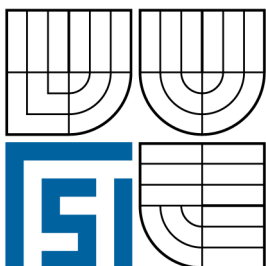


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL
ENGINEERING

NÁVRH ZAŘÍZENÍ PRO TERMOMECHANICKOU PŘEDÚPRAVU BRO

DESIGN OF EQUIPMENT FOR THERMOMECHANICAL PRE-TREATMENT
OF BIODEGRADABLE WASTE

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Bc. IVO KOLAŘÍK

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. ZDENĚK BEŇO

BRNO 2011

ABSTRAKT

Hlavním cílem této diplomové práce je vypracování konstrukčního návrhu zařízení pro termomechanickou předúpravu biologicky rozložitelných odpadů. Důležitým aspektem při návrhu je zohlednění platné legislativy určující hygienické podmínky předupraveného biologicky rozložitelného materiálu, který dále slouží jako vstupní surovina pro výrobu bioplynu. Zařízení tedy bude využíváno ke sledování vlivu termomechanické předúpravy biodegradabilního odpadu na výtěžnost bioplynu.

V teoretické části práce jsou uvedeny jednotlivé metody zpracování a využití biodegradabilních odpadů se zaměřením na kuchyňské odpady a kaly z čistíren odpadních vod. Dále jsou popsány procesy anaerobního rozkladu biodegradabilních materiálů a technologie, jejichž základním úkolem je intenzifikace anaerobního rozkladu organických materiálů. Další část popisuje jednotlivé faktory, které mohou ovlivňovat stabilitu procesu tvorby bioplynu. S tím také souvisí výtěžnost a chemické složení bioplynu. Klíčovou částí diplomové práce je vyhotovení výkresové dokumentace zařízení a přibližný výpočet ohřevu suspenze.

ABSTRACT

The main objective of this master's thesis is to develop design equipment for thermomechanical pre-treatment of biodegradable waste. An important aspect of the design is taking into account current legislation, sanitary conditions for determining the pre-treated biodegradable material, which also serves as a raw material for biogas production. So the device will be used to monitor the impact of thermomechanical pre-treatment of biodegradable waste for biogas recovery. The following describes the processes of anaerobic decomposition of biodegradable materials and technology, whose main task is intensification of anaerobic decomposition of organic materials.

The theoretical work are given various methods of processing and utilization of biodegradable wastes, focusing on kitchen waste and sludge from sewage plants. The next section describes the various factors that may affect the stability of the process of biogas generation. This also results in yield and chemical composition of biogas. A key part of this master's thesis is to develop technical documentation and an approximate calculation of the hot slurry.

KLÍČOVÁ SLOVA

Anaerobní digesce, anaerobní fermentace, biologicky rozložitelný odpad, bioplyn, bioplynová stanice, čistírna odpadních vod, drtič odpadu, kaly z ČOV, kuchyňský odpad, zákon o odpadech,

KEY WORDS

Anaerobic digestion, anaerobic fermentation, biodegradable waste, biogas, biogas plant, sewage plant, waste disposer, sludge from sewage treatment, kitchen waste, law on waste.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOLAŘÍK, I. *Návrh zařízení pro termomechanickou předúpravu BRO*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 54 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Zdeněk Beňo.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Návrh zařízení pro termomechanickou předúpravu BRO vypracoval samostatně pod vedením Ing. Zdeňka Beňo a všechny použité literární zdroje jsem úplně a správně citoval.

V Brně dne 27. května 2011

.....
podpis

PODĚKOVÁNÍ

Touto cestou bych rád poděkoval panu Ing. Zdeňku Beňovi za odborné vedení, cenné připomínky a rady poskytnuté během vypracovávání diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat kolektivu odborníků z ústavu procesního inženýrství za neméně významné konzultace a v neposlední řadě také celé mé rodině za finanční a psychickou podporu během studia.

