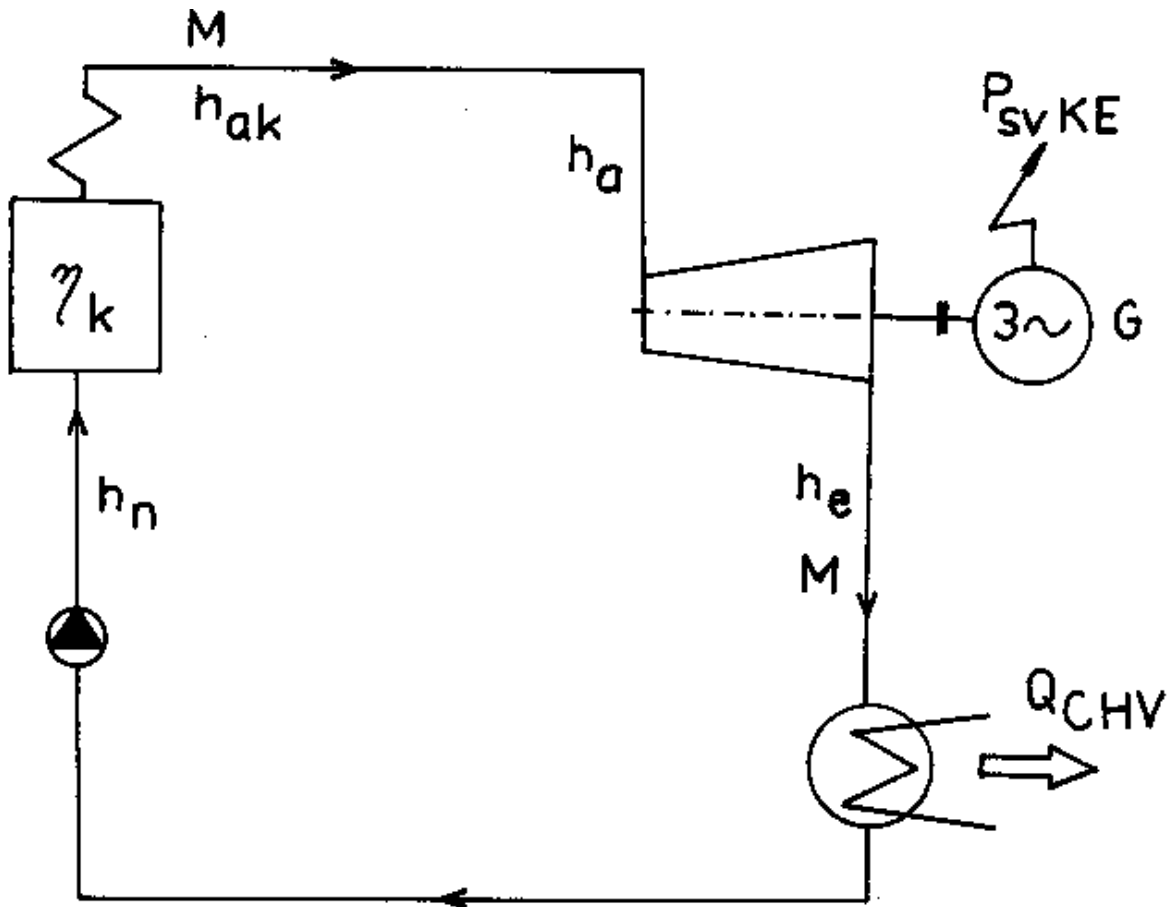
$$\eta_{KE} = \frac{P_{KE}}{Q_{UKE}} \quad \dots (5)$$

Výkon P_{KE} je možno vyjádřit vztahem

$$P_{KE} = P_{svKE} \cdot \eta_{re} (1 - k_{vs}) \quad / kW / \quad \dots (6)$$

kde P_{svKE} je el. výkon na svorkách generátoru / kW /
 η_{re} účinnost přenosu el.energie uvnitř elektrárny (zahrnuje ztráty transformací, vedením atd.)
 k_{vs} součinitel vlastní spotřeby el.energie .

Pro názornost je uvedeno na obrázku č.1 schéma kondenzační elektrárny.



Obrázek č.1 Schéma kondenzační elektrárny

Pro hodnotu Q_{UKE} platí dle obr. č. 1 vztah :

$$Q_{UKE} = \frac{M (h_{ak} - h_n)}{\eta_k} \quad / \text{kW} / \quad \dots (7)$$

kde čitatel zlomku představuje tepelnou energii předanou v kotli z energie paliva do páry. Další označení je následující :

- M průtok páry turbinou / kg/s /
- h_{ak} entalpie páry na výstupu z kotle / kJ/kg /
- rozdíl mezi ($h_{ak} - h_a$) uvádí ztrátu tepla parovodu mezi kotlem a turbinou
- h_n entalpie napajecí vody vstupující do kotle.

Potřebný průtok páry turbinou M lze vyjádřit vztahem

$$M = \frac{P_{svKE}}{(h_a - h_e) \cdot \eta_m \cdot \eta_g} \quad / \text{ kg/s} / \quad \dots \quad (8)$$

η_m, η_g jsou mechanická účinnost turbíny a účinnost generátoru .

Dosazením vztahů (6, 7, 8) do vztahu (5) dostaneme po úpravách výsledný vztah pro energetickou účinnost kondenzační elektrárny

$$\eta_{KE} = \frac{\eta_k \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{re} \cdot (1 - k_{vs}) \cdot (h_a - h_e)}{h_{ak} - h_n} \quad \dots \quad (9)$$

Účinnost výroby v kondenzační elektrárně závisí na dílčích účinnostech

$\eta_k, \eta_m, \eta_g, \eta_{re}$, součiniteli vlastní spotřeby k_{vs} a entalpii páry a napájecí vody.

Nevýhodou kondenzační elektrárny je ta skutečnost, že dochází k velké tepelné ztrátě , která souvisí s kondenzací páry vystupující z turbíny opět na kapalnou fázi. Kondenzační teplo Q_k , které je odváděno z kondenzátoru chladící vodou je pro další energetické využití neupotřebitelné s ohledem na nízkou teplotu vystupující chladící vody.

S ohledem na tuto značnou tepelnou ztrátu dosahuje energetická účinnost kondenzační elektrárny hodnotu $\eta_{KE} = 33$ až 38 % .

Po teoretickém rozboru tepelné účinnosti kotle a kondenzační elektrárny se vrátíme zpět k zajišťování dodávek tepla z výtopny.

2.3 Výtopna

V případě výtopny je uvažováno s tím, že pro dosažení požadovaného tepelného výkonu Q_v na prahu výtopny je nutno dodat tepelný výkon v palivu Q_{UV} . Současně je však nutno uvažovat s tím, že pro zajištění provozu výtopny je nutno zajistit určitý el.příkon P_{vvs} na jehož výrobu je nutno vynaložit energii paliva Q_{uvs} .

Energetická účinnost výtopny je pak :

$$\eta_v = \frac{Q_v}{Q_{UV} + Q_{uvs}} \quad \dots (10)$$

Pro získání tepelného výkonu Q_v na prahu výtopny musí kotel dávat tepelný výkon Q_v' . Poměrem

$$\eta_{rg} = \frac{Q_v}{Q_v'} \quad \dots (11)$$

se přihlíží ke ztrátě tepla mezi kotlem a prahem výtopny včetně účinnosti na úpravu tepla na požadované parametry, včetně vlastní spotřeby tepla vytápění, přípravu TUV a pod. Je-li uvažováno s účinností kotle η_k , pak pro hodnotu Q_{uv} platí vztah

$$Q_{uv} = \frac{Q_v'}{\eta_k} = \frac{Q_v}{\eta_k \cdot \eta_{rg}} \quad \dots (12)$$

Hodnota Q_{uvs} se určí z vlastní spotřeby el. energie P_{vvs} . Pokud budeme vycházet z toho, že el. výkon P_{vvs} bude kryt z kondenzační elektrárny, pak

$$Q_{uvs} = \frac{P_{vvs}}{\eta_{pe} \cdot \eta_{KE}} \quad / \text{kW} / \quad \dots (13)$$

kde η_{pe} je účinnost přívodu el. energie do výtopny včetně transformace.

Dosažením použitých vztahů do výrazu pro vyjádření energetické účinnosti výtopny dostaneme :

$$\eta_v = \frac{Q_v \eta_k \eta_{rg} \eta_{pe} \eta_{KE}}{Q_v \eta_{pe} \eta_{KE} + P_{vvs} \eta_k \eta_{rg}} \quad / - / \quad \dots \quad (14)$$

Z uvedeného vztahu je patrné, že energetickou účinnost výtopny zhoršuje energetická účinnost kondenzační elektrárny η_{KE} , která je uvažována v souvislosti s krytím vlastní spotřeby el. energie výtopny.

2.4 Základy kombinované výroby tepla a elektrické energie

Kombinované výrobě tepla a el. energie se cizím slovem říká „kogenerace“. Tato kogenerace představuje současně produkci dvou energetických komodit. Energetická účinnost je definována vztahem

$$\eta_T = \frac{P_T + Q_T}{Q_{UT}} \quad / - / \quad \dots \quad (15)$$

kde P_T el. výkon z kombinované výroby / kW /
 Q_T tepelný výkon z kombinované výroby / kW /
 Q_{UT} tepelný příkon přiváděný v palivu / kW / .

Obdobně jako v předchozích případech lze použít následujících vztahů

$$P_T = P_{sv} \cdot \eta_{re} (1 - k_{vs}) \quad / \text{kW} /$$

$$P_{sv} = M (h_a - h_e) \eta_m \cdot \eta_g \quad / \text{kW} /$$

$$Q_{UT} = \frac{M (h_{ak} - h_n)}{\eta_k} \quad / \text{kW} /$$

Pro parní kogeneraci s protitlakou turbinou (viz obr.č.2) a použitá označení platí dále ,že

$$Q_T = M (h_e - h_T) \quad / \text{kW} / .$$

Jako pomocný ukazatel se při kombinované výrobě el.energie a tepla používá poměr (**modul teplárenské výroby el.energie**), který udává poměr vyrobené el.energie k tepelné energii, která je dodávána do sítě

$$e = \frac{P_{sv}}{Q_T} \quad / - / .$$

Dosažením použitých vztahů do výrazu (15) pro výpočet energetické účinnosti teplárny dostaneme konečný výraz

$$\eta_T = \frac{h_e - h_T}{h_{ak} - h_n} \cdot \eta_k / 1 + (1 - k_{vs}) \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{re} \cdot \frac{h_a - h_e}{h_e - h_T} / \dots \quad (16)$$

Pro schema uvedené na obr.2 a provozní body na tomto schematu je pro ilustraci uveden číselný příklad vyhodnocení účinnosti dané kogenerační jednotky s parní protitlakou turbinou.

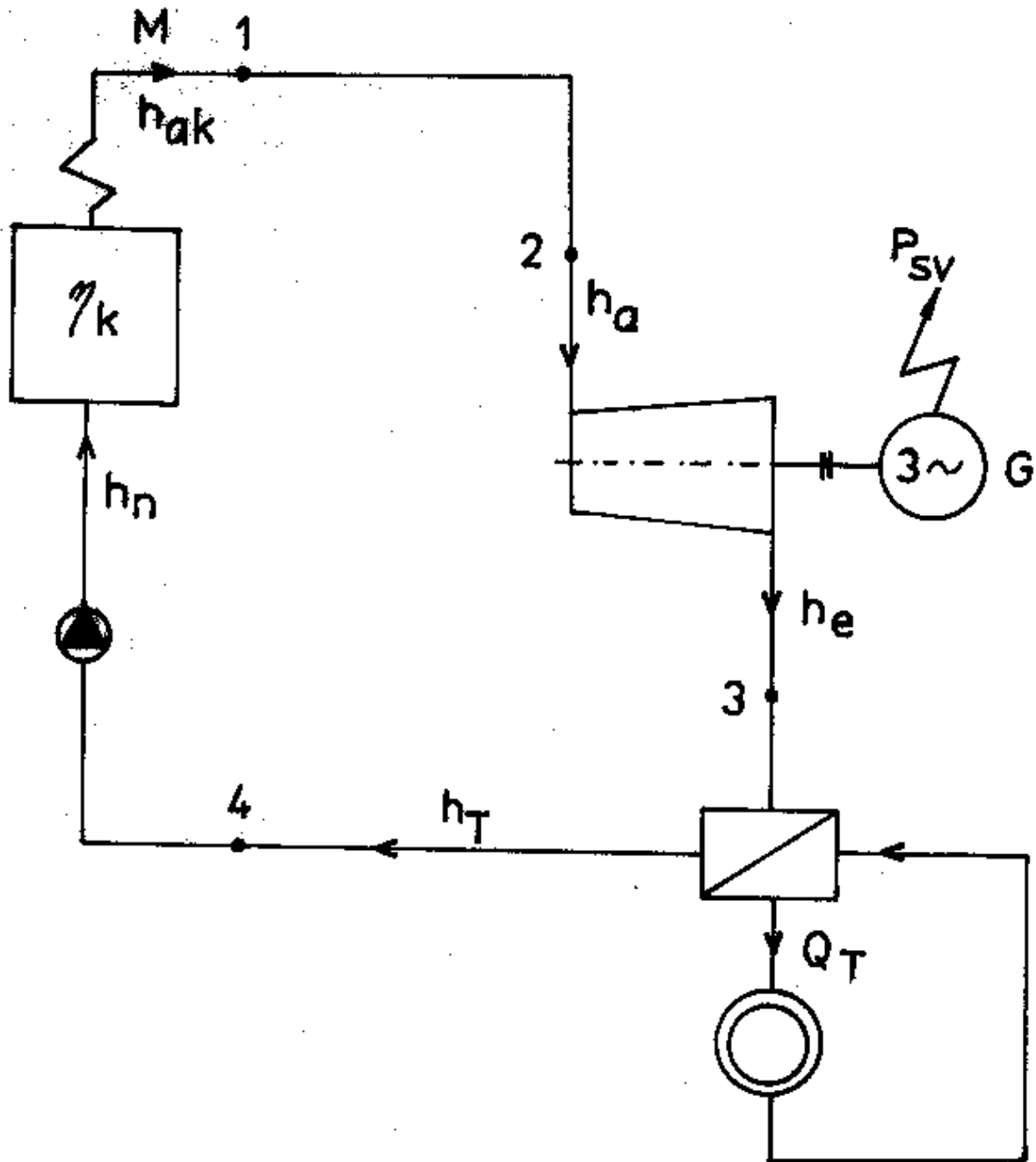
bod 1.	3,9 MPa / 460 ° C	...	$h_{ak} = 3355,3$	kJ/kg
2.	3,8 MPa / 450 ° C	...	$h_a = 3333,9$	kJ/kg
3.	0,12 MPa / 280 ° C	...	$h_e = 3006$	kJ/kg
4.	0,12 MPa / 100 ° C	...	$h_T = 419$	kJ/kg .

Dosažením uvedených hodnot dostaneme výsledek :

$$\eta_T = 88,7 \% \quad , \quad e = 0,12 \quad .$$

Čím je větší modul teplárenské výroby elektřiny (e), to je čím více elektřiny se vyrobí při současné výrobě daného množství tepla, tím méně elektřiny je třeba vyrábět s nízkou účinností v kondenzačních elektrárnách. Proto úspora paliva kombinovanou výrobou elektřiny a tepla je větší.

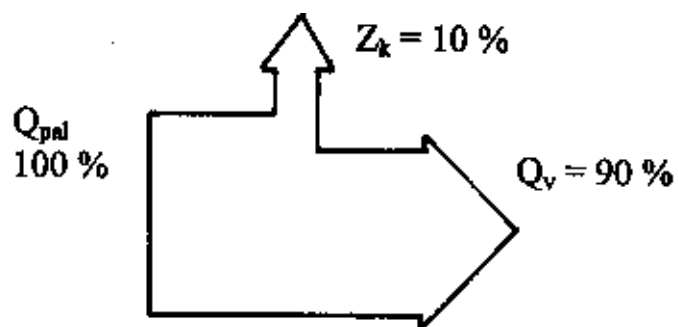
Obr. č. 2 Schema kogenerační jednotky s protitlakou parní turbinou



Modul teplárenské výroby elektřiny závisí nejen na typu teplárny a celé řadě technických parametrů teplárny, ale i na požadavcích na teplotní úroveň dodávaného tepla. Se vzrůstající teplotou teplonosné vody, která se využívá u spotřebitelů, klesá teplárenský modul a je značně nižší při dodávce tepla v páře.

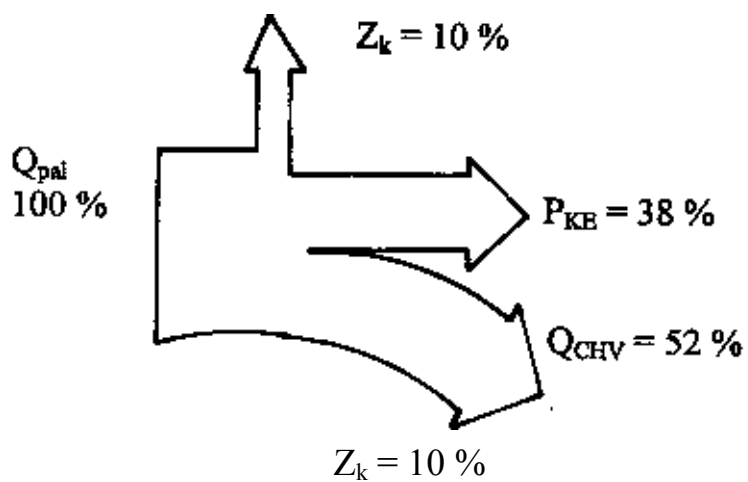
Co se týče stanovení spotřeby paliva je možno vyjít z následujících porovnání. V předchozích úvahách jsme zjistili, že energetická účinnost základních energetických výroben je následující .

Výtopna $\nu = 0,9$ $e = 0$ Q_v - tepelný výkon dodávaný výtopnou



Kondenzační elektrárna $\eta_{KE} = 38 \%$

Q_{CHV} - tepelný výkon odváděný v nevyužitě chladící vodě
 P_{KE} - el. výkon dodávaný elektrárnou

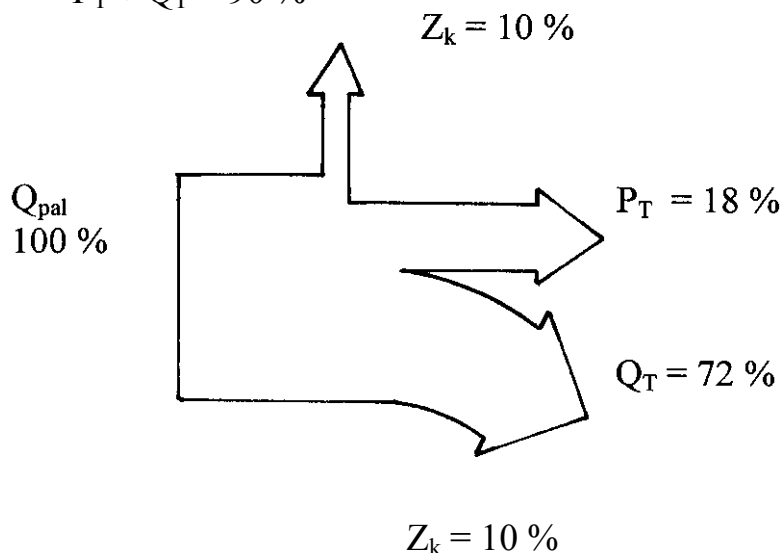


Teplárna (kogenerace) $\tau = 0,9$ $e = 0,25$

P_T - el. výkon dodávaný z kombinované výroby

Q_T - tepelný výkon dodávaný z kombinované výroby

$$P_T + Q_T = 90 \%$$



Pro oddělenou výrobu el.energie v kondenzační elektrárně a tepla ve výtopně platí vztah pro výpočet spotřeby tepla v palivu

$$Q_{\text{pal}}^{\text{odd}} = \frac{P}{KE} + \frac{Q}{\nu} \quad / \text{ kW } /$$

Pro výše uvedené hodnoty teplárny $P = 18 \%$, $Q = 72\%$ dostaneme při uvažování oddělené výroby obou komodit spotřebu tepla v palivu

$$Q_{\text{pal}}^{\text{odd}} = \frac{18}{0,38} + \frac{72}{0,9} = 127,4 \%$$

Při kombinované výrobě v teplárně nám však postačuje (viz schema) pro $P = 18 \%$, $Q = 72 \%$ spotřeba paliva v teplárně

$$Q_{\text{pal}}^{\text{tep}} = 100 \%$$

Rozdíl spotřeby tepla v palivu je $Q_{\text{pal}} = 127,4 - 100 = 27,4 \%$ a poměrná úspora tepla proti oddělené výrobě bude

$$\frac{Q_{\text{pal}}}{Q_{\text{pal}}^{\text{odd}}} = \frac{27,4}{127,4} = 21,5 \%$$

Z uvedené úspory paliva vyplývá opodstatnění energetické výhodnosti kogeneračních jednotek. Současně s úsporou paliva je úzce spojena i otázka ekologie, neboť se sníží emise škodlivých látek odcházejících do ovzduší.

S rostoucí hodnotou modulu teploty výroby elektřiny roste i poměrná úspora tepla v palivu. Na př. pro $e = 0,6$ bude již poměrná úspora tepla v palivu činit 30 %.

Pro využívání bioplynu v kogenerační jednotce je možno použít pro mechanický pohon el. generátoru :

- plynový spalovací motor
- plynovou spalovací turbínu.

2.5 Plynová kogenerační jednotka se spalovacím motorem

V tomto případě je transformace tepelné energie z paliva na mechanickou energii zajišťována spalovacím motorem. Motor pak pohání el. generátor, který zajišťuje výrobu el. energie.

Pro dodávku tepla z kogenerační jednotky je využíváno teplo z výfukových plynů motoru, teplo z chlazení bloku motoru a chlazení oleje. Dodávka tepla může být v horké vodě i páře.