OBSAH

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK	11
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ	12
ÚVOD	13
1 METODY NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝMI ODPADY	15
1.1 Způsoby nakládání s biologicky rozložitelnými odpady	17
1.2 Kuchyňský odpad	19
1.3 Kaly z čistíren odpadních vod	21
2 PRINCIPY ANAEROBNÍHO ROZKLADU	25
2.1 Technologie výroby bioplynu	28
2.2 Stabilita procesu výroby bioplynu	32
2.3 Chemické složení bioplynu	34
2.4 Výtěžnost bioplynu	35
3 NÁVRH ZÁŘÍZENÍ PRO TERMOMECHANICKOU PŘEDÚPRAVU BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ	36
3.1 Hygienická pravidla	37
3.1.1 Návrh hygienizační nádoby	38
3.1.2 Úprava dezintegračního zařízení	40
3.1.3 Návrh víka nádoby	42
3.1.4 Návrh míchadla	45
3.2 Výpočet příkonu míchadla	48
3.3 Výpočet ohřevu suspenze	50
4 ZÁVĚR	51
POUŽITÁ LITERATURA	52
SEZNAM PŘÍLOH	54

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

zkratka	význam
BPS	Bioplynová stanice
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad
BRO	Biologicky rozložitelný odpad
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
EP	Evropský parlament
ES	Nařízení evropského parlamentu a rady
EU	Evropská unie
CHSK	Chemická spotřeba kyslíku
MŽP	Ministerstvo životního prostředí
OH	Odpadové hospodářství
OZE	Obnovitelný zdroj energie
POH	Plán odpadového hospodářství
TKO	Tříděný komunální odpad
VŽP	Vedlejší živočišné produkty

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ

symbol	význam	jednotka
A	Plocha výměny tepla	m ²
a	Šířka mezitrubkového prostoru	m
α_s	Součinitel přestupu tepla suspenze	W/m ² K
α_v	Součinitel přestupu tepla vody	W/m ² K
b	Výška mezitrubkového prostoru	m
d	Průměr míchadla	m
c_{p_v}	Měrná tepelná kapacita vody	J/(kgK)
c_{p_s}	Měrná tepelná kapacita suspenze	J/(kgK)
d_1	Průměr nádoby	m
De_v	Ekvivalentní průměr duplikátoru	m
η_s	Dynamická viskozita suspenze	Pa.s
η_v	Dynamická viskozita vody	Pa.s
H	Výška kapaliny v nádobě	m
H_2	Vzdálenost míchadla od dna nádoby	m
k	Součinitel prostupu tepla	W/m ² K
λ_s	Tepelná vodivost suspenze	W/mK
λ_v	Tepelná vodivost vody	W/mK
m_s	Hmotnost suspenze	kg
m_v	Průtok vody v duplikátoru	kg/h
n_L	Počet lopatek míchadla	-
n_m	Počet otáček míchadla	s ⁻¹
Nus	Nusseltovo kritérium pro míchání	-
P	Příkon míchadla	W
Prh	Prandtlovo kritérium	-
Po	Příkonové kritérium	-
ρ_s	Hustota suspenze	kg/m ³
ρ_v	Hustota vody	kg/m ³
Reh	Reynoldsovo kritérium	-
Rey ₁	Reynoldsovo kritérium pro míchání	-
S_v	Průtočný průřez v duplikátoru	m ²
t	Doba ohřevu náplně	s
T_L	Teplota vyhřívací tekutiny	°C
t_h	Doba ohřevu náplně	h
T_1	Počáteční teplota suspenze	°C
T_2	Požadovaná teplota suspenze	°C
u_v	Rychlost toku média v duplikátoru	m/s