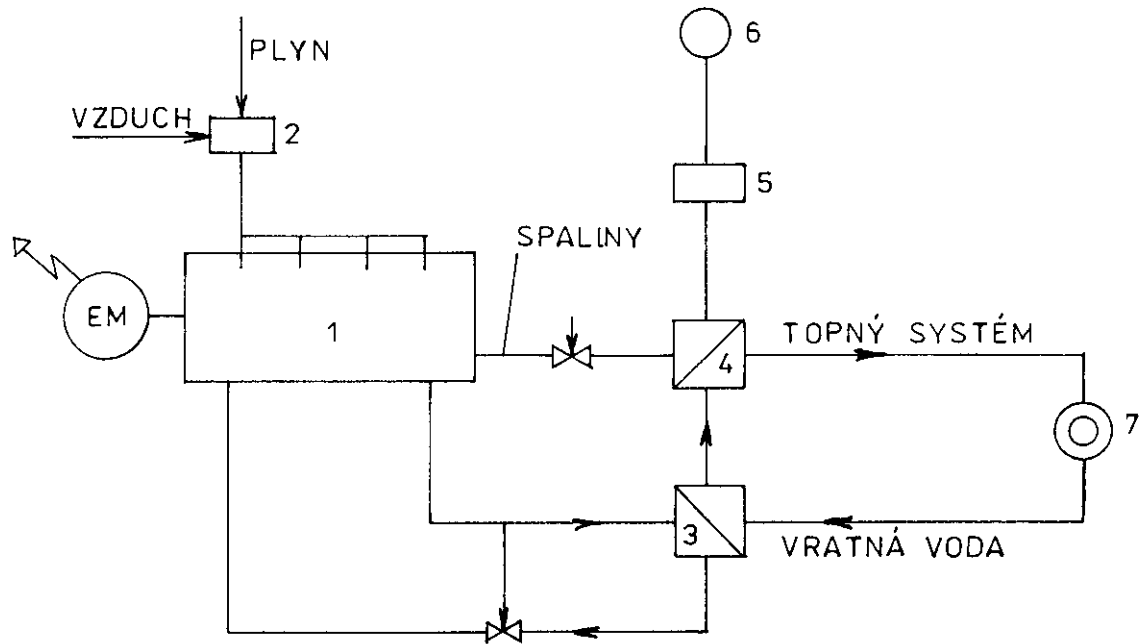
Schema kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem je patrné z obrázku č. 3. Z tohoto obrázku je rovněž patrné, že využití odpadního tepla z motoru zajišťují dva tepené výměníky. První výměník odvádí teplo z bloku motoru a chlazení oleje na teplotové úrovni 80 až 90 °C. Druhý výměník odvádí teplo z výfukových spalin na teplotové úrovni cca 400 až 500 °C.

Nejběžněji jsou kogenerační jednotky navrhovány na parametry běžného teplovodního otopného systému 90/70 °C, méně již na parametry 110/85 °C.

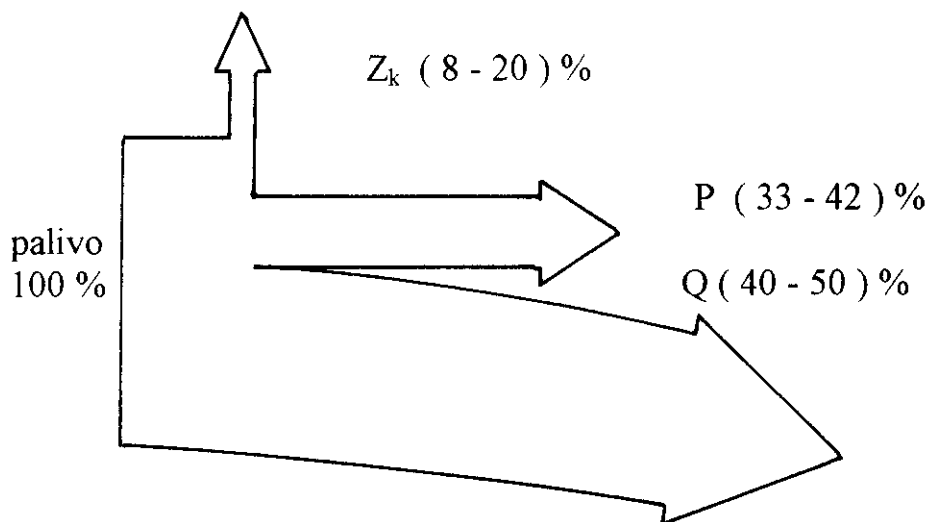
Vratná voda z vytápěcího systému o teplotě 70 °C se nejdříve zavede do výměníku s nižší teplotovou hladinou a její dohřívání probíhá v dalším výměníku.

Během ročního období může nastat i časový úsek, kdy je odběr tepla podstatně snížen, nebo úplně zastaven. Aby v této době nedocházelo k přehřívání motoru v důsledku jeho nedostatečného chlazení, je do okruhu zařazen nouzový (vzduchem chlazený) chladič.

Obr. 3 Schema kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem
1 - spalovací motor s el. generátorem, 2 - směšovací zařízení plyn/vzduch,
3 - výměník voda/voda pro chlazení válců motoru, 4- výměník spaliny/voda
5 - katalyzátor NO_x , 6 - komín , 7 - spotřebič tepla



Obr. 4 Průběh toku energie u kogenerační jednotky se spalovacím motorem



Účinnost kogenerační jednotky s plynovým spalovacím motorem.

Celková účinnost kogenerační jednotky se spalovacím motorem se pohybuje v rozmezí cca 80 - 92 %. Tok energie je patrný z obrázku č. 4.

Elektrická účinnost kogenerační jednotky se spalovacím motorem se zvyšuje se zvyšováním kompresního poměru a zvyšováním součinitele přebytku spalovacího vzduchu u motoru.

Výhodou spalovacího motoru je ta skutečnost, že při snížení výkonu motoru nedochází k výrazné změně elektrické účinnosti. Tato účinnost je definována poměrem el.výkonu alternátoru ku příkonu v přiváděném plynu. Její hodnota se pohybuje v rozmezí 33 - 42 % .

Obdobně je definována tepelná účinnost (poměr využitelného tepelného výkonu ku příkonu v přiváděném plynu), která se pohybuje v rozmezí 40-50 %.

Kogenerační jednotky se zážehovými motory se dodávají v rozsahu el. výkonu 20 - 5000 kW. Vhodnost použití spalovacích motorů je do el.výkonu 2 MW. Pro elektrické výkony nad 10 MW je výhodnější použít spalovací turbínu. Mezi uvedenými výkonovými pásmy je možno použít jak spalovací motor, tak turbínu.

Velké moderní spalovací motory předních světových výrobců se vyznačují poněkud vyšší účinností než dnešní plynové turbíny a tudíž i vyšším modulem teploty výroby el. energie.

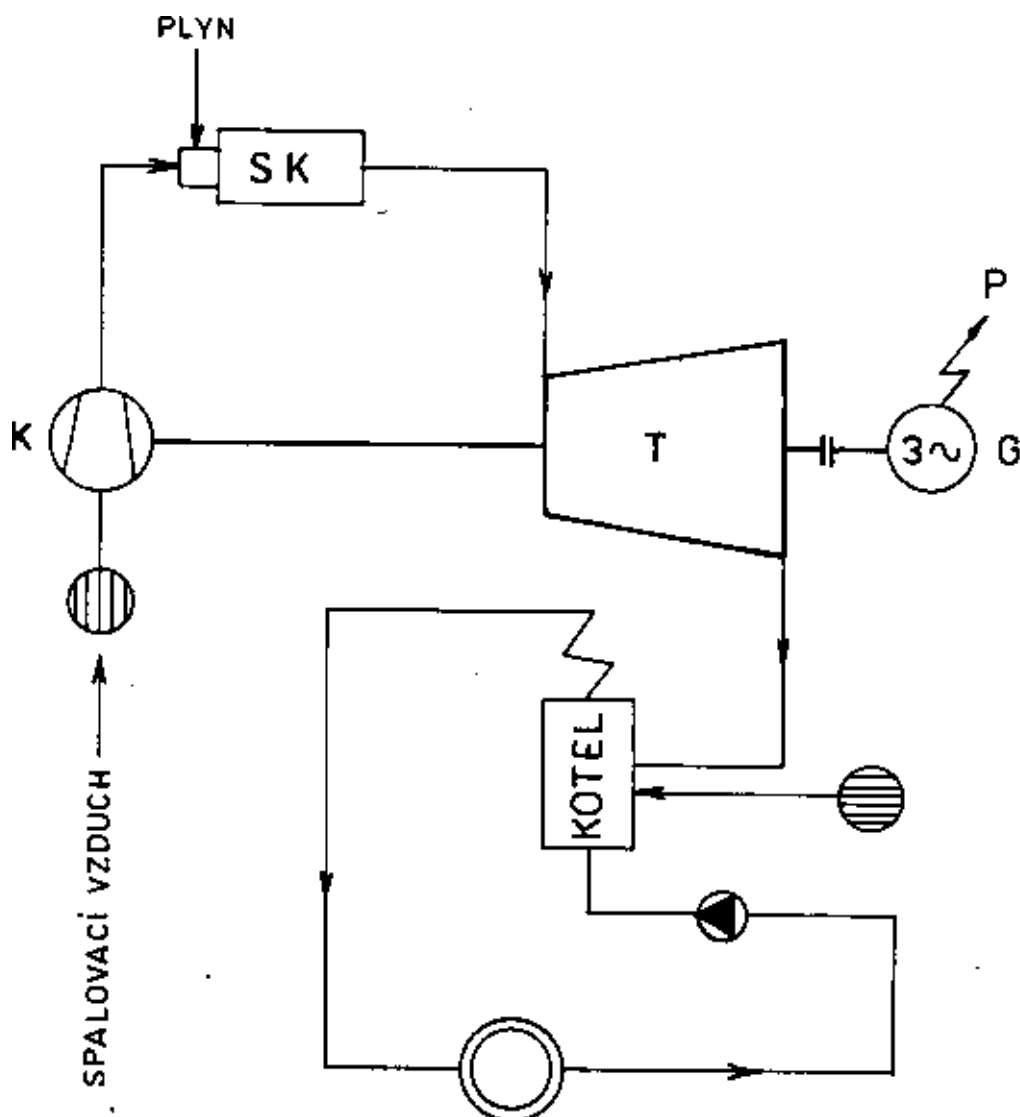
Pro menší kogenerační jednotky je možno použít jakýkoliv motor, který vyhovuje použitému palivu, včetně motorů určených původně pro osobní automobily.

Nevýhodou spalovacích motorů je vyšší produkce škodliviny NO_x ve spalinách na výstupu z motoru než je u plynových turbin.

2.6 Plynová kogenerační jednotka se spalovací turbínou

Při použití spalovací turbíny je složení soustrojí následující dle obr.5. Spalovací turbína pohání el.alternátor, který vyrábí el. energii. Spaliny vystupující ze spalovací turbíny jsou zavedeny do spalinového kotle. Z tohoto kotle je možno využít teplo ve formě teplé či horké vody nebo ve formě páry.

Spalovací vzduch, který je nutno přivádět do spalovací komory turbíny je dodáván kompresorem, který je na společné hřídeli s turbínou. Do spalovací komory je rovněž zaústěn přívod plynu. Přiváděný plyn má vstupní tlak před spalovací komorou cca 1,5 až 2,5 MPa. Spaliny vystupující ze spalovací turbíny prochází přes lopatky spalovací turbíny, která obvykle přes převodovku pohání el. alternátor.



Obr. 5 Schema uspořádání plynové kogenerace se spalovací turbinou

Při požadavku zvýšení tepelného výkonu spalínového kotle je u kotle instalován přídatný plynový hořák. Tento hořák má funkci dohřívání spalin, které vystupují ze spalovací turbíny a vstupují do spalínového kotle. Teplota spalin vystupujících z turbíny je cca 450 - 600 °C a dohřev spalin je na max. teplotu 900 °C. Dále je spalínový systém vybaven uzavíratelným výfukem, který umožňuje vypouštět spaliny do ovzduší bez využití jejich citelného tepla. Tento výfuk se obvykle používá při najíždění turbíny nebo při přechodném snížení odběru tepla ze spalínového kotle.

V některých případech je možno požit spalin na výstupu z turbíny přímo pro technologické účely, např. pro vytápění rotačních pecí v cementárnách a pod.

Elektrická účinnost.

Elektrickou účinnost ovlivňuje především teplota spalin za spalovací komorou turbíny. Výše této teploty je však omezena s ohledem na materiál lopatek na max. 1150 - 1200 °C. Spalovaný plyn je ve spalovací komoře spalován s vysokým součinitelem přebytku spalovacího vzduchu s ohledem na dosažení přípustné maximální teploty spalin. Spaliny odcházející ze spalovací komory mají v důsledku vysokého přebytku spalovacího vzduchu obsah kyslíku ve spalinách cca 15 - 18 %. V případě jejich přehřívání přídavným hořákem před spalínovým kotlem představují v podstatě silně přehřátý spalovací vzduch.

Elektrická účinnost se rovněž zvyšuje kompresním poměrem použité plynové turbíny. Potřebný tlak plynu zajišťuje pomocný plynový kompresor.

Elektrická účinnost je u spalovacích turbín definována na základě jejich nominálního výkonu, neboť při snižování výkonu turbíny dosti podstatně klesá jejich elektrická účinnost.

Rozsah nominálních elektrických účinností soustrojí se spalovacími turbinami se pohybuje v rozmezí od cca 16 % do 38 %.

Tepelná účinnost.

Tepelná účinnost je definována jako poměr využitelného tepelného výkonu k tepelnému příkonu přiváděnému v plynu a pohybuje se v rozmezí cca 40 - 60 %.

Celková účinnost kogeneračních jednotek se spalovacími turbinami se pohybuje v rozmezí 72 až 85 %. Kogenerační jednotky se spalovacími turbinami se dodávají v rozsahu el. výkonu od 1 MW do 200 MW.

3. Volba typu a dimenzování kogeneračních zařízení

Při rozhodování o vhodné instalaci kogenerační jednotky z hlediska její ekonomické efektivity je rozhodující modul teploty výroby el. energie e , který udává poměr mezi vyrobenou el. energií a tepelnou energií, která je dodávána do sítě. Na základě předcházejících rozborů lze provést následující přehled :

kogenerace s protitlakou parní turbinou

- při dodávce tepla v horké vodě $e = 0,18 - 0,43$
s použitím výměníku pára-voda

- při dodávce tepla v páře $e = 0,15 - 0,18$

kogenerace se spalovacími motory $e = 0,6 - 0,9$

kogenerace s plynovou turbinou $e = 0,4 - 0,6$.

Z uvedeného porovnání vyplývá, že nejvýhodnější stupeň konverze paliva na el. energii má kogenerace se spalovacími motory. Tato skutečnost má další rozhodování velký význam, neboť vyrobenou el. energii je možno lépe finančně zhodnotit než vyrobené teplo. Mimo tohoto hlediska provozovatele zařízení se projevuje i hledisko celospolečenské - zajištění vyššího snížení emisí z elektráren, které spalují převážně sirnaté hnědé uhlí.

Při dalším rozhodování o použití kogenerační jednotky je nutno zvažovat i následující podmínky :

- druh teplotního média
- poměr spotřeby tepla a el. energie
- stávající energetický celek, kde bude kogenerace instalována.

Pro dosažení optimálního ekonomického provozu kogenerační jednotky je nutno jednotku provozovat tak, aby :

- bylo v maximální míře využito vyrobené teplo, které doprovází výrobu el. energie
- byla provozována s co největším ročním časovým využitím.

Ke splnění těchto podmínek je nutno výkon kogenerační jednotky dimenzovat ve vztahu k průběhu denního i ročního diagramu odběru tepla a el. energie.

Ročního zrovnomenění odběru tepla je možno docílit i přidruženou technologií. Např. pro letní období, kdy značně klesá spotřeba tepla je možno provozovat sušárny řeziva. Tím se zajistí nejenom odběr tepla v tomto období ale podstatně se zlepší i ekonomie provozu kogenerační jednotky o tržby za vysušené řezivo.

Pro ilustraci je použita sušárna řeziva následujících technických a ekonomických parametrů:

způsob vytápění sušárny	teplovodní 90 /70 °C
objem zavezeného řeziva	27 m ³
způsob regulace sušárny	plně automatická
umístění sušárny	venkovní provedení
max.tepelný výkon	248 kW
průměrný výkon	132 kW
max.el.příkon	9 kW

celkové investiční náklady 1 364 787,- Kč

z toho :

- dodávka sušárny 1 097 087,- Kč
- základy pod sušárnu 35 000,- Kč
- montáž sušárny 117 000,- Kč
- automatická regulace 115 000,- Kč

Při sušení smrkového dřeva o síle 50 mm z počáteční vlhkosti 50 % na konečnou vlhkost 12 % bude roční provoz cca následující :

- roční produkce sušárny při časovém využití na 80 % ... 1917 m³/r
- roční spotřeba tepla ... 2567,2 GJ/r
- roční spotřeba el. energie ... 48883,5 kWh/r
- roční náklady na obsluhu sušárny ... 240000,- Kč/r

Běžná cena za vysušení 1 m³ smrkového řeziva je 1000,- Kč/m³ . Budeme li dále uvažovat s tím, že cena vyrobené el.energie z kogenerační jednotky bude 2 Kč/kWh a cena tepelné energie 200,- Kč/GJ pak dostaneme :

finanční přínos za vysušené řezivo	+	1 917 000,- Kč/r
náklady na tepelnou energii	-	513 440,- Kč/r
náklady na el. energii	-	97 767,- Kč/r
náklady na obsluhu sušárny	-	240 000,- Kč/r

přínos z provozu sušárny	+	1 065 793,- Kč/r

a hrubá doba návratnosti vynaložených investic na sušárnu řeziva bude

$$\tau = \frac{1364787}{1065793} = 1,3 \text{ roku .}$$

Z uvedeného příkladu vyplývá, že přidružení sušárny řeziva ke kogenerační jednotce má dvojitý přínos a to :

- zlepší se ekonomika energetického celku vlivem finančního přínosu za vysušené řezivo
- zlepší se ekonomika provozu vlastní kogenerační jednotky vlivem zlepšení odběru tepla v letním období .

Optimálního zrovnornění odběru tepla z kogenerační jednotky lze docílit i počtem použitých sušáren. Pokud by byly sušárny provozovány pouze v letním období byla by hrubá doba návratnosti cca 2,5 roku , což i tak ukazuje na dobrou efektivnost vynaložených investic.

4. Vznik a vlastnosti bioplynu

Odpadní organické látky vznikají při potravinářské výrobě (jatka, mlékárny, lihovary) a dále pak v zemědělství, kde se jedná o rostlinné zbytky a odpady, tekutý hnůj z chovu prasat a skotu atd. Uvedené odpady velmi často způsobují ekologické škody, ale především se podílejí na devastaci životního prostředí na venkově. Při velkovýrobě zemědělských produktů živočišného původu je tento problém umocněn tím, že značné množství odpadů a hnoje je aplikováno na pole na relativně malém území, kde negativně ovlivňuje stav vodních zdrojů a ovzduší.

S ohledem na ekologické předpisy řeší průmyslové využití bioplynu, formou bioplynové stanice, jak problémy ekologické tak využití odpadů pro výrobu tepelné a elektrické energie. V současné době je výstavba bioplynových stanic opodstatněna ekologickým řešením problematiky odpadů v rámci platných ekologických předpisů. Energetický přínos, který doprovází jejich likvidaci je vždy vítanou úsporou ostatních druhů paliv. Právní legislativa totiž zavazuje každého většího producenta odpadů, které jsou uvedeny v katalogu odpadů, zpracovat „ Program odpadového hospodářství „.

Vítanou možností jak řešit tuto situaci je výstavba bioplynových stanic, které svojí technologií (fermentační procesy) zajistí zpracování organických látek do podstatně výhodnějších forem pro skladování a následné využití. Zároveň je produkován bioplyn, který je vstupním, plynným palivem pro kogenerační jednotky.

Podstata bioplynu.

Princip vzniku bioplynu je znám již z minulého století a byl dostatečně ověřen v rámci provozu čistíren odpadních vod a kalů.

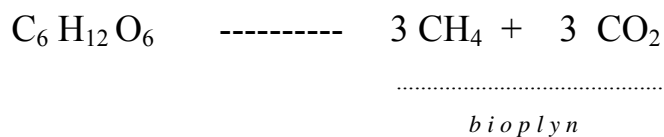
Zelené rostliny obsahují listovou zeleň, která zachycuje sluneční záření. Z dopadající sluneční energie, z oxidu uhličitého (který je obsažen ve vzduchu) a z vody jsou vytvářeny cukry. Tento proces, který je zdrojem života se nazývá fotosyntéza a lze ho zjednodušeně vyjádřit chemickou rovnicí



Při rozkladu organické hmoty za přístupu vzduchu (aerobní rozklad) probíhá chemický děj opačně a část energie získané při fotosyntéze se uvolňuje



Při dodávce tepelné energie za nepřístupu vzduchu vzniká bioplyn dle vztahu



Asi 90 % energie je při tomto procesu zachováno v metanu, který lze energeticky využít.

V přírodě vzniká bioplyn v bahnitých dnech rybníků, v bažinách a všude tam, kde nastává hnití bez přístupu vzduchu. Složení bioplynu není přesně definováno s ohledem na nestálost jeho chemického složení. Jeho skutečné složení je závislé na kvalitě a složení exkrementů, na teplotě anaerobního kvašení atd. V závislosti na chemickém složení se mění i výhřevnost bioplynu. Průměrné složení bioplynu a jeho základní vlastnosti jsou uvedeny v tabulce 4.1.

Tabulka 4.1 Složení a vlastnosti bioplynu

Hodnota	metan	CO ₂	H ₂	H ₂ S	Bioplyn
objemový podíl %	55 - 70	27 - 44	1	3	100
výhřevnost MJ/m ³	35,8	-	10,8	22,8	21,5
hranice zápalnosti %	5 - 15	-	4 - 80	4 - 45	6 - 12
zápalná teplota °C	650 - 750	-	585	-	650 - 750
měrná hmotnost kg/m ³	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Složení bioplynu v tabulce je 60 % CH₄ a 40 % CO₂.

Hlavní energetickou složkou bioplynu je metan CH₄. Čím vyšší procento metanu bioplyn obsahuje, tím je vyšší jeho výhřevnost (MJ / m³). Obecně je bioplyn považován za směs plynů, která obsahuje 60 - 70 % metanu a 30 - 40 % oxidu uhličitého. Se vzduchem tvoří metan explozivní směs již při 5 - 6 % objemu.

Oxid uhličitý CO₂ nemá v bioplynu energetický význam a tvoří pouze jeho balastní složku, jejíž přítomnost pouze snižuje výhřevnost bioplynu.

Vodík H₂ představuje z energetického hlediska žádoucí složku bioplynu. Jeho objemový podíl je však bohužel velmi nízký.

Sirovodík H_2S vzniká při rozkladu bílkovin, které jsou obsaženy v organické hmotě. Tento plyn je jedovatý a navíc způsobuje korozivní účinky na kovových plochách bioplynového zařízení i použitém spalovacím motoru.

V nepatrné koncentraci se do bioplynu může dostat i čpavek NH_3 , který vzniká při štěpení organické hmoty. I tento plyn má korozivní účinky jako sirovodík a napadá především mosazné armatury.

4.1 Surovina pro výrobu bioplynu

V tuzemských podmínkách představují základní surovinu pro výrobu bioplynu výkaly hospodářských zvířat. V menší míře mohou být použity i odpady jiného původu : jatečné odpady, piliny, lesní štěpka, mlékárenské odpadní vody a pod.

Pro bilanci vzniku bioplynu je nejdůležitější ta část organické hmoty, která se může anaerobním kvasným procesem přeměnit na bioplyn. Tato štěpitelná část organické hmoty pak představuje produkt pro výrobu bioplynu. Podíl štěpitelných organických látek ve výkalech je uveden v tabulce 4.2 .

Laboratorně se organické látky stanovují jako rozdíl hmotnosti mezi sušinou při $105\text{ }^\circ\text{C}$ a zbytkem po žihání při teplotě $550\text{ }^\circ\text{C}$.

Tabulka 4.2 Podíl štěpitelných organických látek ve výkalech

Substrát	štěpitelné organické látky %	produkce bioplynu ze štěp.látek m^3/kg	Produkce bioplynu vztažena na celkovou org.hmotu m^3/kg
kejda skotu	48	0,96	0,46
kejda prasat	49	1,1	0,54
slepičí trus	61	0,6	0,37

Pro bilanci sušiny exkrementů hospodářských zvířat je možno použít tabulku 4.3. V této tabulce je uvedena i orientační produkce bioplynu, který vzniká při mezofilním vyhnívání při teplotě $40\text{ }^\circ\text{C}$.

Tabulka 4.3 Denní množství výkalů , jejich sušina a produkce bioplynu

	Průměrné množství výkalů kg/den	Sušina včetně výkalů a moče kg/den	Množství bioplynu m ³ /den
Dojnice 550 kg	60	6	1,7
Skot ve výkrmu 350 kg	30	3	1,2
Jalovice 330 kg	35	3,5	0,9
Telata 100 kg	12 – 15	1,25	0,3
Prasnice 170 kg	14	1,0	0,3
Prasnice se selaty	27	2,0	0,4
Prasata ve výkrmu 70 kg	8,5	0,5	0,2
Selata 10 kg	3	0,15	0,1
Selata 23 kg	4	0,25	0,15
Kanec 250 kg	18,5	1,3	0,3
Nosnice 2,2 kg	0,15 – 0,30	0,04	0,016
Kuřice 1,1 kg	-	0,025	0,009

Poznámka : uvedené denní množství výkalů je bez přidávané vody

Pro hrubou orientaci lze obecně předpokládat, že organické odpady obsahují 30 až 60 % fermentací rozložitelných látek. Z 1 kg rozložitelných látek pak lze získat cca 0,6 až 1 m³ bioplynu.

Např. při produkci organické sušiny 4250 kg/den lze získat produkci bioplynu cca 3000 m³/den.

V závislosti na obsahu metanu se pohybuje výhřevnost bioplynu v rozmezí 21 až 26 MJ/m³. Pro porovnání uvádíme výhřevnost zemního plynu, která je cca 34 MJ/m³. Výhřevnost bioplynu tedy dosahuje 62 až 76 % výhřevnosti zemního plynu.

Obsah sušiny v kejďě ovlivňuje bilanci produkce bioplynu. Obsah sušiny je omezen dvěma faktory a to :

- čerpatelností a uchováním pohyblivosti disperzních fází
- minimálním obsahem s ohledem na technologický průběh.

Horní hranice obsahu sušiny je v rozmezí 10 - 12 % a spodní hranice jsou 3 %.

4.2 Biochemie metanogeneze

Metanogeneze je složitý biochemický proces, kde se z velkých organických molekul získává přes řadu meziproduktů metan a oxid uhličitý. Biologický a chemický proces tvorby metanu se dělí následujících základních etap :

- hydrolýza - přeměna organických látek na nižší rozpustné organické sloučeniny
- acidogeneze - přeměna na mastné kyseliny
- metanogeneze - přeměna na metan, oxid uhličitý a další látky.

Anaerobní proces (fermentace) je proces, který probíhá za nepřítomnosti kyslíku ze vzduchu a jeho výsledným produktem je bioplyn. Fermentace je výsledkem společné činnosti bakterií při zabezpečení vhodných fermentačních podmínek.

Pro zajištění stability pochodů při anaerobním mechanismu je nutno stanovit a dodržovat optimální podmínky (teplota, pH faktor) pro probíhající procesy v pracovním prostředí fermentoru.

Teplota - teplota prostředí je jedním z hlavních činitelů, které určují úroveň látkové přeměny, a tím i množení mikroorganismů. Teplota proto ovlivňuje oba hlavní technologické parametry, tj. množství a složení bioplynu. Teplotový rozsah je poměrně široký a to od 10 do 60 °C. Bakteriální buňka má v celém svém rozsahu vždy stejnou teplotu jako je teplota prostředí, je s ním izotermální.

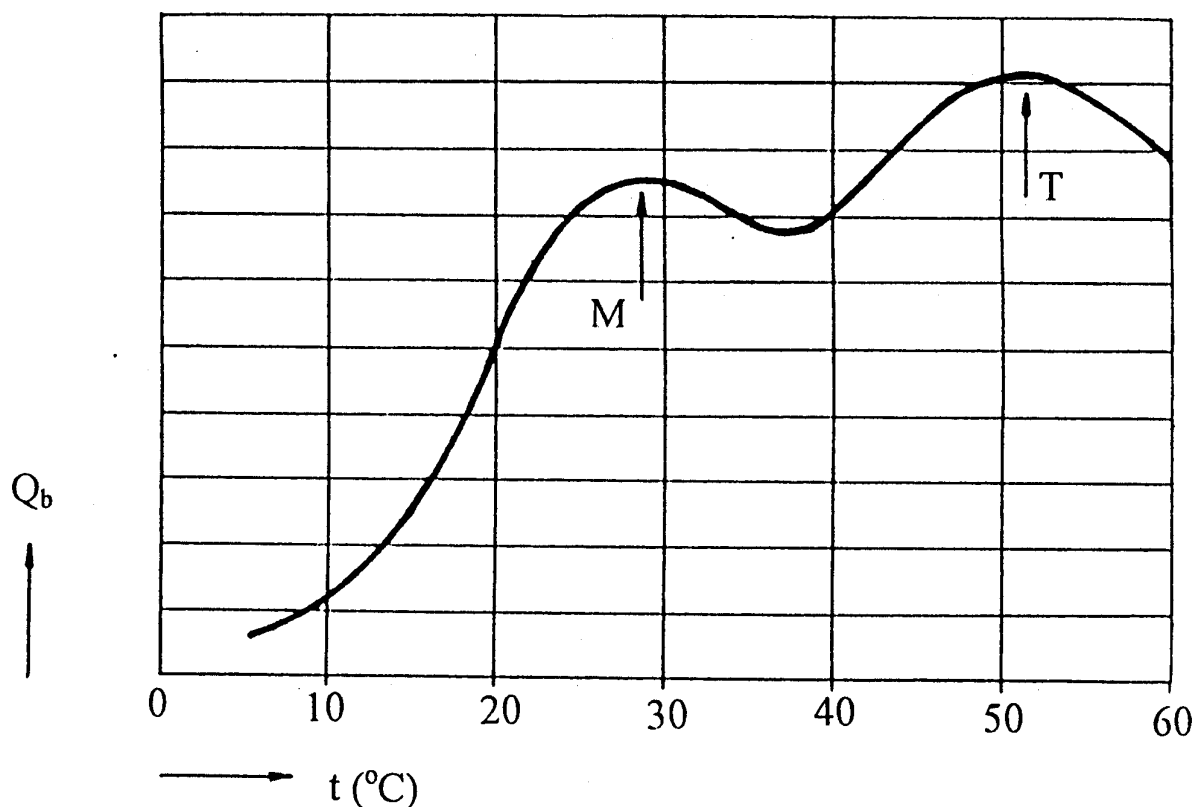
Optimální teplota pro různé skupiny bakterií :

- bakterie psychrofilní 10 až 20 °C
- bakterie mezofilní 20 až 45 °C
- bakterie termofilní 50 až 55 °C.

Vliv provozní teploty na produkci bioplynu je patrný z obr.č.6. Z průběhu je patrné, že proces má dva vrcholy (M, T). V těchto teplotních oblastech se nejčastěji udržuje fermentační proces. Jde o proces mezofilní (kolem 30 °C) a proces termofilní (kolem 50 °C). Volba teploty kvasného procesu je z hlediska ekonomie provozu velmi důležitá, neboť obsah fermentoru je nutno na provozní teplotu vyhřívat určitým podílem vyrobeného bioplynu.

Budeme-li uvažovat s venkovní, zimní teplotou - 15 °C bude pro výpočet tepelné ztráty nutno uvažovat s teplotových rozdílem :

mezofilní proces	$\Delta t = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
termofilní proces	$\Delta t = 65 \text{ }^\circ\text{C}$.



Obr. 6 Závislost produkce bioplynu na teplotě fermentačního procesu

t - teplota ve fermentoru ($^{\circ}\text{C}$) , Q_b - relativní produkce bioplynu
M - vrchol mezofilního procesu, T - vrchol termofilního procesu.

V zařízeních pro zpracování zemědělské biomasy se používají nejčastěji mezofilní teplotové režimy. V menší míře se používají termofilní, nebo kombinované. Udržování provozní teploty na příslušné teplotové hladině v průběhu celého procesu je jedním z limitujících faktorů anaerobní fermentace.

Tento požadavek vychází z velké citlivosti metanogenních bakterií na prudké kolísání teplot.

Koncentrace vodíkových iontů (pH faktor) - pro většinu bakterií je optimální hodnota pH 6,5 s odchylkou 0,5 pH. Rozsah pH pro bakterie je v rozmezí 4,5 až 8,0. Pro potřeby metanogenní fermentace je výhodné udržovat hodnotu pH v rozmezí 6,7 až 7,6.

Přístup kyslíku a toxických látek - základní podmínkou procesu je vyloučení pronikání kyslíku do prostoru fermentoru (kvasné nádrže), který působí na metanogenní bakterie inhibičně. Anaerobní proces mohou také zastavit, nebo zpomalit některé organické a anorganické sloučeniny. Toto se zejména vztahuje na vysoké koncentrace amoniaku, těkavých kyselin a také na kationty dusíku, draslíku, vápníku, antibiotika a různé jiné léčebné přípravky.

Sušina kejdy - je pro úspěch technologie stejně důležitá jako například provozní teplota. Nadbytek vody v kejdě vytváří další velký problém při výrobě bioplynu, protože je zvýšen podíl kalové vody. To je jak technicky, tak i ekonomicky nevýhodné. Při obsahu sušiny pod 3 % je technologická spotřeba energie fermentoru vyšší, než ve vyprodukovaném bioplynu.

Volba vyhnívací doby - je dána rychlostí vývinu plynu a požadovaným stupněm vyhnití (odbourání organických látek). I když po dlouhodobém vyhnívání (40 až 50 dnů) se bioplyn zkvalitňuje, protože má vyšší podíl metanu, je to ekonomicky nevýhodné. Fermentor musí mít podstatně větší objem a delší dobu je zahříván provozní teplotu. S tím souvisí i technologický pojem zatížení fermentoru. Ideální je takový kontinuální průtok organické hmoty fermentorem, který zajistí , že přítok hmoty za den je roven hmotě rozložené za stejnou dobu. Při vyšším přívodu kejdy se ztrácí energie odplavením nezužitkové organické hmoty. To znamená nižší produkci bioplynu. Při nižším přívodu kejdy do fermentoru nastává zbytečné zdržení již využitě organické hmoty. Konečně i z mikrobiálního hlediska je nutno dbát na to, aby zatížení fermentoru bylo optimální, protože spotřeba živin pro množící se populaci mikroorganismů musí být kryta přítokem nové organické hmoty.

Průměrné hodnoty zatížení fermentoru a čas prodlevy jsou patrné z tabulky 4.4.

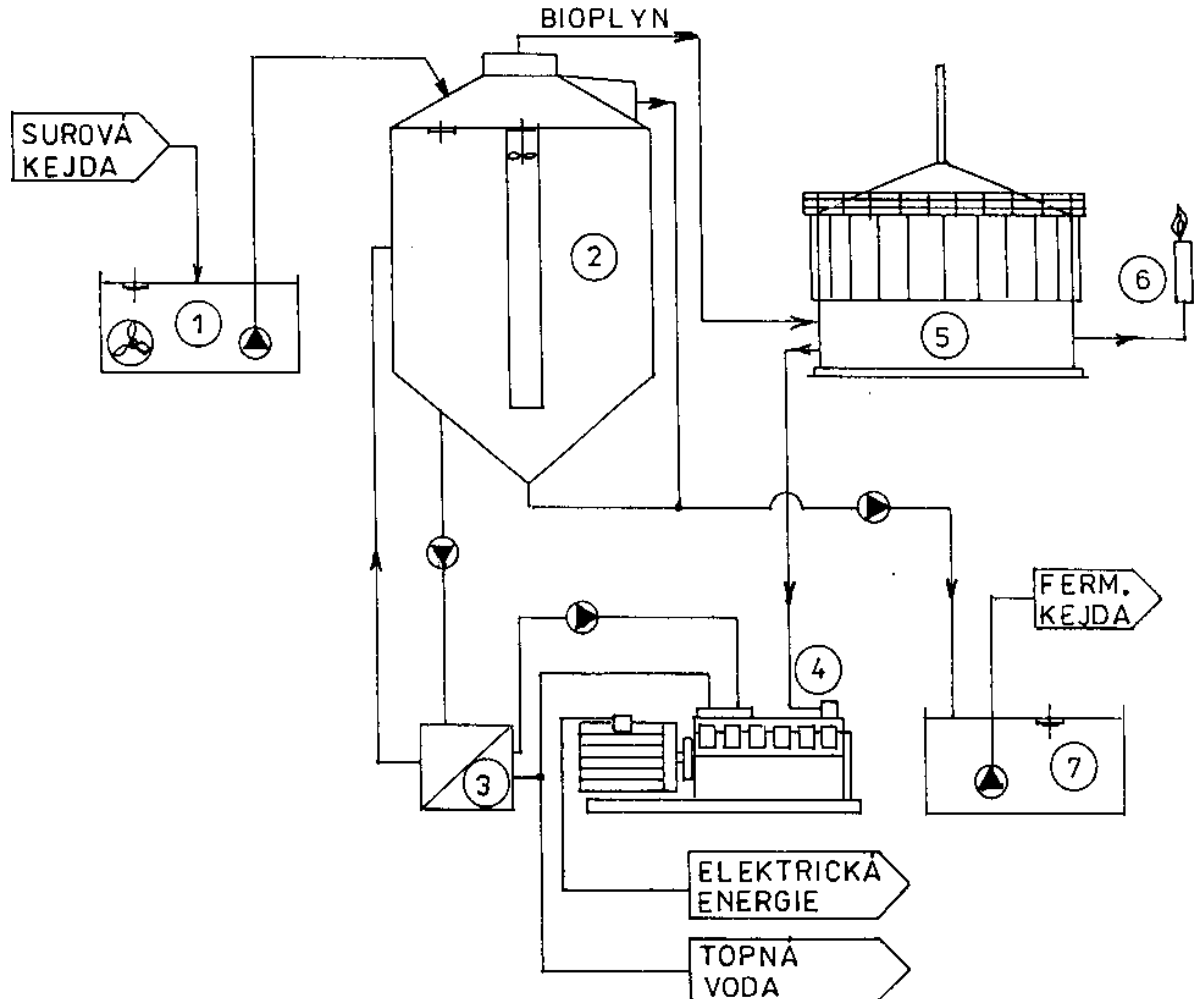
Tabulka 4.4 Zatížení fermentoru a čas prodlevy

Exkrementy	zatížení fermentoru kg/m ³ den	čas prodlevy dnů
Dojnice	6	15 – 20
skot	4,5	10 – 15
prasata	3	10 – 15
nosnice	1,5	50

Údaje zatížení fermentoru jsou vztaženy na efektivní objem fermentoru.

5. Provedení bioplynové stanice

Před rozborem konstrukce jednotlivých částí bioplynové stanice je účelné seznámit se s celkovou konstrukcí. Schematické provedení bioplynové stanice je patrné z obr. 7.



Obr. 7 Schema uspořádání bioplynové stanice

- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1 - zásobník surové kejdy | 2 - anaerobní reaktor (fermentor) |
| 3 - tepelný výměník | 4 - kogenerační jednotka |
| 5 - plynojem | 6 - hořák zbytkového plynu |
| | 7- skladování kejdy po fermentaci |

Základní technologický proces je takový, že surová kejda je čerpána z vyrovnávací nádrže (1) do anaerobního reaktoru (2). Reaktor se běžně v praxi nazývá fermentor. Před fermentorem je obvykle předřazena příjmová část pro kejdu. Ta je přizpůsobena celkové koncepci technologie. Z obr. 7 je patrné, že vyrovnávací nádrž je opatřena míchadlem, které zabraňuje nežádoucímu usazování kejdy. Míchadlo má své opodstatnění i pro případ, že se do vyrovnávací nádrže přidává organická hmota, kterou je nutno před procesem drtit. Z vyrovnávací nádrže je kejda dále dopravována čerpadlem do fermentoru.

Fermentory se dělí podle způsobu provozu na vsádkové (diskontinuální), do kterých je obsah vpravován najednou, a kontinuální, u kterých je fermentor stále, nebo v krátkých časových intervalech doplňován čerstvým substrátem.

Vsádkový systém se v praxi uplatňuje při zpracování slamnatého hnoje. Postup je takový, že koš, který je naplněn hnojem se zakryje zvonem s plynotěsným uzávěrem. Používá se větší počet vsádkových fermentorů, které jsou střídavě plněny. Po ukončení technologického procesu se zvony zvednou a připravují se na další použití.

Kontinuální systém se běžně používá u kejdy s čerpatelnou sušinou. Nátok kejdy do fermentoru má být řízen optimálním zatížením fermentoru. Tvar fermentoru je nutno volit tak, aby umožňoval provádění oprav při současném řešení dokonalé tepelné izolace pláště fermentoru. S ohledem na hydrodynamiku proudění se fermentory provádí převážně válcového tvaru.

V anaerobním reaktoru je kejda podrobena vlastnímu procesu při mezofilní teplotě cca 37 °C. Vzniklý bioplyn je odváděn do suchého plynojemu (5) odkud je plyn odebírán energoblokem (4) podle potřeby. V případě přebytku plynu je přebytečný plyn spalován v hořáku zbytkového plynu (6). Fermentovaná kejda je z reaktoru dopravována do skladovací nádrže (7).

Požadovaná teplota ve fermentoru je udržována cirkulací kejdy z reaktoru přes tepelný výměník (3), který je vytápěn topnou vodou. Topná voda je ohřívána odpadním teplem z motorgenerátoru. Teplo produkované z odpadního tepla se využije pro technologický proces ve fermentoru (ohřev reaktoru) a přebytek tepla je určen pro další tepelné spotřebiče.

Na základě současného stavu rozvoje anaerobní fermentace tekutých substrátů lze konstatovat, že tyto bioplynové stanice mají následující základní části :

- 1) Přípravná část
- 2) Fermentor (technologický reaktor)
- 3) Skladování bioplynu
- 4) Úprava a využití vyhnilého kalu
- 5) Využití bioplynu
- 6) Zabezpečovací a řídicí systém.

5.1 Přípravná část

Technologická skladba této části je závislá na druhu prováděných úprav vstupního materiálu. Zpravidla se jedná o soustavu nádrží, kde dochází k úpravě sušiny kejdy na požadovanou hodnotu. Současně se provádí homogenizace a případné odstraňování nežádoucích příměsí.

Přípravné nádrže jsou betonové, plastové nebo ocelové a jsou vybaveny míchacími a čerpacími jednotkami. Velikost nádrží se volí cca na jednodenní produkci kejdy.

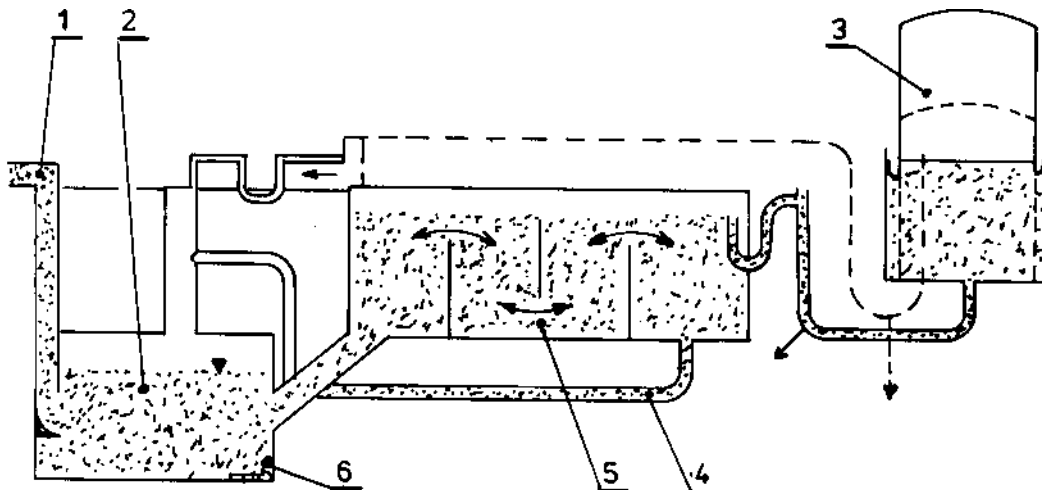
5.2 Fermentor (reaktor)

Fermentor je základní částí technologie anaerobního procesu. Z tohoto důvodu jsou na fermentor kladeny nejvyšší nároky a to zvláště z hlediska vytvoření vhodného prostředí pro rozvoj mikrobiálních kultur. Hlavní podmínkou pro dobrou činnost anaerobních bakterií je vytvoření a udržování stanovené teploty fermentace. Rovněž míchání náplně fermentoru by mělo být dokonalé, aby v prostoru fermentoru nevznikaly mrtvé zóny. Tyto mrtvé zóny by redukovaly užitiný obsah fermentoru a snižovaly by produkci bioplynu. Systémů míchání je mnoho. V zásadě se dělí na ty, které potřebují vnější energii, a na soustavy pracující bez vnější energie. Při nedokonalém míchání se vytváří na povrchu náplně fermentoru povlak a výtěžek bioplynu je o 20 až 30 % nižší.

5.2.1 Systémy míchání

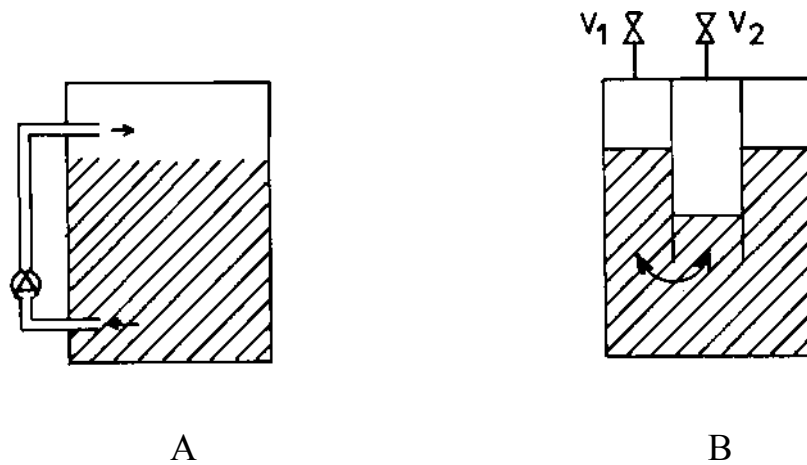
Systémy míchání bez použití vnější energie jsou systémy využívající tlak bioplynu k pohybu substrátu. V systému musí být zařazen plynojem, aby mohl být odvod plynu k plynojemu v určitých intervalech přerušován. Tím vznikne v soustavě přetlak, který je využíván k promíchávání. Příklad dokonale vyřešeného systému míchání je uveden na obr. 8 .