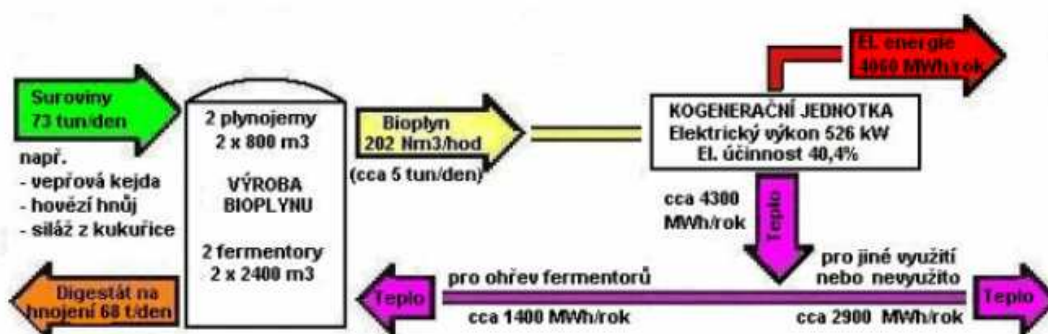
ÚVOD

Vstupem České republiky do Evropské unie se zásadně změnil přístup státu k požadavkům na zlepšení životního prostředí. Jestliže před vstupem se správný přístup deklaroval a částečně naplňoval, vstupem bylo nutné sjednotit platnou legislativu ČR a EU a začít se touto legislativou řídit.

Jednou z oblastí, která tím byla významně ovlivněna, je odpadové hospodářství (dále OH). Několikrát novela zákona o odpadech je důkazem toho, že tato problematika je velmi aktuální a její význam stále důležitější. Z oblasti OH se vyčleňuje část týkající se nakládání s biologicky rozložitelnými odpady (dále BRO), pro které byly vypracovány samostatné realizační programy navazující na plán odpadového hospodářství (dále POH) České republiky. Existuje řada způsobů, jak vhodně přetvářet BRO na dále využitelné produkty (výroba elektrické energie, hnojiva). Záměrem je vždy BRO neodstraňovat, ale využívat. [4]

Současná energetická situace ve světě, Českou republiku nevyjímaje, se vyznačuje vysokou poptávkou po energiích a s tím souvisejícím silným nárůstem cen. Tento stav může být rozhodujícím momentem pro investory, kteří chtějí na této situaci profitovat a využít co nejvíce investičních pobídek při realizaci provozování technologických zařízení na výrobu energií z obnovitelných zdrojů. Jednou z možností, které by mohly přispět k rychlejšímu rozvoji obnovitelné energetiky v ČR, je bioplyn produkovaný v bioplynových stanicích s kogenerační jednotkou, viz obr.1. [1], [3]

Velkou předností bioplynových stanic obecně je poměrně malá spotřeba dostupných obnovitelných vstupních surovin. K výrobě bioplynu lze využít celou řadu biologicky rozložitelných odpadů. Využitelnost výstupních produktů elektřiny, tepla, hnojivého digestátu a i samotného bioplynu je obecně dobrá. Při současné technické úrovni zařízení a řídicí techniky je provoz bioplynových stanic poměrně jednoduchý. Z tohoto důvodu může s úspěchem bioplynové stanice provozovat celá řada malých provozovatelů, jednotliví zemědělci, obce, čistírny odpadních vod, společnosti pro nakládání s odpady a další. [3]



Obr.1 Standardní uspořádání bioplynové stanice [3]

Přirozený proces rozkladu organických látek bez přístupu vzduchu za vzniku bioplynu byl znám již ve středověku. První experimenty využití bioplynu ke svícení údajně prováděl Leonardo da Vinci a vlámský vědec Van Helmont. Za objevitele řízené anaerobní digesce je však považován italský fyzik Alessandro Volta, který již v roce

1776 provozoval první laboratorní anaerobní fermentor. První využití bioplynu k ohřevu vody se uvádí na čistírně odpadních vod (dále ČOV) v nemocnici v Bombay v roce 1897. K rozvoji anaerobních technologií dochází až ve 20. století, a to zejména při anaerobní stabilizaci čistírenských kalů. V roce 1922 ČOV v Essenu předává bioplyn do městské plynárny a v témže roce je uskutečněno první použití upraveného bioplynu jako motorového paliva. [2]