Je-li součástí fermentoru zároveň i plynojem (integrální fermentor), může promíchávání zajišťovat vertikální pohyb plynojemu. Pohyb je přenášen ozubeným převodem na míchací hřídel s lopatkami. Při míchání s využitím vnější energie se nejčastěji používají vrtule s frekvencí otáček 200 až 1000 otáček za minutu. Míchat lze buď nepřetržitě, nebo s přestávkami, které se stanoví v praxi podle toho, zda se vytváří na spodní části fermentoru sediment, nebo na povrchu náplně fermentoru povlak či nikoliv. Při použití listových míchadel s větším povrchem je frekvence otáčení nižší a to 10 až 20 otáček za minutu. U kejdy s vysokým obsahem sušiny (10 až 12 %) a s vysokou dynamickou viskozitou je lépe používat míchadla kotvová nebo hřebenová. Dále je možno použít různé systémy fluidní techniky, vhnání stlačeného bioplynu atd. Ukázky některých typů míchadel jsou uvedeny na obr. 9.



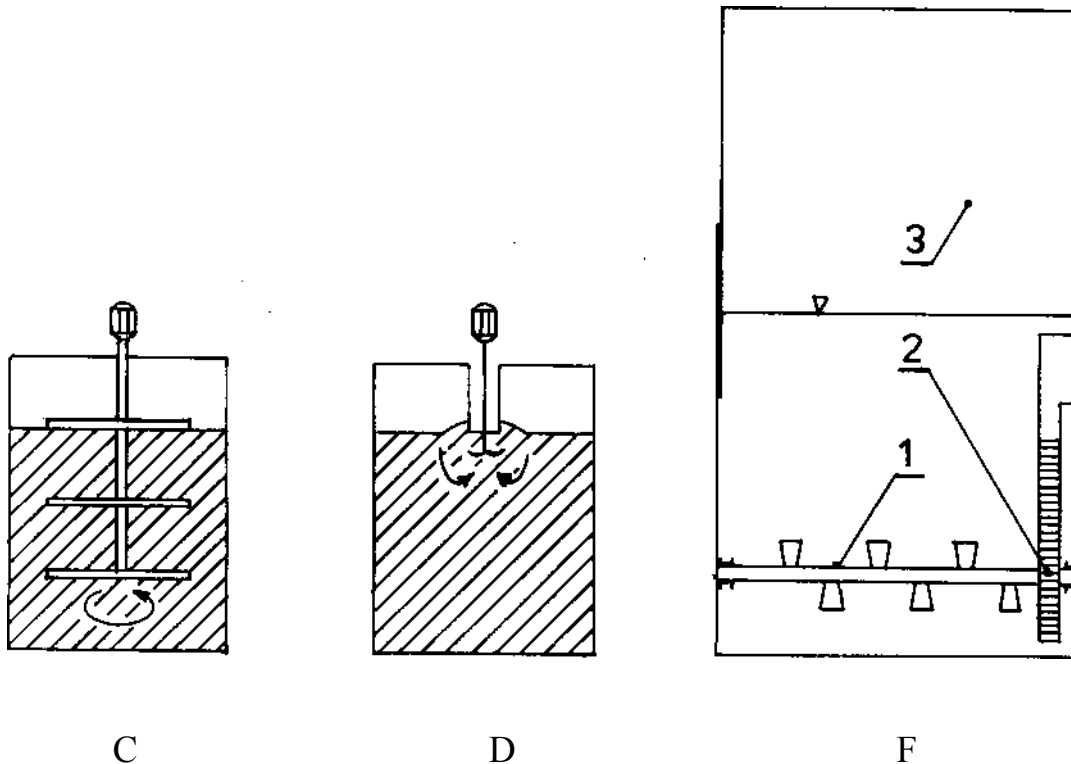
Obr. 8 Způsob míchání pomocí bioplynu

1 - přítok kejdy , 2 - hlavní fermentor, 3 - plynojem, 4 - přítok směsné očkovací kultury z vyhnílého kalu do hlavního fermentoru, 5 - dokvašovací fermentory, 6 - vytápění



Obr. 9 Způsoby míchání ve fermentoru

A - míchání čerpadlem, B - fluidně dynamické míchání plynem při střídavém otevírání a zavírání ventilů



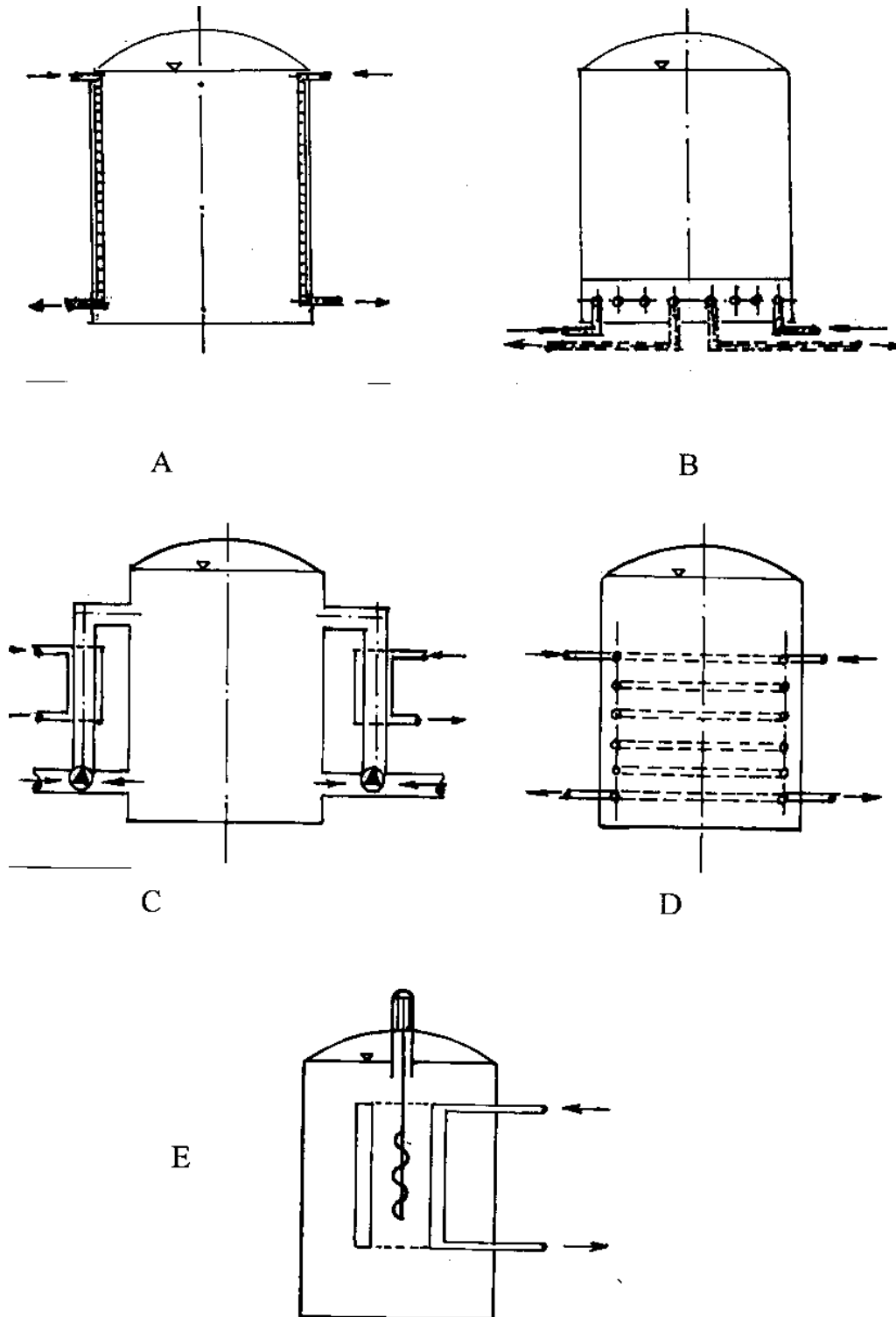
Obr. 9 Způsoby míchání ve fermentoru

C - míchání listové, D - míchání vrtulí, F - mechanické míchání plynojemem :
1 - míchadlo, 2 - pohon od plynojem, 3 - plynojem.

5.2.2 Udržování provozní teploty ve fermentoru

Hlavní podmínkou pro dobrou činnost anaerobních bakterií je udržování stanovené teploty fermentace. Udržení teploty fermentačního procesu je řešeno pomocí ohřevu kejdy přímo ve fermentoru nebo vně fermentoru. Jako zdroj energie se používá produkovaný bioplyn, který je spalován a získané teplo se pomocí tepelných výměníků předává organickému substrátu buď přímo soustavou potrubí uvnitř fermentoru nebo uvnitř stěn, případně mimo fermentor. Důležitou součástí tepelného režimu fermentoru je kvalita tepelné izolace stěn.

Na obrázku č. 10 jsou uvedeny některé způsoby vytápění fermentoru.



Obr. 10 Způsoby vytápění fermentoru

A - vyhřívání pláště fermentoru , B - vytápění v základně fermentoru

C - vnější ohřev s cirkulací kalu, D - topný registr , E - střední vyhřívací válec

Důležitou veličinou, charakterizující intenzitu fermentačního procesu, je tzv. zatížení fermentačního prostoru organickou sušinou obsaženou v denní dávce keжды. Organické látky jsou anaerobním procesem odbourávány a právě vztah mezi vloženým a odbouraným množstvím organické sušiny určuje stupeň stabilizace zpracovávaného materiálu. V případě vysokých dávek keжды dochází k odstranění ještě ne zcela odbouraných předchozích dávek a tím se snižuje efekt celého procesu. Nízké vložené množství organické sušiny naopak negativně ovlivňuje využití prostoru fermentoru. Vyjádření organické sušiny v kg na jednotku objemu prostoru reaktoru je mírou zatížení prostoru reaktoru.

Rozvojem vlastní technologie vyhnívání, spolu s napojením moderních prvků mikrobiologie a mikroelektroniky, došlo v poslední době k vývoji nových typů technologických zařízení bioplynových stanic, a to zvláště reaktorů, které představují určující prvek pro zpracování organických látek v bioplynových stanicích.

5.3 Skladování a čištění bioplynu

Akumulace bioplynu v místě výroby je nutnou podmínkou pro komplexní využití anaerobní stanice. Skladování plynu je zvláště nutné z důvodů :

- zabezpečení špičkových odběrů
- vyrovnání rozdílu mezi výrobou, spotřebou a kvalitou plynu
- bezpečností činitel při poruše spotřebičů.

Obvykle se u plynojemů počítá se zásobou plynu na 12 až 24 hodin. Podle tlaku plynu se plynojemy dělí na nízkotlaké do 5 kPa, středotlaké do 2 MPa a vysokotlaké od 2,0 do 5,0 MPa.

Nízkotlaké plynojemy mohou tvořit jeden celek s fermentorem nebo kalovou jímku. V případě potřeby stojí osamoceně, ale vždy co nejbližší fermentoru, protože plynové vedení má být co nejkratší.

V poslední době se používají nízkotlaké plynojemy i ve formě roztažitelných vaků ze speciálních hmot. Jejich cena je oproti pořizovacím nákladům na klasický plynojem podstatně nižší. Rovněž náklady na montáž těchto plynojemů jsou podstatně sníženy. Nevýhodou těchto plynojemů je ovšem to, že mohou být snadno poškozeny a při havárii může v okolí plynojemu vzniknout výbušné prostředí.

U současných bioplynových technologií je nejčastěji používán nízkotlaký plynojem. Nízkotlaké plynojemy jsou mokrého nebo suchého typu. Nevýhodou mokrých plynojemů je možnost zamrzání a z toho důvodu je nutno řešit problém vyhřívání v zimních měsících, čímž se snižuje využitelná produkce bioplynu pro další spotřebiče.

Nové typy nízkotlakých plynojemů jsou výsledkem rozvoje používání plastických hmot, jejichž využití je pro jejich trvanlivost a plynotěsnost výhodné. Z těchto důvodů byly např. vyvinuty plynojemy manžetového typu, kdy manžetová membrána je zatížena paralelně vedeným závažím, které zajišťuje stálý provozní tlak. V případě, že není potřeba konstantního tlaku, lze použít akumulární balóny, které jsou zabezpečeny kotevním zařízením. Jejich použití je omezeno nutností umístit je v zastřešených objektech.

Zajímavým řešením je provedení nízkotlakého, dvoumembránového plynojemu o objemu 100 až 5550 m³. U tohoto systému je použita membrána z polyesteru a vrstvy PVC. Nosným prvkem zařízení je přetlak vzduchu z dmyhadla. Pružná vnitřní membrána tvoří na jedné proměnný plynový prostor a na straně druhé spolu s napnutou vnější membránou prostor regulace tlaku.

Před uskladněním nebo po odběru plynu z plynojemu se používaný bioplyn zpravidla čistí. Především se nesmí zapomenout na to, že bioplyn je nasycen vodou a při jeho transportu dopravní cestou dochází k vysrážení vody. Z tohoto důvodu je nutno instalovat do nejnižší části potrubí odlučovač vody.

Při použití kogenerační jednotky na bioplyn (plynový spalovací motor) je nutno provést odsíření bioplynu před jeho vstupem do motoru. Bioplyn má na výstupu z reaktoru poměrně vysokou koncentraci H₂S a to cca 5 g/m³. Neodsířený bioplyn má velmi negativní vliv na provozní spolehlivost a vlastní životnost motoru. Z tohoto důvodu požadují výrobci motorů na bioplyn odsíření plynu před jeho vstupem do motoru. Tímto opatřením se však zvyšují investiční náklady na realizaci zařízení.

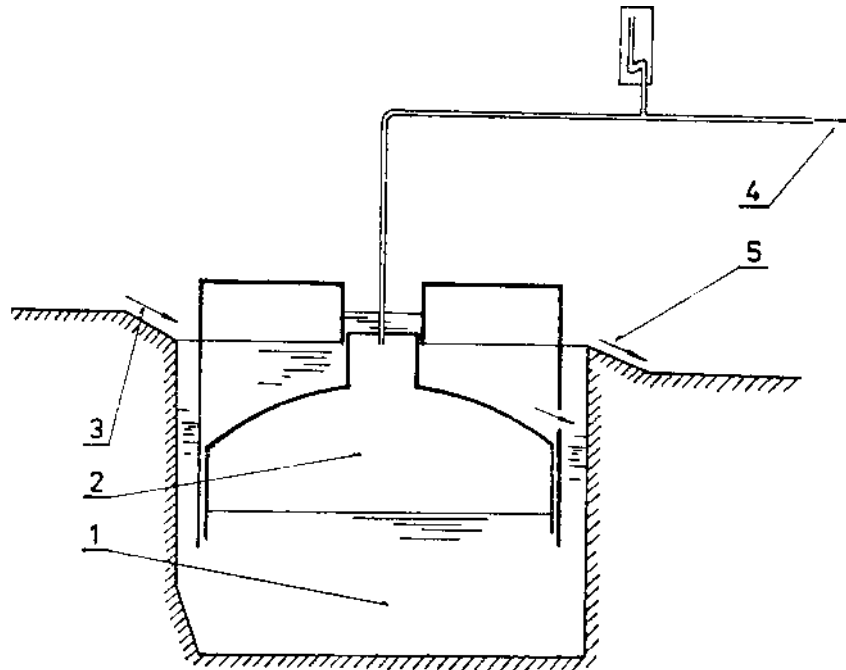
Úprava a využití bioplynu je důležitou fází činnosti bioplynové stanice a spolu s využitím vyhnílého kalu je základním ekonomickým činitelem , ovlivňujícím efektivnost investic.

Elektrická energie, která vstupuje do procesu jako vlastní spotřeba k čerpání a míchání obsahu fermentoru, může být odebírána z rozvodné sítě nebo z vlastní výroby el. energie .

Kvalifikované stanovení plánované produkce bioplynu v závislosti na druhu a složení exkrementů je nezbytné k určení kapacitních možností bioplynové stanice a provozních ekonomických ukazatelů.

6. Přehled hlavních typů bioplynových stanic

Původní bioplynové stanice byly vlastně jen málo upravené městské čistírenské stanice. Na obr.11 je uveden např. systém GOBAR, který našel široké uplatnění v Číně.

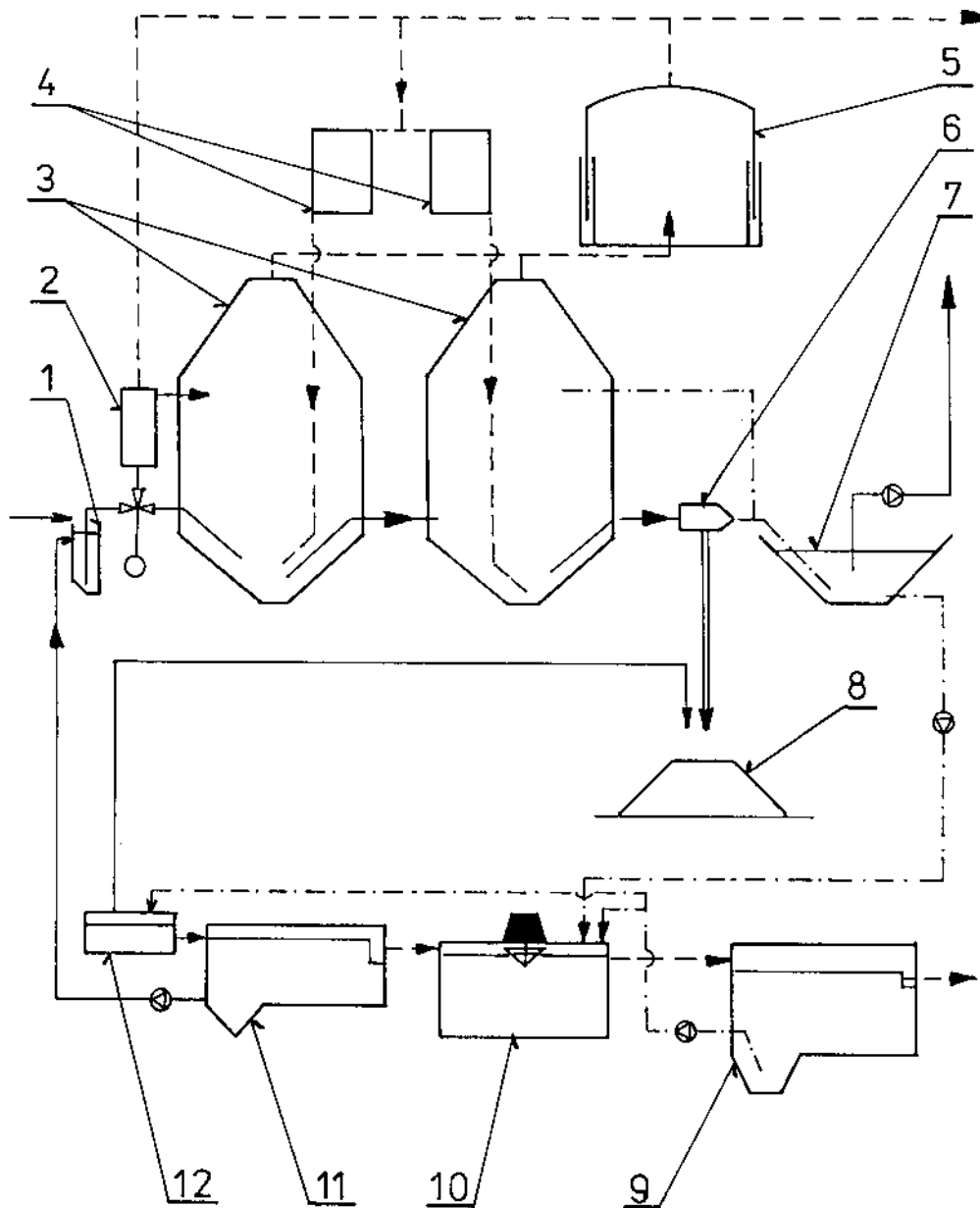


Obr. 11 Systém jednoduché bioplynové stanice Gobar

1 - fermentor, 2 - plynojem, 3 - vtok kejdy ze stáje, 4 - bioplyn, 5 - odtok kalů.

První zařízení bioplynové stanice v tuzemsku bylo uvedeno do provozu v roce 1974 v Třeboni. Zařízení bylo realizováno z hlediska ochrany životního prostředí, to je omezení znečištění vody a zamezení zápachu, a pro výrobu hnojiva. Projektované parametry byly na zpracování kejdy od 30000 prasat a městské kaly. Denně se jedná o 13 t organické sušiny z kejdy a 0,8 t sušiny městských kalů. Doba trvání fermentačního procesu 20 až 30 dnů při teplotě 40 °C. Provozní teplota byla zvýšena na uvedenou hodnotu hygienickými požadavky na likvidaci nebo omezení patogenů. Schema zařízení je patrné z obr. 12.

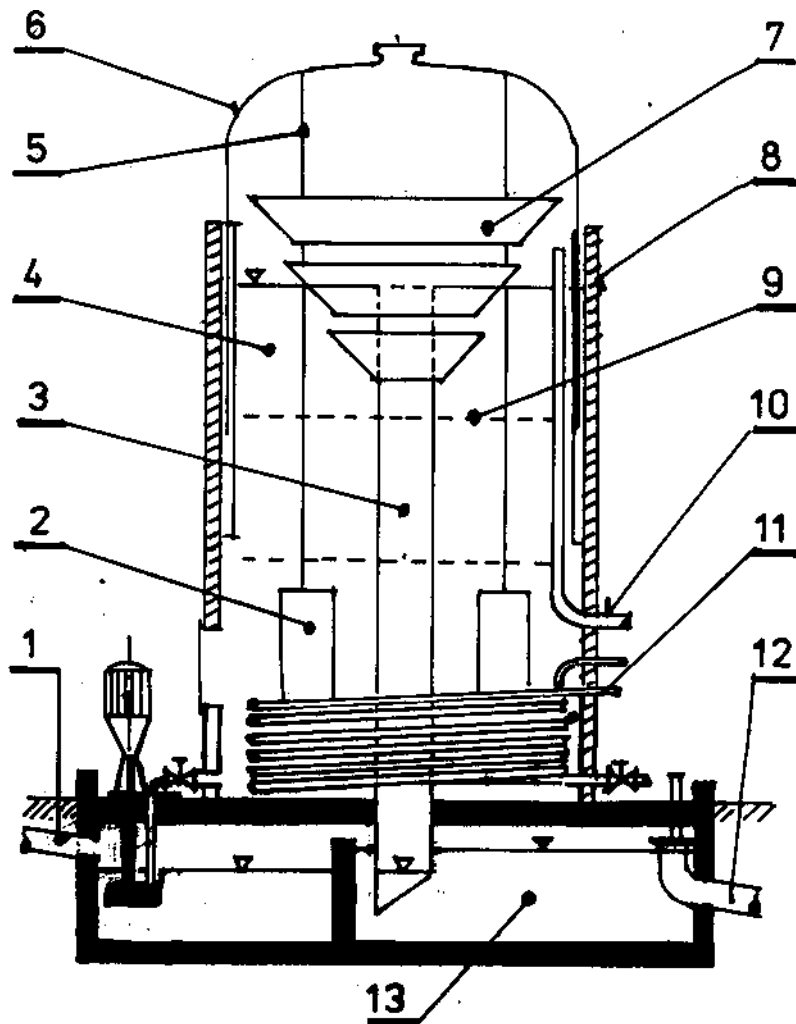
Zařízení má dva fermentory o celkovém objemu 6000 m³ a plynojem o objemu 1000 m³. Denně se vyrobí 7000 až 7500 m³ bioplynu. Plyn se využíval pro ohřev a míchání substrátu ve fermentorech, k ohřevu vody pro velkovýkrm prasat a k vytápění provozních budov.