V současné době nastává velký rozvoj produkce a využívání bioplynu na celém světě. Bioplyn vzniklý přetvořením nepotřebného produktu (odpad) je v dnešní době stále více využíváný, především pro kogenerační výrobu elektrické energie a tepla. Získávání obnovitelné energie tímto způsobem je považováno za aktivní ochranu klimatu. [2]

1 METODY NAKLÁDÁNÍ S BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝMI ODPADY

Do BRO náleží odpady, které podléhají aerobnímu nebo anaerobnímu rozkladu. Jde o kvantitativně významnou skupinu odpadů představující přibližně pětinu veškeré produkce odpadů v ČR. Jedná se zejména o odpady zemědělské, lesnické, potravinářské, papírensko - celulózářské, ze zpracování dřeva, kůží, textilního průmyslu, patří sem i biologicky rozložitelné komunální odpady (dále BRKO) včetně odpadů ze zeleně, dále čistírenské a vodárenské kaly a biologicky rozložitelný obalový odpad. Tato skupina odpadů představuje v ČR (podle statistických výkazů) cca 7 mil. tun biologicky rozložitelných odpadů ročně. [4]

Environmentální dopad BRO i BRKO je výrazně negativní. Bioodpady mohou způsobovat tvorbu skleníkových plynů, kyselých výluhů při hydrologických procesech a mohou případně ohrožovat zdraví lidí a zvířat výskytem patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů. Ukládání BRKO na skládkách ovlivňuje antropogenní skleníkový efekt a klimatické změny planety. Je nutné skládkování BRO a BRKO výrazně omezovat a hledat cesty pro jejich materiálové nebo energetické využití. [4]

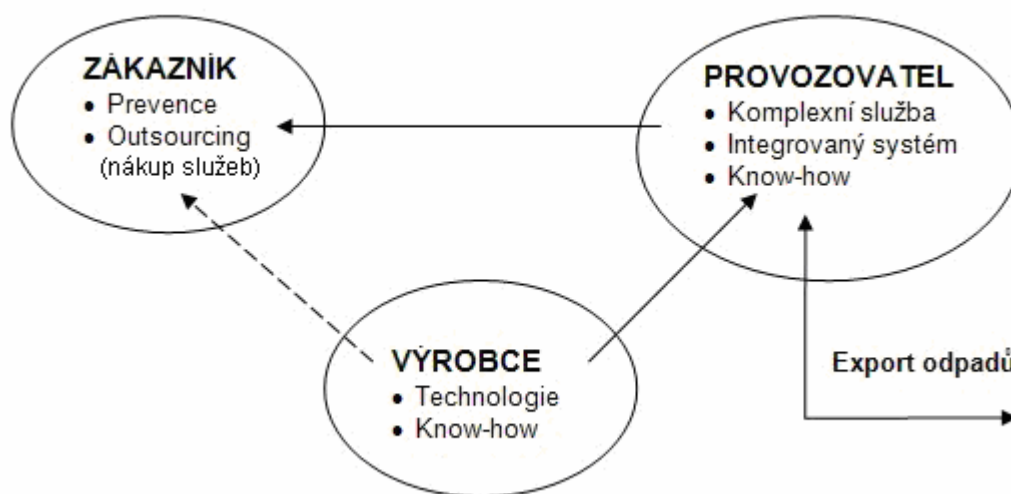
Vyplývá to také ze Směrnice Rady 99/31/EC "o skládkování odpadů", která je implementovaná v české legislativě odpadů. Ministerstvo životního prostředí vydalo metodický návod k upřesnění vybraných ustanovení týkajících se BRO ve stávajících právních předpisech, zejména pak v zákoně č. 185/2001 Sb. o odpadech, v platném znění, ve vyhlášce č. 341/2008 Sb. o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady a o změně vyhlášky č. 294/2005 Sb., o podmínkách ukládání odpadů na skládky a jejich využívání na povrchu terénu a změně vyhlášky č. 383/2001 Sb., o podrobnostech nakládání s odpady (vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady), dále jen vyhláška č. 341/2008 Sb., v zákoně č. 156/1998 o hnojivech, v platném znění a v nařízení (ES) č. 1069/2009, kterým se stanoví hygienická pravidla týkající se vedlejších produktů živočišného původu a získané produkty, které nejsou určeny k lidské spotřebě a o zrušení nařízení (ES) č. 1774/2002 (nařízení o vedlejších produktech živočišného původu). [6]