Obr. 12 Schema bioplynové stanice v Třeboní

1 - jímka surového kalu, 2- ohřev, 3 - fermentory, 4 - plynové kompresory
5 - plynojem, 6 - odstředivka, 7 - zásobní nádrž, 8 - kompostárna, 9 - nádrž, 10 - aktivace, 11 - usazovací nádrže, 12 - hrubé předčištění.

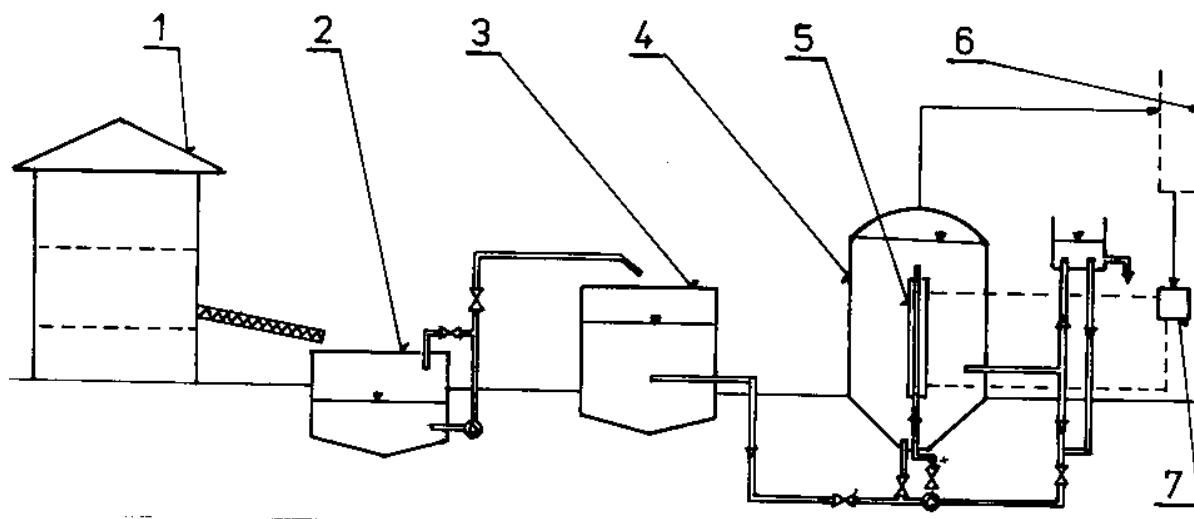
Na obrázku 13 je uvedeno originální řešení firmy Griogas. Základnu tvoří vana osazená přepadovým sifinem a čerpadlem. Dvakrát až třikrát denně se čerpá kejda do integrovaného fermentoru. Vyhnílý kal je odváděn centrálním svodem do spodního sifonu. Ve fermentoru je umístěn topný registr. Ve vrchní části jsou trychtýřové kulisy, které rozrušují tvořící se povlak na povrchu substrátu. S pohybem integrovaného plynojemu je spojeno současné míchání obsahu fermentoru.



Obr. 13 Schema bioplynové stanice GRIOGAS

1 - přítok, 2 - protizávaží, 3 - střední svod, 4 - fermentor, 5 - vodící tyče, 6 - plynojem, 7 - trychtýřové kulisy, 8 - tepelná izolace pláště fermentoru, 9 - soustava mechanických míchadel, 10 - odvod bioplynu, 11 - ohřev, 12- odtok, 13 - sifon .

Zařízení k využití a zpracování slepičího trusu je znázorněno na obrázku 14. Toto experimentální zařízení bylo realizováno v bioplynové stanici v Heiligenbergu (jako systém Afag).



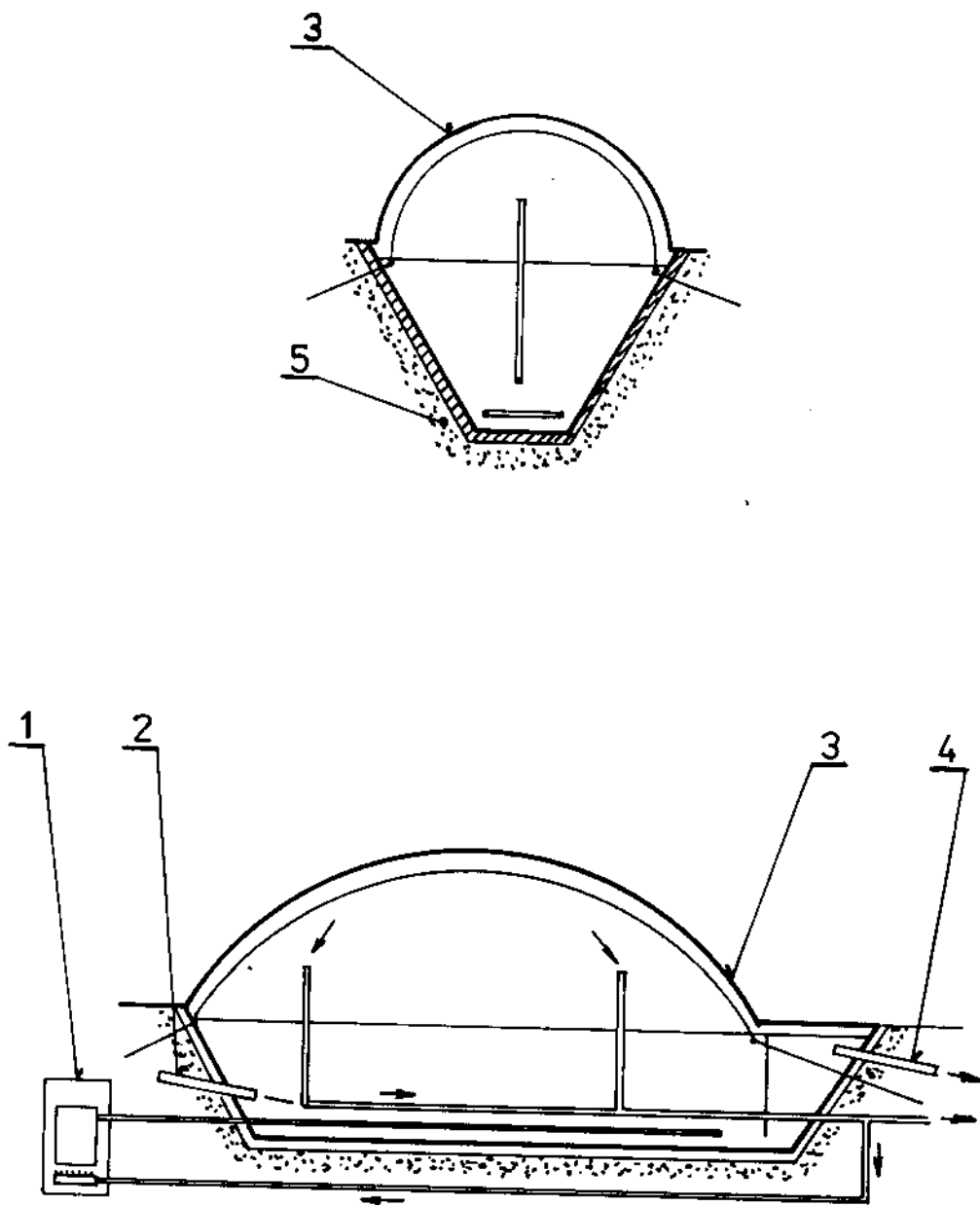
Obr. 14 Bioplynová stanice Afag

1 - drůbežárna, 2 - úpravna, kde probíhá ředění a míchání, 3 - nádrž pro denní dávku s odlučovačem písku a peří, 4 - fermentor, 5 - vestavěný ohřívač kalu, 6 - plynojem, 7 - ohřívač topné vody.

Jeden z velmi rozšířených typů bioplynových stanic vznikl v USA pod označením PLUG - FLOW. Schema provedení tohoto jednoduchého systému je patrné z obr. 15.

Toto zařízení tvoří žlab o průřezu tvaru V, tepelně izolovaný vrstvou minerální vaty a hypalonovou folií a překrytý nafukovací plastovou folií, která současně zajišťuje funkci plynojemu. Plynojem je rovněž tepelně izolován a překryt další folií. Půda kolem žlabu je drenážována, aby se snížil odvod tepla do okolní půdy. Hloubka žlabu je obvykle 1,5 až 3 m, vrstva tekutého hnoje je 1 až 2,5 m. Zkvašovaná kejda je zahřívána na teplotu 35 °C teplou vodou, která proudí v trubkách. Na jednom konci vyhnívacího žlabu je přiváděna kejda (až do obsahu sušiny 13 %), prochází podélně vyhnívací nádrží a na opačné straně je vynášena od dna žlabu.

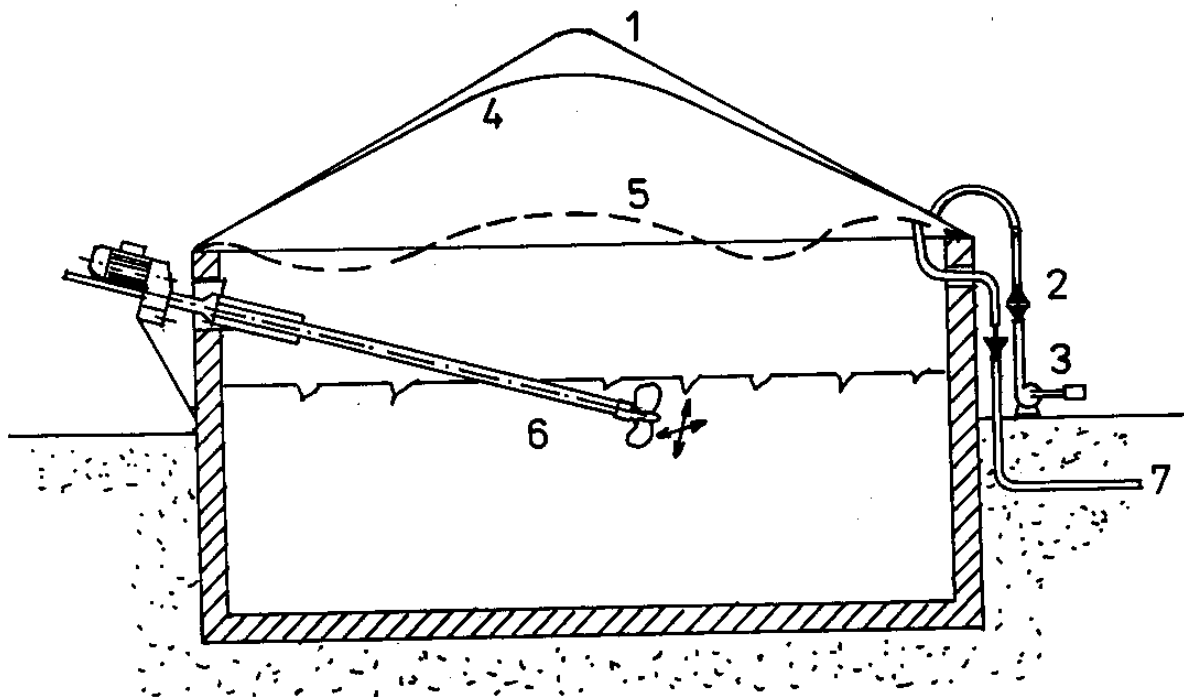
Separční potíže se u tohoto systému neprojevují. Aplikace systému však není příliš vhodná pro kejdu s nízkým obsahem sušiny (3 až 5 %).



Obr. 15 Průtočná bioplynová stanice PLUG - FLOW1 - ohřev, 2 - přítok, 3 - kryt z hypalonové folie s tepelně izolační vrstvou, 5 - drenáž

Velmi důležitým prvkem je při konstrukci fermentorů dokonalá tepelná izolace. Při dokonalé tepelné izolaci se snižuje spotřeba tepla až o 30 %, které je určeno k ohřevu fermentoru na provozní teplotu.

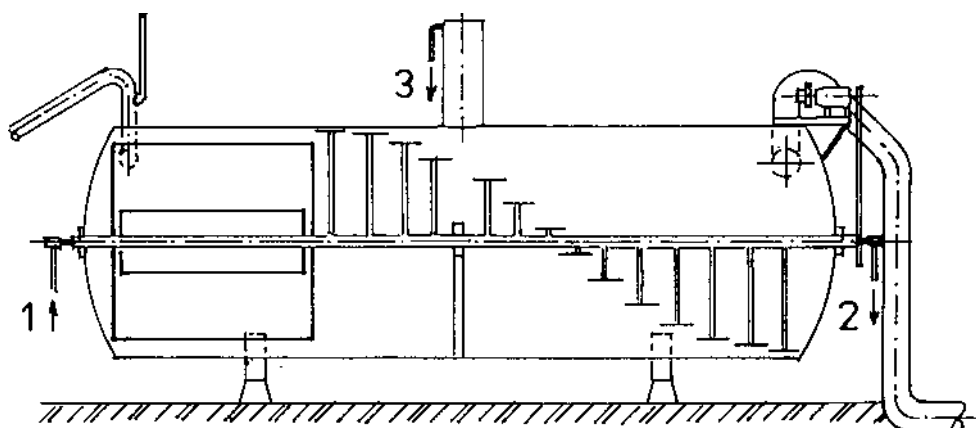
Ke snížení technologické spotřeby tepla fermentoru může přispět i jeho částečné umístění pod okolní terén dle obr. 16. Dle tohoto provedení tvoří horní část fermentoru současně plynojem pro vyrobený bioplyn.



Obr. 16 Umístění fermentoru pod terénem s využitím horní části jako zásobníku bioplynu

1 - nosná vzduchová folie, 2 - tlakový spinač, 3 - dmychadlo, 4 - naplněná plynová folie, 5 - prázdná plynová folie, 6 - míchadlo, 7 - odvod plynu

V praxi se používají i ležaté válcové fermentory jejichž provedení je patrné z obr. 17.



Obr. 17. Válcové provedení ležatého fermentoru

1 - přívod topného media, 2 - odvod topného media, 3 - odvod bioplynu

U zařízení dle obr. 17 je vhodně řešen tepelný výměník pro ohřev náplně fermentoru. Míchací, rotační systém tvoří zároveň tepelný výměník, což představuje zdvojení funkce míchacího systému s možností snížit investiční náklady.

Volba typu fermentoru a jeho uspořádání (ležatý, vertikální) bude závislé od možnosti celkového dispozičního uspořádání a půdorysné ploše, která bude k dispozici pro bioplynovou stanici.

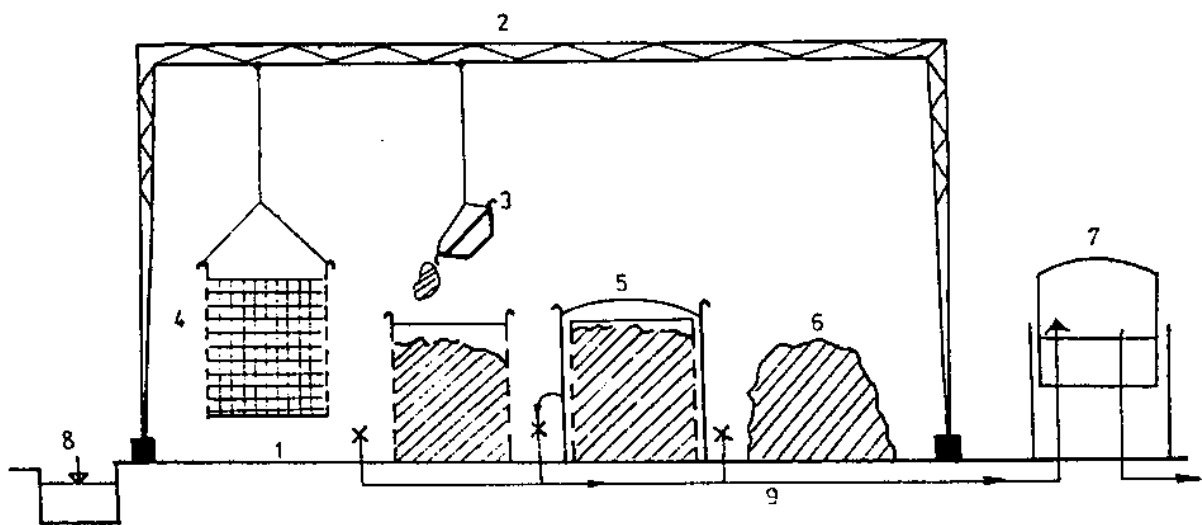
S ohledem na provozní spolehlivost bioplynové stanice se převážně používají dva kusy fermentorů. Při poruše jednoho fermentoru je k dispozici fermentor druhý, který může zajistit částečný provoz biostanice. Koncepce dvou kusů fermentorů bere v potaz i nutnost provádění revizí, údržby a oprav na daném zařízení.

Pro výrobu bioplynu je možno využít i chlévskou mrvu. V zahraničí není tento způsob výroby bioplynu příliš používán. Řešení, které se používá v ČR lze proto označit za řešení unikátní. V podstatě se jedná o systém koš a zvon. Základní součástí technologie je fermentační jednotka, složená z fermentačního koše a zvonu. Provedení je patrné z obr. 18.

Slamnatý hnůj se po vyhrnutí z kravínů vyváží v kontejnerech. Jako přepravník kontejnerů je použit ramenový nakladač. Nakladač dopravuje naplněné kontejnery na složiště, které je hlavní částí zařízení. Na jeho ploše je umístěno přepravní zařízení, portálový jeřáb, koše, zvony a propojovací plynové potrubí. Složiště zároveň plní funkci skladu ošetřeného fermentačního slamnatého hnoje.

Naplňené kontejnery se portálovým jeřábem přenesou a jejich obsah se vyklopí do koše. Po naplnění, které při plném provozu trvá 3 až 4 dny, je koš zakryt plynotěsným ocelovým zvonem. Zvon, který je tepelně izolován a zajišťuje uvnitř prostoru vznik anaerobního prostředí, se přemístí z fermentační jednotky, kde se již ukončil anaerobní proces.

Vznikající bioplyn je z uzavřeného prostoru postupně vytěšňován a odsáván. Bioplyn prochází propojovacím plynovým potrubím, které lze napojit na jednotlivé fermentační jednotky. Plynové dmychadlo pak dopravuje bioplyn do plynojemu.



Obr. 18 Schema zpracování slamnatého hnoje skotu na bioplyn

- 1 - plocha složiště slamnatého hnoje, 2 - portálový jeřáb, 3 - kontejner na čerstvý slamnatý hnůj, 4 - ocelový dělený koš, 5 - ocelový tepelně izolovaný fermentační zvon, 6 - fermentovaný slamnatý hnůj, 7 - plynojem, 8 - močůvková jímka, 9 - plynové potrubí

6.1 Přehled bioplynových stanic v ČR

Bioplynové stanice na zpracování tekuté kejdy byly v ČR realizovány již na několika místech. V tabulce 6.1 jsou uvedeny některé informativní hodnoty provozovaných referenčních biostanic v ČR.

Tabulka 6.1 Referenční bioplynové stanice v ČR na zpracování tekuté kejdy

stanice	Třeboň	Kladruby	Skalice	Plevnice	Trhový Štěpánov
fermentov. materiál	Kejda prasat	kejda prasat	kejda prasat	kejda prasat	Kejda prasat a jeteč.odpad
teplota fer.	40 °C	40 °C	37 °C	35 - 40 °C	35 - 40 °C
objem fermentoru	3000 m ³	1020 m ³	2160 m ³	500 m ³	700 m ³
počet fermentorů	2	2	2	4	1
doba zdržení	16 - 26 dní	26 dní	23dní	24 dní	26 dní
převládající konstrukční materiál	Železobet.	železobeton	kov	kov	kov
denní produkce bioplynu	4200 m ³	2500 m ³	2700 m ³	1800 m ³	1000 m ³
investiční náklady mil.Kč	42	36	48	11,5	17,7
zahájení provozu	1974	1989	1993	1994	1995
množství fermentov. materiálu	150 - 250 m ³ /den	85 m ³ /den	170 m ³ /den	70 m ³ /den	28 m ³ /den

V tabulce 6.2 jsou uvedeny referenční stavby bioplynových stanic v ČR na zpracování slamnatého hnoje.

Tabulka 6.2 Referenční bioplynové stanice v ČR na zpracování slamnatého hnoje

Stanice	Hustopeče	Jindřichov	Výšovice
Fermentovaný materiál	Slamnatý hnůj	slamnatý hnůj	Slamnatý hnůj
Množství fermen.materiálu	44 t/den	21 t/den	11 t/den
teplota fermentace	35 - 40 °C	35 - 40 °C	35 - 40 °C
objem fermentoru	169 m ³	85 m ³	110 m ³
počet fermentorů	8	6	6
doba zdržení	32 dní	28 dní	30 dní
převlád.konstruk. materiál	Kov	kov	Kov
denní produkce bioplynu	1200 m ³ /den	600 m ³ /den	320 m ³ /den
investiční náklady	8,5 mil. Kč	5,5 mil. Kč	3,5 mil. Kč
Zahájení provozu	1986	1989	1987

Z menších zařízení lze dále uvést bioplynovou stanici na soukromé farmě pana Jindráka, Radešín, okr. Příbram. Na této farmě je použit válcový, ležatý reaktor o objemu 70 m³.