Metodický návod o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady dále uvádí požadavky zákona o hnojivech vztahující se k uvádění kompostů a digestátů do oběhu a základní požadavky na provoz zařízení na zpracování BRO v případech, kdy jsou zpracovávány vedlejší živočišné produkty (dále VŽP). [6]

V sortimentu BRO jsou i odpady nebezpečné uvedené v Seznamu nebezpečných odpadů prováděcího předpisu (Vyhláška č. 381/2001 Sb. - Katalog odpadů), nebo jakýkoliv odpad vykazující jednu nebo více nebezpečných vlastností uvedených v příloze zákona o odpadech. Patří sem veškeré odpady, na jejichž sběr a odstraňování jsou kladeny zvláštní požadavky s ohledem na prevenci infekce, čistírenské kaly s obsahem nebezpečných látek, veterinární bioodpady apod. Velmi často se vyskytuje u BRO jako nebezpečná vlastnost infekčnost. S touto vlastností můžeme definovat odpady, které obsahují životaschopné mikroorganismy, nebo jejich toxiny a další infekční agens s dostatečnou virulencí v koncentracích nebo množstvích, o nichž je známo nebo spolehlivě předpokládáno, že způsobují onemocnění člověka nebo jiných živých organismů. Mezi nebezpečné infekční bioodpady patří část produkce čistírenských kalů, ale též část produkce zvířecích fekálií a podestýlek v živočišné výrobě v zemědělství. Speciální způsoby nakládání vyžadují i další vedlejší

produkty živočišného původu, kam patří jateční odpady, kafilerní odpady, kuchyňské odpady a za určitých okolností i hnůj a kejda. [4]

Konec 20. století a začátek 21. století je ve znamení prudkého technologického rozvoje nových environmentálních postupů a technologií zvyšujících efektivitu nakládání s odpady. Výzkum a vývoj těchto postupů a technologií dosáhl rozsahů srovnatelných s ostatními průmyslovými obory. V čele tohoto procesu kráčí moderní legislativa, která je v zemích Evropské unie založena na jednoduchém schématu patrný z obr. 1.1, podporujícím preventivní postupy a systémy zpětného materiálového a energetického využití. Pro zbytkový odpad pak technologie bezpečného odstranění. Současně tato legislativa podporuje princip blízkosti (nakládání s odpady přednostně v místě jejich vzniku). [5]



Obr. 1.1 Profesionalizace přístupu k řešení odpadového hospodářství [5]

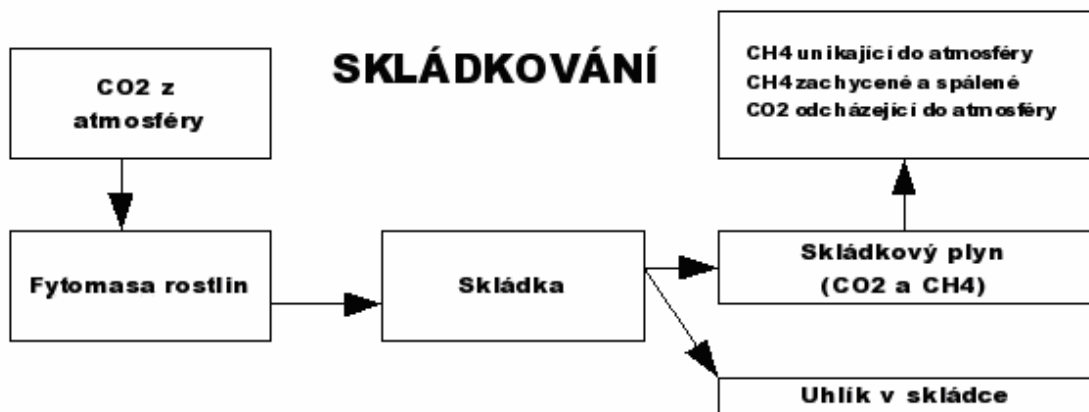
Zákazník - původce odpadů (průmyslový podnik, živnostník, služby, město, obec, atd.) se soustředí na svoji základní činnost, tedy výrobu, či poskytování služby, která je jeho hlavním úkolem. Ve své každodenní praxi uplatňuje preventivní a proaktivní přístup k řešení odpadového hospodářství, přičemž může využívat poskytované „know-how“. Vyžaduje „outsourcing“ (nákup služeb mimo podnik) ostatních vedlejších procesů služeb tak, aby jeho vývoj a rozvoj byl zaměřen pouze na jeho primární činnosti.