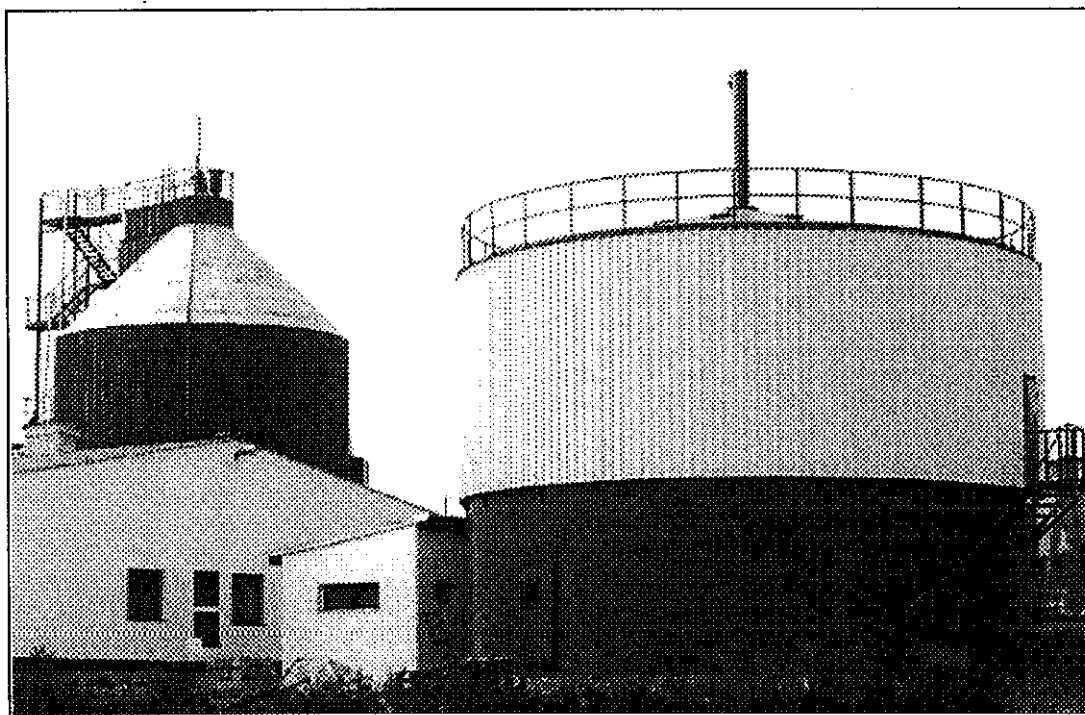
Dále se v ČR provozuje cca 100 ks bioplynových reaktorů na zpracování čistírenských kalů z čistíren odpadních vod instalovaných u větších měst. K největším zařízením tohoto typu patří ČOV Praha - Troja.

6.2 Přehled tuzemských dodavatelů technologické části bioplynových stanic v ČR

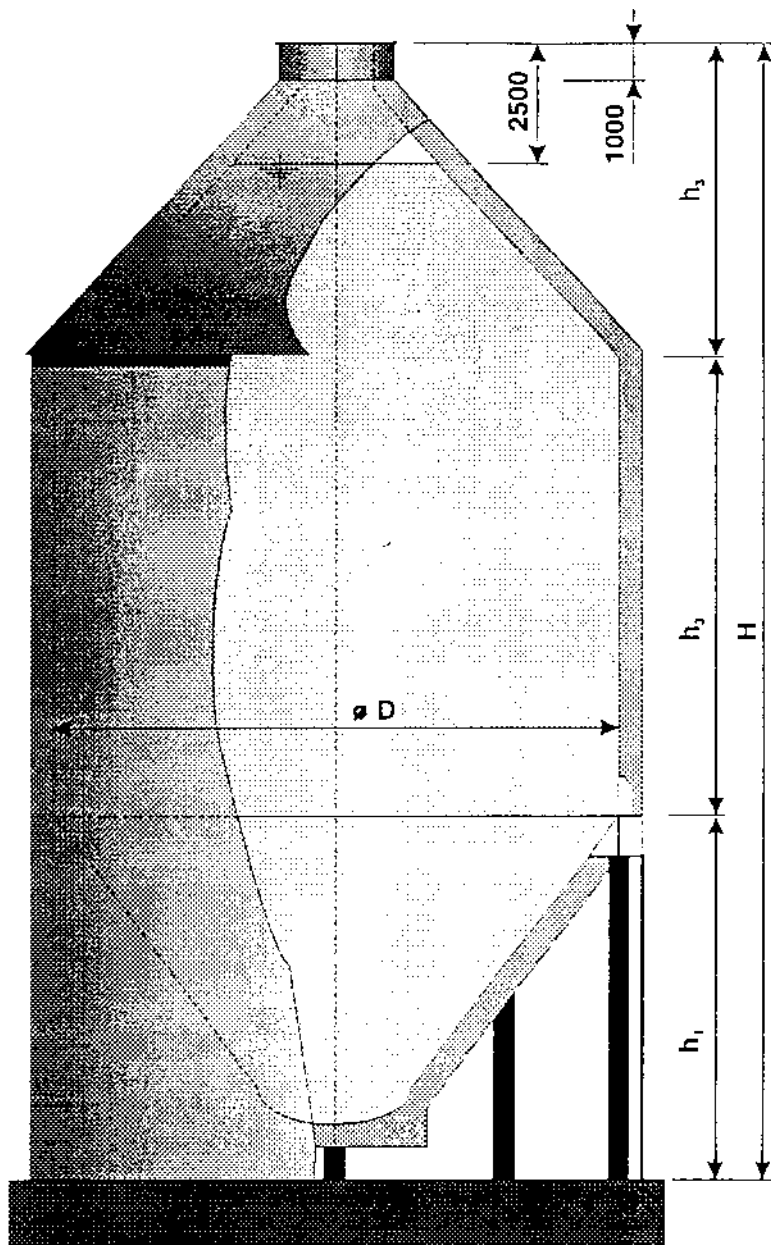
K hlavním tuzemským dodavatelům patří následující :

- Továrny mlýnských strojů a.s.
Divize BIOGAS technologie
Pardubice
- Vítkovice a.s.
Divize ekologického strojírenství
Ostrava - Vítkovice
- AGOS , projekty, stavby
Pelhřimov
- AGRICOLA , projekty, stavby Otice
- ESU , Neznačov.

Z následujících obrázků je patrné provedení a výrobní rozsah zařízení od firmy BIOGAS technologie , Pardubice.



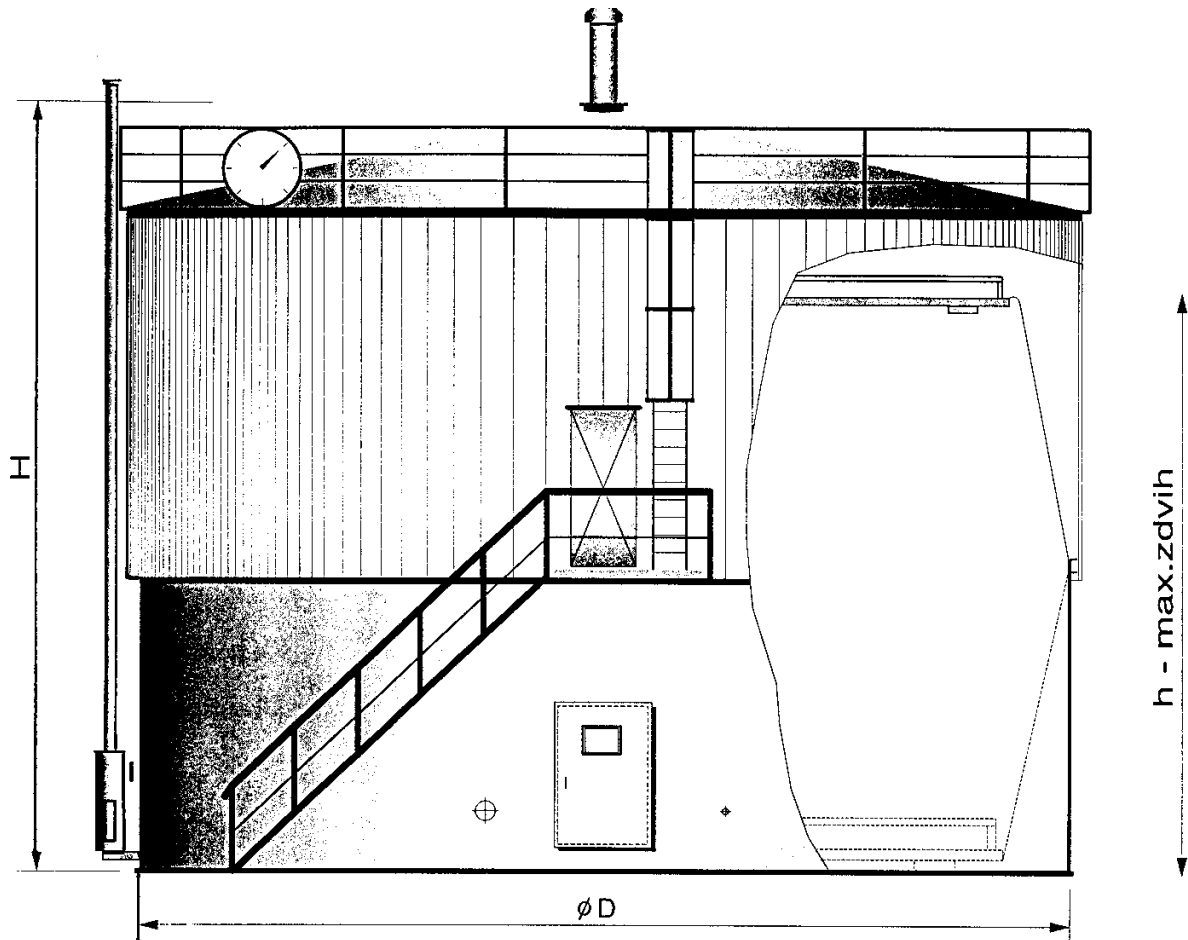
Obr. 19 Pohled na bioplynovou stanici Trhový Štěpánov



Základní technické údaje

typ	D / mm /	H / mm /	h ₁ / mm /	h ₂ / mm /	h ₃ / mm /
B 540 m ³	8000	14400	2500	5000	3400
B 700 m ³	10400	16500	6300	6300	5200
B 2000 m ³	15000	19050	7350	8500	5400

Obr. 20 Provedení a základní parametry ocelového bioreaktoru



Základní technické údaje					
TYP	D (mm)	H (mm)	h (mm)	V₁ (m³)	G (kg)
P 100	6 010	6 000	4 500	100	15 900
P 200	8 010	6 390	4 900	200	20 250
P 500	11 410	9 500	7 400	500	42 750
P 1000	14 300	10 000	8 500	1 000	68 500
P 1500	15 610	12 000	9 780	1 500	83 200
P 2000	17 010	12 600	10 800	2 000	115 000

Obr. 21 Provedení a základní technické parametry suchého plynoměru pro skladování bioplynu s nastavitelným rozsahem max. tlaku 1 - 2 kPa.

7. Plynové motory pro kogenerační jednotky

Z následujícího tabulkového zpracování je patrný rozsah tuzemských i zahraničních dodavatelů plynových motorů pro využití bioplynu.

Tab. 7.1 Kogenerační jednotky TEDOM s.r.o., Třebíč

Typ	Výkon (kW)		Účinnost (%)	
	elektrický	tepelný	elektrická	Tepelná
MT - 22A	22	43	27	53
MT - 45A	45	80,5	29	52
MT - 75A	75	125	31	53
MT - 140S	140	200	34	51
MT - 400S	400	600	34	52
190-CAT TA 32	193	268	34	48
190-CAT TA 70	159	244	34	52
260-CAT TA 32	264	364	34	47
260-CAT TA 70	235	372	34	53
390-CAT TA 32	390	515	34	45
390-CAT TA 70	346	531	35	52
500-CAT TA 32	510	722	34	48
500-CAT TA 70	455	740	33	54
770-CAT TA 32	770	1045	35	47
770-CAT TA 70	685	1105	34	54
1000-CAT TA 32	1035	1390	35	47
1000-CAT TA 70	920	1473	34	54

Poznámka: MT - motory tuzemské výroby: LIAZ, ZETOR

CAT - motory Caterpillar

A - generátor asynchronní

S - generátor synchronní

Tabulka 7.2 MOTORGAS s.r.o. Praha

Typ	výkon kW		účinnost %	
	elektrický	tepelný	elektrická	tepelná
TBG 60	55	95	31	54
TBG 140	140	200	35	50
TBG 260	257	365	35	51
TBG 350	343	485	35	51
TBG 520	520	735	36	51
TBG 700	698	980	37	51
TBG 1100	1089	1565	35	51
TBG 760	770	1120	35	51
TBG 930	936	1323	36	51
TBG 1230	1237	1748	36	51
TBG 1600	1588	2100	37	50
TBG 2400	2387	3150	38	50
NAG 40	36	75	29	58
NAG 80	79	139	32	55
NAG 150	142	245	33	57
NAG 200	189	329	33	58
NAG 300	294	507	34	58
NAG 360	358	617	34	59
NAG 480	478	820	33	56
NAG 600	593	1015	34	58
NAG 730	722	1165	35	57
NAG 970	962	1610	33	55

Poznámka : Typy TBG jsou dodávány s motory na chudou směs, typy NAG s motory provozovanými na stechiometrický poměr vzduchu

Tab. 7.3 Škoda Praha a.s.

typ	výkon	
	elektrický	tepelný
Škoda P 300, D - 300	300	450
Škoda P - 400	400	600
Škoda P - 600	600	870
Škoda J - 736	736	947
Škoda J - 922	922	1185
Škoda R - 2300	2300	3270

Poznámka : P - motory PERKINS
 J - motory JENBACHER
 R - motory RUSTON
 D - motory DORMAN DIESEL

Tabulka 7.4 DAGGER s.r.o. Praha

Typ	výkon (kW)	
	elektrický	tepelný
SPG 115	115	155
SPG 170	170	240
SDG 300	300	430
SDG 400	400	605
SDG 600	600	916
SDG 800	800	1226

Tabulka 7.5 ČKD MOTORY a.s. Hradec Králové

typ	výkon kW		účinnost %	
	elektrický	tepelný	elektrická	tepelná
6-27,5,A2S-G	500	735	33	49
6C28G8G	1000	1500	33	49
8C28GSG	1328	2000	32	48
12C28GSG	2000	3000	35	52

Tabulka 7.6 KLOR s.r.o. Praha (zastupuje firmu Jenbacher,Rakousko)

Typ	výkon kW		účinnost %	
	elektrický	tepelný	elektrická	tepelná
JMS 106 GS	70	120	32	55
JSM 208 GS	280	400	36	52
JSM 212 GS	470	652	37	51
JSM 312 GS	551	715	39	50
JSM 316 GS	736	947	39	50
JSM 320 GS	922	1185	39	50
JSM 612 GS	1457	1704	40	46
JSM 616 GS	1942	2231	40	46

Kromě uvedených typů jednotek, které dodávají teplo na teplotní úrovni 90 / 70 °C firma dodává i jednotky v uvedeném výkonové rozsahu pro dodávku tepla na teplotní úrovni 110/85 °C a 130/110 °C.

Tabulka 7.7 PROGRESS POWER, s.r.o. Hradec Králové (zastupuje firmu WARTSILA, Finsko)

Typ	Výkon kW		Účinnost %	
	Elektrický	tepelný	elektrická	Tepelná
16 V 175 SG	1010	1205	34	41
18 V 28 SG	4500	5520	41	49
18 V 34 SG	5500	6280	42	48

Poznámka : Uvedené tepelné účinnosti jsou platné při dodávce tepla v teplé vodě. Jednotky jsou též dodávány jako horkovodní a parní.

Tabulka 7.8 FERROTHERM s.r.o. Praha (zastupuje firmu MAN, Německo)

Typ	Výkon kW		Účinnost %	
	elektrický	tepelný	elektrická	Tepelná
E 2866 NM	72	136	29	55
E 2842 NM	140	236	33	55
E 2842 LN	325	439	35	48
E 2842 LN	310	481	35	55
E 6038 LE	412	589	36	52
E 6042 LE	606	867	36	52
E 6046 LE	812	1156	36	52
6L 28/32 SI	1163	1353	40	46
7L 28/32 SI	1357	1579	40	46
8L 28/32 SI	1550	1804	40	46
9L 28/32 SI	1745	2030	40	46
12 V 28/32 SI	2325	2707	40	46
16 V 28/32 SI	3100	3609	40	46
18 V 28/32 SI	3490	4060	40	46

Tabulka 7.9 JSM s.r.o. Hradec Králové (zastupuje firmu NUTEC, Holandsko)

Typ	Výkon kW		Účinnost %	
	elektrický	tepelný	elektrická	Tepelná
Nutec 300	288	450	36	53
Nutec 400	385	630	36	54
Nutec 600	577	920	36	53
Nutec 800	771	1240	36	54

Vzhledem k tomu, že bioplyn má oproti zemnímu plynu (na který jsou spalovací plynové motory převážně konstruovány) nižší výhřevnost je nutné se seznámit s touto skutečností. Pro porovnání jsou použity technické parametry motorů Jenbacher (viz tabulka 7.10).

Tabulka 7.10 Porovnání výkonu plynového motoru na zemní plyn a na bioplyn

Pro porovnání je použit motor s počtem otáček 1500 ot/min, odvod tepla ve formě teplé vody 90/70 °C, NO_x 500 mg/Nm³, CO 650 mg/Nm³

Palivo	zemní plyn	Bioplyn
typ motoru	JSM 208 GS - N.LC	JSM 208 GS - B.L
Energie v plynu / kW /	722	763
el. výkon motoru / kW/	280	253
Tepelný výkon / kW /	400	404
Účinnost elektrická / % /	36,22	33,22
Účinnost tepelná / % /	51,81	52,95
Účinnost celková / % /	88,04	86,17

V závislosti na způsobu využití tepla z kogenerační jednotky se mění jak celková, tak elektrická a tepelná účinnost. Změna těchto hodnot je patrna z tabulky 7.11, kde je uvažováno s teplotovým spádem :

- 90 / 70 °C
- 110 / 85 °C
- 130 / 110 °C .

Tabulka 7.11

Změna účinnosti motoru JSM 208 GS - N.LC , 1500 ot/min, pro palivo zemní plyn

Teplonosné medium	90 / 70 °C	110 / 85 °C	130 / 110 °C
energie v plynu kW	772	711	560
el.výkon kW	280	253	192
tepelný výkon kW	400	329	234
el.účinnost %	36,22	35,65	34,32
tepelná účinnost %	51,81	46,32	41,7
celková účinnost %	88,04	81,97	76,02

Z uvedeného porovnání je patrné, že změnou parametrů odebíraného tepla z 90/70 na 130/110 °C se snížila celková účinnost o 12 %. Při použití odběru tepla ve formě páry by celková účinnost poklesla ještě více.

7.1 Požadavky na provoz plynových motorů

Provoz stacionárních plynových motorů, které je možno použít pro kogenerační jednotky je sledován co do počtu odpracovaných provozních hodin za rok. Počet provozních hodin za rok je závislý na místních provozních možnostech využití kogenerační jednotky.

Maximální počet hodin je dán hodnotou $365 \times 24 = 8760$ hod/rok. Tuto teoretickou hodnotu však nelze v praxi docílit, neboť je nutno na motoru provádět údržbu, výměnu oleje a pod. U běžného motorového vozidla kalkulujeme s počtem ujetých kilometrů za rok. Pokud budeme předpokládat průměrnou rychlost 70 km/h pak bude roční počet motohodin (kogeneračního plynového motoru) představovat následující údaje :

počet provozních hodin h/rok	odpovídající počet kilometrů km/rok
5000	350 000
6000	420 000
7000	490 000 .

Z uvedených hodnot je patrné jakému ročnímu zatížení (a tím i opotřebením) je vystaven plynový kogenerační motor. Pro údržbu motoru z toho vyplývají nároky na výměnu oleje v předepsaných intervalech a použití odpovídajícího typu oleje.

Při použití kogenerační jednotky na bioplyn je nutno provést dodatečná specifická opatření z nichž nejdůležitější je odsíření bioplynu před vstupem do motoru. Bioplyn na výstupu z reaktoru obsahuje značnou koncentraci H_2S a to cca 5 g/m^3 . Neodsířený bioplyn má velmi negativní vliv na provozní životnost a spolehlivost motoru. Tímto opatřením se však zvyšují investiční náklady na instalaci zařízení.

Z hlediska provozních nákladů a životnosti plynového motoru na bioplyn je nutno volit i vhodný typ mazacího oleje. Aplikace plynového motoru na spalování bioplynu má vždy charakter lokální.

Bioplyn je z hlediska interakce s motorem podstatně náročnější palivo, než zemní plyn. Aplikace oleje v motoru na bioplyn vždy představuje hledání kompromisu mezi obecnými požadavky plynového motoru (málo popelovin) a jeho neutralizačními schopnostmi (více popelovin).

Obsah H_2S v bioplynu má zásadní vliv na :

- délku provozního cyklu oleje
- obsah kovů v oleji, zejména Cu .

Motorový olej pro bioplynové motory by měl mít optimální obsah aditiv tvořících sulfátový popel s cílem :

- Zabezpečit čistotu vnitřního prostoru motoru, zabránit tvorbě úsad na svíčkách, ventilech a znepohyblivnění pístních kroužků.
- Neutralizace kyselých komponentů plynu.
- Zpomalení poklesu výkonnosti oleje, to je snížení nákladů na olej.
- Zabránit předčasným zážehům.
- Zabránit opotřebování ventilových sedel.

Problematikou mazání bioplynových motorů se dosti podrobně zabývala firma ESSO. Tato firma doporučuje např. použití oleje Essolube PX 40. Poznatky s tímto olejem jsou uvedeny v tabulce 7.12.

Tabulka 7.12

Provozní zkušenosti s motorovým olejem Essolube PX 40 při použití různých druhů plynu pro spalovací motor.

ZP - zemní plyn BP - bioplyn z kejdy ČP - čistírenský plyn

plyn	-	ZP	BP odsíř.	BP	ČP	BP + ČP
H ₂ S (mg/litr)	-	0	0,15	3,0 - 5,0	0	3,0 - 4,0
motohodin	-	826	2044	518	1026	836
visk.při 100 (mm ² /s)	Max. 20	16,92	16,7	17,0	16,63	16,5
TBN (mg KOH/g)	Min. 1,6	4,5	5,1	3,1	1,6	3,7
pH	Min. 3,8	4,6	-	-	3,5	5,7
Fe(ppm hmot.)	Max. 100	5	17	16,3	20	68
Cu (ppm hmot.)	Max. 80	3	16	47,7	11	113
Si (ppm hmot)	Max. 20	2	-	-	102	9
extinkce 6,1	Max. 20	8	-	-	-	2
extinkce 5,8	max. 20	7	-	-	-	5

8. Kogenerační jednotky s plynovými spalovacími turbinami

V této kapitole uvádíme pouze přehled hlavních dodavatelů plynových turbin s jejich parametry. Formou následujících tabulek chceme pouze doplnit tuto problematiku v rámci ucelení technických informací.

Tabulka 8.1

ABB Energetické systémy s.r.o., Brno

typ soustrojí	typ turbíny	el.výkon	el.účinnost	Množství spalin	teplota spalin
		KW	%	kg/s	°C
GT 1	M 1A- 13A	1477	25	8,1	518
GT 2	M 1A- 23B	2052	26	9,4	570
GT 5	GTD 2500	2541	26	15,2	446
GT 7	M 7A - 01	5577	26	21,6	560

Tabulka 8.2 FERROTHERM s.r.o. Praha (zastupuje firmu MAN)

typ turbíny	el.výkon (kW)	el.účinnost (%)	Množství spalin (kg/s)	Teplota spalin °C
Saturn 20	1140	24	6,46	486
Centaur 40	3515	28	18,6	437
Centaur 50	4350	29	19,0	497
Taurus 60	5000	31	21,4	481
Taurus 70	6300	31	25,5	488
Mars 90	9290	31	39,2	465
Mars 100	10695	31	41,6	488

Jak je z uvedených tabulek patrné s rostoucím el. výkonem stoupá i el. účinnost těchto zařízení. Oproti spalovacím motorům je však, v oblasti uvedených výkonů, jejich el. účinnost nižší cca o 8 %. Z tohoto důvodu je vhodné použít spalovací turbíny v oblasti vyšších výkonů .

9. Kombinovaná výroba tepla a el. energie při použití parního kotle

V případech, kdy je nezbytné využívat tepelnou energii z kogenerace ve formě páry, je možno použít vhodný typ parního kotle. Dostupnost parního kotle vhodných parametrů, který bude spalovat bioplyn není vůbec problematická. V podstatě se jedná o standardní typ kotle, který je určen pro spalování plynných paliv. Při volbě typu hořáku je však nutno počítat s tím, že palivem bude bioplyn. Dodavatelé hořáků jsou však schopni tento požadavek akceptovat a upraví na hořáku směšovací poměry pro bioplyn.

Na parní kotel pak může navazovat, pro zajištění výroby el.energie, buď :

- protitlaká parní turbina, nebo
- parní motor.

V současné době jsou již v ČR i tuzemští výrobci, kteří mohou zajistit nejenom dodávku parního kotle, ale parní turbíny i parního motoru.

Při použití protitlaké parní turbíny i parního stroje jsou parametry vystupující páry takové, že lze tuto páru dále využít pro vytápění, technologické účely a pod.

Při použití parní turbíny jsou však na parní kotel kladeny zvýšené požadavky a to :

- Kotel musí být osazen přehřívákem páry, který zajistí vyšší teplotu páry pro dosažení přijatelného entalpického spádu páry na turbině. Pára na výstupu z turbíny musí být ve vymezené oblasti „vlhkosti páry „ , aby vodní kapičky příliš nesnižovaly životnost lopatek turbíny.
- Kotel s přehřívákem páry představuje vyšší investiční náklady na parní kotel oproti parnímu kotli, který vyrábí pouze sytou páru.

Při použití parního motoru je možno použít jak páru přehřátou, tak páru sytou. Tato skutečnost je z hlediska provozu velmi vítána, neboť na kotli odpadá přehřívák páry, čímž se investiční náklady na parní kotel sníží a sníží se i nároky na obsluhu kotle.

Pro informaci jsou v následujících tabulkách uvedeny hlavní technické parametry uvedených zařízení.

Tabulka 9.1 Universální středotlaké parní kotle o parním výkonu
200 až 8000 kg/hod.
Výrobce kotlů PolyComp a.s.

parametry	Jedn otky	KU 200	KU 600	KU 1000	KU 2000	KU 4000	KU 5000	KU 6000	KU 7000	KU 8000	
jmen.výkon	kg/h	200	600	1000	2000	4000	5000	6000	7000	8000	
tep.výkon syta pára	KW	131	392	521	1303	2606	3258	3910	4561	5213	
přehřátá pára		144	433	676	1352	2704	3380	4056	4732	5408	
tlak páry max.	MPa	1,4 (0,6 , 0,9 , 1,8)									
tlak páry min.	MPa	0,2 - 0,4									
jmen.teplota přehřáté páry	°C		do 450 °C								
účinnost kotle ZP/LTO	%	91/ 89									
účinnost s ekonomizér. ZP/LTO	%	92 - 94 / 91 - 92									
jmen.teplota nap.vody	°C	105 (70)				105					
jmen.teplota spal.vzduch	°C	20									

Vzhledem k tomu, že existuje další řada dodavatelů parních kotlů není proto možno veškeré výrobce uvádět. Uváděné tabulky mají spíše charakter ilustrační pro získání přehledu o dostatečně dobrém pokrytí rozsahu parního výkonu těchto kotlů.

Tabulka 9.2 Parní turbogenerátor , výrobce PolyComp a.s.

jmenovitý tlak páry na vstupu	1,4 - 0,6 MPa
jmenovitá teplota páry	200 - 240 °C
jmenovitý tlak páry na výstupu	0,5 Mpa
hltnost turbíny	3 - 15 t/h
zpracovatelný adiabatický spád	100 - 130 kJ/kg
termodynamická účinnost	0,61
jmenovité otáčky turbinového kola	22350 ot/min
jmenovitý výkon na hřídeli	50 - 300 kW

Hodnoty uvedené v tabulce 9.2 se týkají vysokootáčkové radiální, protitlaké parní turbíny ve spojení s asynchroním generátorem. Zařízení je možno provozovat bezobslužně s automatikou řízení PC. Výkon parního turbogenerátoru je závislý na tlakovém spádu a hltnosti turbíny.

Tabulka 9.3 Parní stroj PM - VS I , výrobce PolyComp a.s.

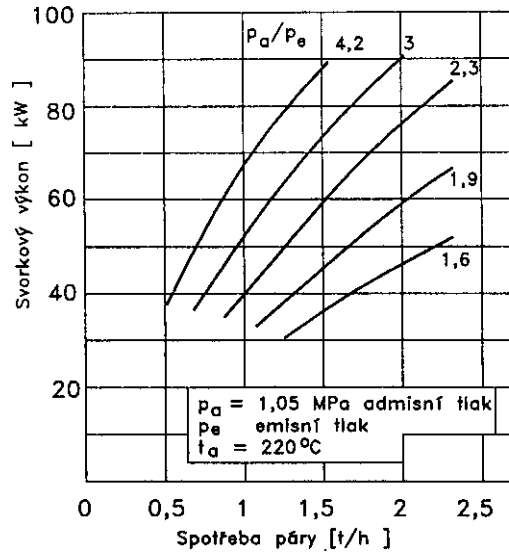
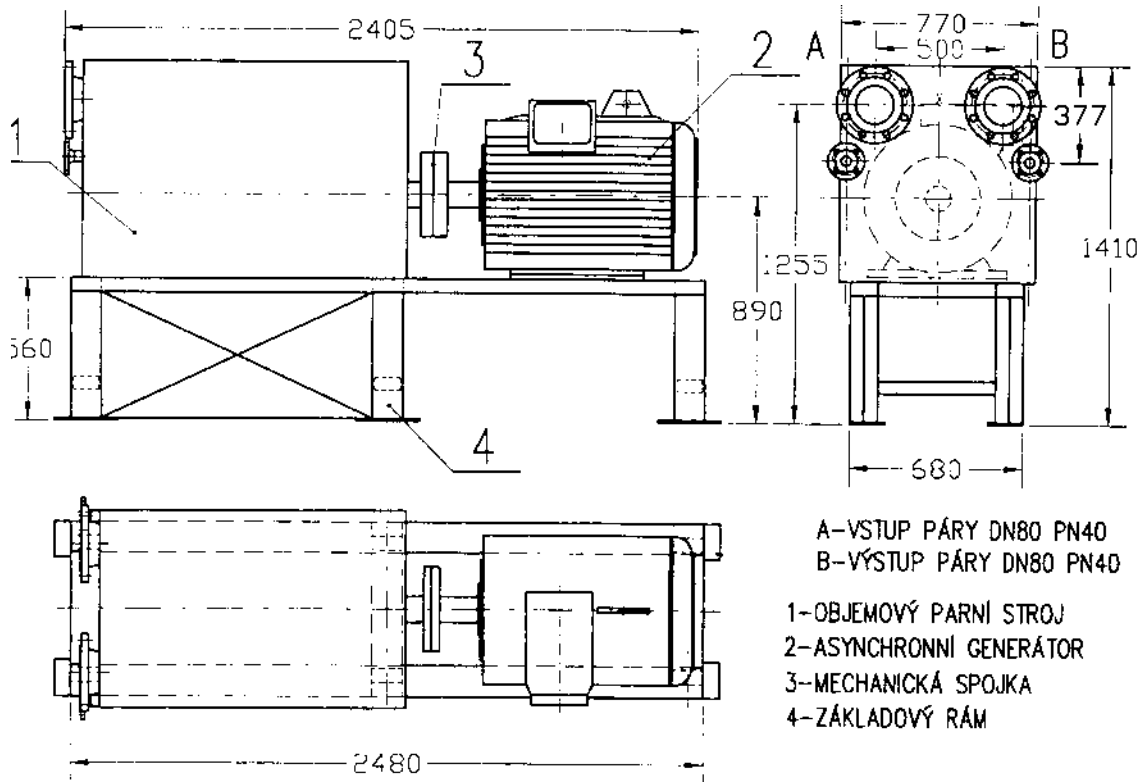
pracovní medium		Sytá,nebo přehřátá pára
vstupní teplota	°C	240
vstupní tlak	MPa	2
otáčky motoru max.	1/min	1500
elektrický výkon	kW	70
hmotnost	kg	Cca 1750
rozměry	mm	délka 2500, šířka 700, výška 1400

Parní motor PM - VS I je objemový parní stroj ve spolupráci s asynchroním generátorem el.energie. Motor pracuje do protitlaku, nebo do kondenzace. Podle využitelného spádu a množství páry je možno řadit parní motory paralelně, nebo seriově.

Uvedený parní motor je na tuzemském trhu zvláštností, která se po dlouhé době opět objevuje na našem trhu.

Uspořádání parního motoru je patrné z obr. 9.1 a jeho charakteristika pro 1500 ot/min je na obr. 9.2 .

Obr. 9.1 Konstrukční uspořádání parního motoru PM - VS I



Obr. 9.2 Provozní charakteristika motoru PM - VS I při 1500 ot/min.

10. Potřebný objem spalovacího vzduchu a objem vzniklých spalin při spalování bioplynu

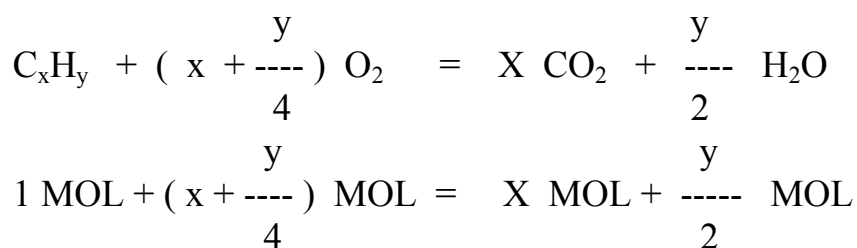
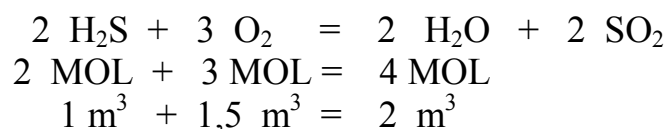
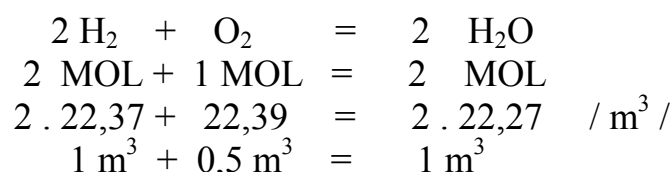
Následující uvedené výpočty vychází ze stechiometrických vztahů pro spalování plynných paliv. Pro výpočty je předpokládáno následující chemické složení suchého a odsířeného bioplynu :

složka	objemový podíl / % /
CH ₄	59
CO ₂	39,8
H ₂ S	0,2
H ₂	1,0

celkem	100,0

10.1 Minimální objemová spotřeba kyslíku pro dokonalé spálení 1 m³ bioplynu

Pro stechiometrické výpočty se vychází z následujících rovnic :



Z uvedených vztahů pak vychází (pro uvedené složení paliva) minimální spotřeba kyslíku pro spalování :

$$O_{2 \min} = \left(x + \frac{y}{4} \right) C_x H_y + 0,5 H_2 + 1,5 H_2S \quad (m^3/m^3)$$

$$O_{2 \min} = \left(1 + \frac{4}{4} \right) CH_4 + 0,5 H_2 + 1,5 H_2S$$

$$O_{2 \min} = 2 \cdot 0,59 + 0,5 \cdot 0,01 + 1,5 \cdot 0,002$$

$$O_{2 \min} = \mathbf{1,188 \ m^3/m^3}$$

10.2 Minimální spotřeba spalovacího vzduchu

Minimální spotřeba suchého spalovací vzduchu se určí dle vztahu :

$$V_{vs \min} = \frac{100}{21} O_{2 \min} = 4,7619 \cdot O_{2 \min} \quad (m^3/m^3)$$

$$V_{vs \min} = 4,7619 \cdot 1,188$$

$$V_{vs \min} = \mathbf{5,657 \ m^3/m^3}$$

Minimální spotřeba vlhkého spalovacího vzduchu

$$V_{vv \min} = 1,016 \cdot V_{vs \min} = 1,016 \cdot 5,675$$

$$V_{vv \min} = \mathbf{5,747 \ m^3/m^3}$$

10.3 Stanovení objemu spalin při spalování bioplynu

Celkový objem vlhkých spalin, které vzniknou při spalování bioplynu s vlhkým spalovacím vzduchem je dán součtem jednotlivých složek spalin a to :

$$V_{sv \min} = V CO_2 + V H_2O + V N_2 + V SO_2 + V Ar \quad (m^3/m^3).$$

Jednotlivé objemové složky spalin se určí následovně :

$$V CO_2 = CO_2 + CH_4 + 0,0003 \cdot V_{vs \min} \quad (m^3/m^3)$$

$$V CO_2 = 0,398 + 0,59 + 0,0003 \cdot 5,657$$

$$V CO_2 = \mathbf{0,989 \ m^3/m^3}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{H}_2\text{O}} &= 2 \text{ CH}_4 + \text{H}_2 + \text{H}_2\text{S} + 0,016 \cdot V_{\text{vs min}} && (\text{m}^3/\text{m}^3) \\V_{\text{H}_2\text{O}} &= 2 \cdot 0,59 + 0,01 + 0,002 + 0,016 \cdot 5,657 \\V_{\text{H}_2\text{O}} &= \mathbf{1,282 \text{ m}^3/\text{m}^3}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{N}_2} &= 0,7805 \cdot V_{\text{vs min}} = 0,7805 \cdot 5,657 \\V_{\text{N}_2} &= \mathbf{4,415 \text{ m}^3/\text{m}^3}\end{aligned}$$

$$V_{\text{SO}_2} = \text{H}_2\text{S} = \mathbf{0,002 \text{ m}^3/\text{m}^3}$$

$$\begin{aligned}V_{\text{Ar}} &= 0,0092 \cdot V_{\text{vs min}} = 0,0092 \cdot 5,657 \\V_{\text{Ar}} &= \mathbf{0,052 \text{ m}^3/\text{m}^3}\end{aligned}$$

Dosazením dílčích objemů spalin do vztahu pro výpočet objemu vlhkých spalin dostaneme, že :

$$\begin{aligned}V_{\text{sv min}} &= \mathbf{0,989 + 1,282 + 4,415 + 0,052} \\V_{\text{sv min}} &= \mathbf{6,74 \text{ m}^3/\text{m}^3}\end{aligned}$$

10.4 Výhřevnost bioplynu

Výpočet výhřevnosti bioplynu vychází z výhřevnosti jednotlivých spalitelných složek bioplynu a jejich objemového podílu. Pro stanovení výhřevnosti bioplynu je možno použít výpočtový vztah :

$$\begin{aligned}\text{výhřevnost bioplynu } Q_n &= 35,8 \cdot \text{CH}_4 + 10,8 \cdot \text{H}_2 + 22,8 \cdot \text{H}_2\text{S} && (\text{MJ}/\text{m}^3) \\Q_n &= 35,8 \cdot 0,59 + 10,8 \cdot 0,01 + 22,8 \cdot 0,002 \\Q_n &= \mathbf{21,275 \text{ MJ}/\text{m}^3}.\end{aligned}$$

Pokud bude v bioplynu určitý objemový podíl vodní páry (W %) pak jeho výhřevnost poklesne v důsledku poklesu koncentrace spalitelných látek v 1 m³ bioplynu. Změna složení bioplynu a jeho výhřevnost pro objemový podíl vodní páry v bioplynu W = 10 % je patrna z tabulky 10.1 . Vlivem obsahu vodní páry v bioplynu se změní i potřebný objem spalovacího vzduchu a vzniklý objem spalin. Změna těchto hodnot je patrna z tabulky 10.2 .

Tabulka 10.1 Změna parametrů bioplynu vlivem obsahu vodní páry

BIOPLYN		
Hodnota	suchý W = 0 %	vlhký W = 10 %
CH ₄ %	59	53,1
CO ₂ %	39,8	35,82
H ₂ S %	0,2	0,18
H ₂ %	1,0	0,9
W %	0,0	10
výhřevnost MJ/m ³	21,275	19,148

Tabulka 10.2 Změna objemu spalovacího vzduchu a spalin vlivem obsahu vodní páry v bioplynu.

Plyn	b i o p l y n		zemní plyn
	suchý W = 0 %	Vlhký W= 10 %	Suchý W= 0 %
min. objem suchého spalovacího vzduchu m ³ /m ³	5,657	5,0914	9,527
minimální objem vlhkého spalovacího vzduchu m ³ /m ³	5,747	5,173	9,68
minimální objem vlhkých spalin m ³ /m ³	6,74	6,167	10,908
výhřevnost plynu MJ/m ³	21,275	19,148	36,3

V tabulce 10.2 jsou uvedeny hodnoty i pro zemní plyn, aby bylo možno porovnat bioplyn vůči běžnému druhu plynného paliva.

11. Technicko - ekonomické hodnocení bioplynových stanic

Z obecného hlediska mají na ekonomiku bioplynových stanic největší vliv následující faktory :

- Cena ušlechtilých paliv a energií nahrazovaných bioplynem.
- Náklady na výrobu bioplynu , do nichž se promítají provozní a investiční náklady bioplynové stanice, ovlivněné mimo jiné technickou úrovní bioplynové stanice (dobou životnosti a velikostí zařízení, intenzitou výroby a kvalitou bioplynu a pod.) .
- Lokální podmínky pro efektivní využití bioplynu a dalších substrátů.
- Legislativní opatření státních a místních orgánů.

Hlavní podmínkou pro efektivnost provozu bioplynové stanice je maximální využití zpracovatelské kapacity a efektivní využití veškerého vyrobeného bioplynu a dalších substrátů pro hnojivářské účely.

Z hlediska legislativy se jedná především o otázku daňovou, a to daň z příjmů a spotřební daň. O dani z příjmů z provozu zařízení na výrobu bioplynu se hovoří v Zákonu o dani z příjmu obyvatelstva (platnost od 1.ledna 1991) v paragrafu 28, odsek 6, kde příjmy z provozu těchto zařízení jsou osvobozeny od daně po dobu pěti let a částečně v paragrafu 29, odsek 1 a 3, kde se hovoří o příjmech získaných zpracováním odpadů, nebo sběrem a likvidací nebezpečných odpadů, nebo z čištění plynů a odpadních vod. Tyto příjmy se zdaňují odděleně od ostatních příjmů poplatníka , a to ve výši 15 % bez ohledu na výši základu daně.

Ekonomickou rozvahu lze v současnosti provést ze dvou hledisek. V první řadě to je zjištění možných finančních nákladů na pořízení bioplynové stanice (případně i na provoz) a možných energetických zisků z využití bioplynu v kogenerační jednotce.

Vývoj zemědělské energetické základny směřuje ke snižování měrné spotřeby paliv a energie v zemědělské prvovýrobě a k náhradě klasických energetických zdrojů zdroji obnovitelnými, mimo jinými i bioplynem, vznikajícím při anaerobním zpracování vedlejších organických produktů (exkrementů, rostlinných zbytků, dřevní hmoty, komunálních odpadů, organických odpadů z potravinářských provozů atd.).

Ačkoli energetický přínos je často hlavním motivem pro zavádění bioplynových stanic , řeší se z hlediska zemědělství i další existenční problémy:

- Omezení nepříznivých vlivů živočišné výroby na životní prostředí.
- Kvalitnější hospodaření s organickými hnojivy.
- Zvýšení biologického potenciálu půdy.
- Energie je produkována z vlastních obnovitelných zdrojů.
- Nenarušuje se biologická rovnováha (koloběh živin).

Všechna zařízení na zpracování organických zemědělských produktů pomocí anaerobní fermentace jsou tedy producenty organického hnojiva a energetického zdroje. Jejich vliv je však rozšířen o další bod, v současné době velice aktuální. Tímto bodem je ochrana životního prostředí v místech s vysokou koncentrací hospodářských zvířat, která se negativně projevuje v přímé blízkosti farem (zápach), ale i zvýšením počtu bakteriálních zárodků v půdě, vodě a ve vzduchu, vzniklých z nevhodného skladování a aplikace surového hnoje.

Anaerobním procesem dojde k tzv. hygienizaci surového materiálu. Tohoto stadia je dosaženo odbouráním nestabilních forem organické hmoty, které se projevují pronikavým zápachem a omezením čpavkových emisí. Účinkem tepla se dosáhne značného zničení bakteriálních zárodků. Tímto způsobem dojde ke zničení nežádoucích mikroorganismů, ale i snížení růstové schopnosti semen plevelů, obsažených v kejdě.

11.1 Investiční a provozní náklady bioplynových stanic

Vzhledem k tomu, že stavba bioplynové stanice je převážně zařízení, které je „šito na míru“ pro místní podmínky, nelze jednoznačně stanovit, že pro daný výkon bioplynové stanice jsou investiční a provozní náklady právě takové.

Rozhodně lépe bude vycházet již z údajů konkrétních provozovaných bioplynových stanic, nebo zpracovaných obchodních nabídek pro konkrétní zařízení.

V další části budou proto podrobněji uvedeny údaje pro následující bioplynové stanice :

- RABBIT a.s. , Trhový Štěpánov
- Společný podnik pro živočišnou výrobu, s.r.o. , Plevnice
- Cenová nabídka na bioplynovou stanici Halámky.

11.1.1 Bioplynová stanice Trhový Štěpánov

Uvedené hodnoty vychází z atestu, který byl vypracován a vydán v rámci ČEA.

Technologická linka na výrobu bioplynu z anaerobního zpracování kejdy a jatečních odpadů o celkové kapacitě zpracovaných odpadů 28 m³/den. Uvedená technologická linka se sestává z následujícího zařízení :

- Betonová jímka na kejdu o obsahu 72 m³ s příslušenstvím.
- Kovový reaktor na anaerobní zpracování kejdy o objemu 700 m³.
- Plynojem o objemu 500 m³.
- Dvě ocelové nadzemní nádrže na fermentovanou kejdu o jednotkovém objemu 1250 m³ s příslušenstvím.

Kromě uvedených základních celků toto zařízení doplňují čerpadla, výměníky, potrubní rozvody kapalin a plynu.

Energoblok je umístěn v samostatné místnosti, která je situována v přilehlé ocelové kolně vedle stávajícího plynojemu. V době atestu byl instalován pouze jeden motor, druhý se připravoval k namontování, aby byla k dispozici 100 % záloha.

Zpracování kejdy a odpadů probíhá v nepřetržitém provozu, výroba el. energie trvá 18 hodin za den. Důvodem výstavby bioplynové stanice byla snaha o zpracování vzniklé kejdy a následně možnost výroby stabilizovaného hnojiva. Dále je tímto způsobem vyřešen problém likvidace zápachu při dalším zpracování kejdy.

Kejda je společně s jatečnými odpady akumulována v betonové jímce, odkud je kalovým čerpadlem přečerpávána do reaktoru. Potřebná reakční teplota je v reaktoru udržována odpadním teplem odebíraným z chladicí vody plynového motoru a chlazením výstupních spalin z motoru. Vznikající bioplyn je shromažďován v plynojemu, odkud je odebírán k pohonu plynového motoru GEB 160, který pohání generátor na výrobu el. energie. Fermentovaná kejda se poté ukládá do dvou zásobních nádrží, odkud se vyváží podle potřeby na pole.

Základní technické údaje :

- denní produkce bioplynu 980 - 1020 m³
- výhřevnost bioplynu 22 MJ/m³
- výstupní tlak plynu z reaktoru 2 kPa
- objem H₂S 1 - 2 %
- typ plynového motoru 6 S 160 GK
- svorkový el. výkon při 1000 ot/min 142 kW
- spotřeba plynu 68 m³/h
- celkový užitečný tepelný výkon 80 - 85 kW.

Provozní údaje.

Zařízení bylo dokončeno v roce 1994 a po ukončení zkušebního provozu je v běžném provozu od roku 1995. Vyrobena el. energie je kromě vlastní spotřeby dodávána ZD Trhový Štěpánov za cenu 2,2 Kč/kWh.

p a r a m e t r	1995	1996	1997
výroba el.energie (kWh)	499122	540198	609276
vlastní spotřeba (kWh)	113265	114008	146408
dodávka pro ZD (kWh)	385857	426190	462868 .

Teplo z motoru je využíváno kromě vlastního procesu fermentace od července 1997 pro vytápění odchovu drůbeže. Ročně je zde v šesti turnusech odchováno po 13-ti tisících kusech drůbeže průměrné hmotnosti 2 kg, přičemž náklady na

otop jsou 1,5 Kč/kg živé hmotnosti. Další využití tepla je v sušárně kůží, kde se ročně ušetří 120000,- Kč za energii.

Ekonomické údaje

Celkové investiční náklady	17 740 000,- Kč
z toho : stavba	4 487 837,-
technologie	12 697 177,-
Náklady na materiál	138 912,- Kč/rok
opravy, údržba	61 863,- Kč/rok
odpisy HIM	940 467,- Kč/rok
mzdy,soc. a zdrav.pojištění	246 344,- Kč/rok
Náklady celkem	1 387 586,- Kč/rok.
Tržby	
skladování kejdy	180 000,- Kč/rok
výroba el. energie	1 018 310,- Kč/rok
výroba tepla	354 000,- Kč/rok
tržby celkem	1 552 310,- Kč/rok
náklady celkem	1 387 586,- Kč/rok
hrubý zisk	164 724,- Kč/rok

Uvedený zisk je možno dále zvýšit dalším využitím tepla, kterého je nadále přebytek. Předpokládá se další výstavba odchovny drůbeže na 40 tisíc kuřat.

U této bioplynové stanice je el.výkon kogenerační jednotky 142 kW a z celkových investičních nákladů připadá na stavební část 25,3 % . Rok realizace bioplynové stanice 1994.

11.1.2 Bioplynová stanice Společný podnik pro živočišnou výrobu s.r.o. Plevnice

Technologická linka je určena pro výrobu bioplynu anaerobní fermentací z kejdy, kterou produkuje stávající porodna prasat. Celkové množství zpracované kejdy je cca 27000 m³/rok. Uvedená technologická linka se sestává z následujících zařízení :

- Jedna betonová jímka na kejdu o objemu 30 m³ s příslušenstvím.
- Dvě sekce ocelových metanizačních nádrží na anaerobní zpracování kejdy o objemu 500 a 600 m³ včetně příslušenství. Celkový objem všech čtyř nádrží činí 2200 m³.
- 12 kusů ocelových nadzemních nádrží typu Vítkovice na fermentovanou kejdu o objemu 650 m³/kus včetně příslušenství.

Energoblok je umístěn do samostatné místnosti, která je situována ve zděném objektu, kde je umístěno celé technologické zařízení na úpravu plynu.

Zpracování kejdy a odpadů probíhá v nepřetržitém provozu, rovněž výroba el. energie je nepřetržitá. Na každé 12-ti hodinové směně jsou zaměstnáni 2 pracovníci.

Kejda je akumulována v betonové jínce, odkud se kalovým čerpadlem dopravuje vždy do jedné ze dvou sekcí metanizačních nádrží. Technologické teplo pro výrobu bioplynu je odebíráno z chladicí vody motoru z výměníku odcházejících spalin. Vzniklý plyn je shromažďován v horní části nádrží, odkud je odebírán k odsiřovacímu zařízení (3 kusy filtrů s náplní odsiřovací hmoty).

Vyčištěný plyn je přiváděn ke dvěma kogeneračním jednotkám. Jedna kogenerační jednotka představuje 100 % zálohu. Fermentovaná kejda se poté ukládá do 12 zásobních nádrží, odkud se vyváží dle potřeby na pole.

Základní technické údaje

• množství zpracované kejdy	65 - 77	m ³ /den
• produkce bioplynu	1600 - 1900	m ³ /den
• výhřevnost bioplynu	20 - 22	MJ/m ³
• výstupní tlak plynu z nádrží	2	kPa
• obsah H ₂ S v plynu	5	mg/m ³
• typ plynového motoru	6 S 160	GK
• el.výkon kogenerační jednotky	128	kW
• tepelný výkon kogenerační jednotky	212	kW.

Provozní údaje

Zařízení bylo dokončeno v listopadu 1993. V běžném provozu je od roku 1994.

parametr	1994	1995	1996
množství zpracované kejdy m ³ /rok	24433	25340	27708
vyrobena bioplynu m ³ /rok	580154	643870	619190
vyrobena el.energie kWh/rok	807859	888720	833714 .

Při 14000 provozních hodin byla provedena střední oprava plynových motorů, při které byly vyměněny písty, vložky, ventily a ložiska pánví. Jako motorový olej se používá ESSO, PX - 40, který se vyměňuje po 1500 hodinách provozu.

Ekonomické údaje

Provozní náklady za rok 1995 celkem	2 037 000 ,- Kč
z toho mzdy	957 000 ,- Kč
Materiál	188 000 ,- Kč
Ostatní náklady	892 000 ,- Kč
Odpisy (zrychlený odpis)	1 411 000 ,- Kč
Provozní náklady za rok 1996 celkem	1 954 000 ,- Kč
z toho mzdy	954 000 ,- Kč
Materiál	205 000 ,- Kč
Ostatní náklady	795 000 ,- Kč
Odpisy	1 022 000 ,- Kč .

ZD Plevnice je i výrobcem odsiřovací hmoty. Tato hmota je použita v případě této bioplynové stanice a dále je použita u dalších pěti provozovatelů bioplynových stanic.

11.2 Investiční náklady zpracované na základě obchodní nabídky

V roce 1997 vypracovala firma Vítkovice a.s., Divize ekologického strojírenství nabídku na bioplynovou stanici Halámky.

Vstupní materiál pro výrobu bioplynu

kejda prasat	objem	40 m ³ /den
	sušina	600 kg/den
	org.podíl	450 kg/den
drůbeží trus	objem	27 m ³ /den
	sušina	5400 kg/den
	org.podíl	3800 kg/den
ředící voda	objem	8 m ³ /den .

Projektované parametry :

teplota fermentačního procesu	40 °C	
produkce bioplynu	2800 - 3000 m ³ /den	
výhřevnost bioplynu	21,5 - 22 MJ/m ³	
denní produkce el. energie	4700 - 5000 kWh	
denní produkce tepelné energie	8100 - 8700 kWh	
odvodněná vyhnílá kejda	sušina	25 %
	objem	15 m ³ /den

orientační složení vyhnílé kejdy

- průměrná sušina	5 %
- celkový dusík	6,4 g/l
- celkový fosfor	1,75 g/l
- celkový draslík	2,0 g/l.

Technický popis řešení

Kejda z jednotlivých zdrojů se shromažďuje v betonové jímce o obsahu 100 m³ osazené dvěma ponornými čerpadly a míchadlem. Do jímky se naváží slepičí trus a přivádí se ředící voda. Směs se rozmíchává míchadlem.

Dále se kejda čerpá do strojovny bioreaktoru, kde se předeřívá ve spirálovém výměníku voda - kal na provozní teplotu reaktoru. Výměník je otápěn částí teplé vody ohřáté při chlazení kogeneračních jednotek. Strojovna obsahuje veškerá potrubí, pojistné orgány a kompresory pro míchání obsahu bioreaktorů plynem.

Dvojice fermentačních reaktorů je provedena ze smaltovaných plechů a každý reaktor má pracovní objem kejdy 1000 m³. V zastřešeném prostoru mezi reaktory je strojovna a zakryté schodiště. Reaktory jsou kompletně zaizolované.

Vyrobený bioplyn se shromažďuje v suchém plynojemu o kapacitě 1000 m³. Před využitím se bioplyn čistí a odsiřuje. Přebytek bioplynu je možno spalovat v hořáku zbytkového plynu, který je vybaven protišlehovou pojistkou, sledováním zapalovacího plamene a elektromagnetickým ventilem. Uvádí se v činnost vždy při výpadku kogeneračních jednotek.

Provozní budova je rozdělena na velín s elektrocentrálou, energetické centrum a prostor pro odvodňování kalu. Ve velínu je soustředěno měření a regulace pro řízení procesu metanizace a výrobu el.energie.

V energetickém centru jsou instalovány dvě kogenerační jednotky ČKD Hořovice typu GEB 120, každá s elektrickým výkonem 96 kW a tepelným výkonem (voda 90 °C) 165 kW, při spotřebě bioplynu 57 m³/hod. Každá jednotka má vlastní el.rozvaděč, který je vybaven automatikou fázování, zpětnou wattovou ochranou a stabilizátorem napětí. Zdrojem stejnosměrného proudu pro startování motorů budou akumulátory s vlastním rozvaděčem pro nabíjení.

Vyhnilá kejda se odvodňuje na odstředivce umístěné v provozní budově. Kalová voda se shromažďuje v betonové jímce , osazené dvěma ponornými čerpadly. Odtud se fugát čerpá do nadzemních nádrží ze smaltovaných plechů o celkovém obsahu 5400 m³, což postačuje na provoz v délce 90 dnů bez vypouštění a splňuje tak požadavek MZ ČR.

Investiční náklady dle předložené nabídky

technologická část bioplynové stanice	27 115 000,- Kč bez DPH
stavební část bioplynové stanice	8 500 000,- Kč bez DPH

C E L K E M bez DPH	35 615 000,- Kč

Z předložené obchodní nabídky a uvedených provozních a investičních nákladů, již provozovaných bioplynových stanic, je možno vycházet při hrubé finanční rozvaze. Přesnější údaje je však opět nutno ověřit formou konkrétní nabídky na zařízení, které chceme v praxi realizovat pro dané místní podmínky.

Budeme li vycházet z celkových investičních nákladů na bioplynovou stanici a denní produkce bioplynu (z níž lze usuzovat na velikost biostanice) pak vychází následující měrné náklady :

bioplynová stanice Trhový Štěpánov	bioplynová stanice Halámky
cenová hladina z roku 1994	cenová hladina z roku 1997
investice 17 740 000,- Kč	investice 35 615 000,- Kč
produkce bioplynu za den 1000 m ³	produkce bioplynu za den 2900 m ³
17 740 000	35 615 000
----- = 17 740,-Kč /m ³	----- = 12 281,-Kč/m ³
1000	2900

Z uvedených hodnot je patrné, že se zvětšujícím se výkonem bioplynové stanice klesají i měrné náklady. Současně v porovnání cen hraje úlohu i doba výstavby.

Od roku 1994 do roku 1997 se rozhodně projevila inflace ale i vývoj cen zařízení od ceny prototypu po cenu standardního výrobku. Pro hrubou orientaci lze v současné době kalkulovat s investiční cenou v rozmezí :
12000 až 14000 Kč/m³ denní produkce bioplynu. Nižší hodnota odpovídá větším bioplynovým stanicím.

Pro tepelné bilance využití tepla z kogeneračních jednotek je nutno uvažovat s tím, že z celkové roční produkce tepla případně cca 42 % na vlastní spotřebu pro vytápění fermentačních reaktorů. Se zbytkem tepla je pak možno uvažovat pro vytápění, přípravu TUV a případně další obchodní aktivity provozovatele bioplynové stanice. Je nutno si však uvědomit, že uvedená vlastní spotřeba tepla ve výši 42 % nebude celoročně rovnoměrně rozložena. Vyšší spotřeba tepla bude v zimním období, kdy teplotový rozdíl (mezi provozní teplotou ve fermentoru a teplotou okolí) bude podstatně vyšší než v letním období.

11.1 Možnosti využití vyhnílého kalu

Zpracováním exkrementů hospodářských zvířat, popř. i ve směsi s podestýlkou, zbytky krmiv a bioodpadů, se vytvářejí dva základní produkty, a to vyhnílý (vyfermentovaný) kal, nebo hnůj a bioplyn. Při zpracování chlévské mrvy vzniká velice hodnotné hnojivo všestranně použitelné v zemědělství.

Složitější je problematika využití vyhnílého kalu po fermentaci kejdy prasat a skotu. U zemědělských farem, které mají dostatek ploch polností je možno tento kal používat jako hnojivo. V oblastech, kde je problematické využívání tekutých organických hnojiv, tam lze použít separaci tohoto kalu na tuhou a tekutou složku. Tuhou část je možno kompostovat a případně pytlovat k dalšímu komerčnímu účelu. Tekutou část lze dočistit chemickými, nebo biologickými metodami, nebo ji lze použít jako zálivku.

V ekonomických úvahách o hospodárnosti provozu bioplynové stanice je nutno zvažovat i použití vzniklých hnojiv pro komerční účely.

12. Doporučený návrh postupu realizačního záměru na výstavbu bioplynové stanice

Již při zpracování podkladů pro vypracování nabídky je nutno provést následující :

- Bilanci odpadů, které budou představovat vstupní materiál pro bioplynovou stanici.
- Provést chemický rozbor odpadů (obsah sušiny, rozložitelné organické látky, předpokládaná koncentrace H_2S v bioplynu a pod.) , aby bylo možno rozhodnout zda nebude nutno dovážet další bioodpady pro nutnou úpravu obsahu sušiny.
- Provést bilanci spotřeby tepelné a el. energie provozovatele biostanice a zjistit případné možnosti dodávky tepla a el. energie okolním odběratelům. Velkou pozornost je nutno věnovat bilanci spotřeby tepla v mimotopné sezóně.
- Na základě provedené bilance spotřeby tepla a el. energie přistoupit k návrhu velikosti kogenerační jednotky. Rovněž je nutno zvážit na základě denní produkce bioplynu, spotřeby bioplynu pro kogenerační jednotky možnost využití sušáren řeziva, nebo případných jiných doplňkových aktivit. Uvedené aktivity by měly přispět k zajištění a zrovnoměrnění celoročního odběru tepla.
- Na základě chemických rozborů zhodnotit zda bude nutno bioplyn odsiřovat, nebo ne.

Ze zjištěných údajů je teprve možno sestavit požadavky na dodavatele technologické části zařízení a nechat si od něj vypracovat cenovou nabídku na dodávku a montáž.

S ohledem na předpokládaný rozsah stavby , dle dodavatele technologické části stavby, je možno si vyžádat nabídku na realizaci stavební části.

Po obdržení a vyhodnocení cenových nabídek na technologickou a stavební část je možno teprve přikročit k ekonomickému vyhodnocení celé stavby. Jedná se především o kalkulaci výroby tepla v Kč/GJ a el. energie v Kč/kWh při ekonomicky přijatelné době návratnosti vynaložených finančních prostředků.

Do ekonomických úvah je nutno zahrnout i možný odprodej hnojiv, která vznikají jako vedlejší produkt při výrobě bioplynu.

Na základě odborně provedených technických a ekonomických rozborů je pak teprve možno zodpovědně přikročit k realizačnímu záměru stavby bioplynové stanice s využitím kogenerace.

13. Ekologické požadavky kladené na využívání bioplynu

Pro kombinovanou výrobu tepla a elektrické energie z bioplynu přichází v úvahu následující řešení :

- spalování bioplynu v parním kotli s využitím páry v parní turbině, nebo parním motoru
- spalování bioplynu v pístovém plynovém motoru
- spalování bioplynu v plynové turbině.

S ohledem na uvedené tři hlavní možnosti kombinované výroby tepla a el. energie jsou ekologické požadavky (platné emisní limity) uváděny vždy pro daný způsob použití bioplynu. Emisní limity jsou stanoveny vyhláškou MŽP č. 117 ze dne 12. května 1997.

13.1 Emisní limity pro spalování bioplynu v kotli na plyná paliva

instalovaný tepelný výkon MW _t	emisní Limit Mg/Nm ³ pro					Referen. O ₂ %
	tuhé látky	SO ₂	NO ₂	CO	C	
0,2	50	900	200	100	nestan.	3

13.2 Emisní limity pro spalování bioplynu v kogenerační jednotce s pístovým spalovacím motorem

tepelný příkon MW _t	emisní Limit Mg/Nm ³ pro					Referen. O ₂ %
	tuhé látky	SO ₂	NO ₂	CO	C	
0,2 1)	130 2)	3)	2000 4) 4000 5) 500 6)	650	150 7)	5 8)

odkazy :

- 1) kogenerační jednotky jsou tříděny podle příkonu
- 2) při použití kapalných paliv
- 3) při použití plyných paliv nesmí být celkový obsah síry v palivu vyšší než 2200 mg/m³ v přepočtu na obsah metanu, respekt. 60 mg/MJ tepla , přivedeného v palivu

- 4) u vznětových motorů s tepelným příkonem vyšším než 5 MW
- 5) u vznětových motorů s tepelným příkonem do 5 MW včetně
- 6) u zážehových motorů
- 7) úhrnná koncentrace všech látek s výjimkou metanu při hmotnostním toku vyšším než 3 kg/h
- 8) pro oxid uhelnatý a oxidy dusíku platí emisní limit pro suchý plyn, pro tuhé znečišťující látky a organické látky platí pro vlhký plyn .

13.3 Emisní limity pro spalování bioplynu v plynové turbíně

objemový tok spalin m ³ /h	emisní Limit v Mg/m ³					Referen. O ₂ %
	tuhé látky	SO ₂	NO ₂	CO	C	
60000	100	1700	350	100	nestan.	15
60000	50	1700	300	100	nastan.	15

Z uvedených tabulek je patrné, jaké emisní limity je nutno dodržovat při daném konkrétním způsobu využití bioplynu pro kombinovanou výrobu tepla a el. energie v kogeneraci.

14. Závěr o využití bioodpadů pro kogenerační jednotky

Jak již vyplynulo z předchozích kapitol představuje využití kogeneračních jednotek perspektivní směr kombinované výroby tepla a el. energie. Tento způsob výroby představuje značnou úsporu paliva oproti monovýrobě tepla a el.energie. Úspora paliva se pozitivně promítá nejenom do ekonomie provozu těchto zařízení, ale má značný vliv i na ekologii. Úspora paliva představuje snížení emisí škodlivin do ovzduší při současném zachování výrobního potenciálu tepla a el.energie.

Využití bioodpadů představuje obnovitelný zdroj energie, který nezvyšuje koncentraci CO₂ v atmosféře. V současné době na tento přínos není zatím brán ekonomický zřetel, ale se vstupem do EU bude pohled na tuto problematiku (v důsledku celosvětové problematiky snižování koncentrace CO₂) preferován i finančně.

Výroba bioplynu z exkrementů pocházejících z živočišné výroby, kterou je účelné vhodně doplňovat dalšími druhy bioodpadů, aby byly docíleny optimální podmínky pro průběh fermentačního procesu, řeší nejenom likvidaci nepříjemných odpadů, ale současně poskytuje energetický přínos.

Hospodárnost a dokonalé využití bioplynové stanice však závisí na mnoha faktorech, které jsou v předloženém produktu detailně probírány. Především se jedná o maximální možné využití tepla, které doprovází výrobu el.energie. Odběr el.energie není tak problematický jako zajištění odběru tepla a to především v době po ukončení topné sezóny. Aby byla kogenerační jednotka maximálně využita je nutno najít řešení pro její provoz na jmenovité parametry i v mimotopné sezóně. El. energii je možno dodávat pro vlastní spotřebu, nebo do veřejné el. sítě. Pro tepelnou energii je však nutno hledat odbyt i formou „přidružené výroby „ jako je např. provoz sušáren řeziva a pod. Tato doprovodná činnost nejenom přispěje ke zrovnoměření ročního odběru tepla, ale může současně ovlivnit ekonomii provozu bioplynové stanice a to dosti podstatně.

Pro komerční účely je možno dále využít zbytky po fermentaci bioodpadů, které představují kvalitní hnojivo pro zemědělství.

Z uvedeného je patrné, že využití bioodpadů v kombinaci s fermentačním reaktorem a kogenerační jednotkou představuje perspektivní cestu při kombinované výrobě el. energie a tepla.

Seznam použité literatury

- L 1 Zásobování teplem a teplárenství
Ing.Dr.Josef Vlach, DrSc. a kolektiv
SNTL - Nakladatelství technické literatury
Praha 1989
- L 2 Energie v zemědělství
Ing.Stanislav Haš,CSc. a kolektiv
Státní zemědělské nakladatelství
Praha 1985
- L 3 Technický průvodce Parní kotle
Doc.Ing.V.Černý, DrSc. a kolektiv
SNTL
Praha 1983
- L 4 Fyzikální vlastnosti plyných látek
Vladimír Kmoníček, František Slepíčka, Štefan Veis
Československá akademie věd
Praha 1973
- L 5 Optimální aplikace kombinované výroby tepla a elektrické energie
Ing.Evžen Příbyl, Ing.Václav Šrámek, Zuzana Soukupová
RAEN s.r.o. , Praha 1997
- L 6 Prospektové materiály výrobců bioplynových stanic, plynových motorů,
parních a plynových turbin, parních kotlů a parního stroje
- L 7 Studie kotelny na spalování bioplynu pro reprodukční stanici vepřů
- Halámky
Doc.Ing.K.Trnobranský,CSc.
TK - Therm , 1997
- L 8 Vyhláška Ministerstva životního prostředí č. 117 / 1997
Emisní limity a další podmínky provozování stacionárních zdrojů
znečišťování a ochrany ovzduší .