Výrobce - specializuje se na vývoj a výrobu ojedinělých druhů postupů a technologií pro nakládání s odpady. U těchto však převládá jejich velká variabilita (daná potřebami ojedinělosti každého případu) nad trvalou unifikací. Hlavními zákazníky pak nejsou převážně původci odpadů, ale provozovatelé systémů odpadového hospodářství v dané komoditě nebo ohraničeném regionu.

Provozovatel - specializovaný poskytovatel služeb v odpadovém hospodářství pro původce. S ohledem na zvýšení efektivnosti svých služeb je nucen integrovat své aktivity do komplexně provázaného systému. Nové logistické možnosti, zvyšující se náklady na moderní sofistikované technologie a částečné otevření hranic států pro pohyb vybraných druhů odpadů mu umožňují lepší zhodnocení jeho aktivit prostřednictvím vývozu těchto vybraných druhů odpadů. [5]

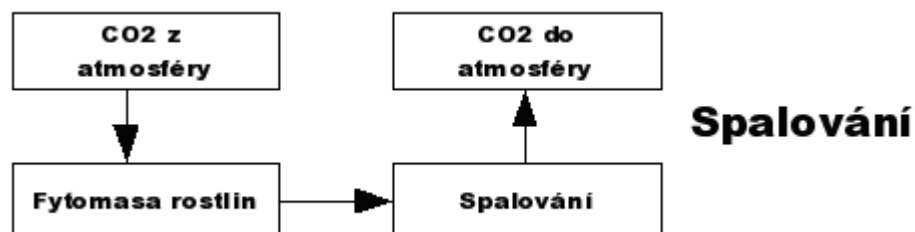
1.1 Způsoby nakládání s biologicky rozložitelnými odpady

SKLÁDKOVÁNÍ - Jedním ze způsobů jak docílit požadované snížení množství odpadů ukládaných na skládky je zavedení systému separace a následného využívání BRKO. Biologicky rozložitelný podíl komunálního odpadu ukládaný na skládky musí být postupně omezován v souladu s harmonogramem stanoveným v programu odpadového hospodářství ČR a krajů (tj. snížit tento podíl do roku 2010 na 75 %, do roku 2013 na 50 % a do roku 2020 na 35 % celkového množství (hmotnosti) biologicky rozložitelného komunálního odpadu vzniklého v roce 1995). Cílem zákonodárců je snížit množství biologickým rozkladem uvolnitelného uhlíku ukládaného na skládky a tento materiál z části přeměnit na oxid uhličitý a z části vrátit zpět do půdy - nejlépe ve formě stabilního humusu, který je zárukou, že uhlík zůstane dlouhodobě uložen v půdě a nebude přispívat ke skleníkovému efektu. [7], [8] Jednoduché schéma je patrné z obr. 1.2.



Obr. 1.2 Toky uhlíku při skládkování biologicky rozložitelných odpadů [9]

Spalování - Se spalováním komunálního odpadu je spojena řada výhod i nevýhod. Jako výhodné se jeví spalování spojené s výrobou tepla a elektřiny z odpadu, který by byl jinak skládkován. Nevýhodou je ztráta koloběhu látek, které jsou pro přírodu prospěšné. Také postup čištění spalin je nákladný a musí splňovat mnoho kritérií. Schéma toku uhlíku při spalování je zobrazen na obr. 1.3.



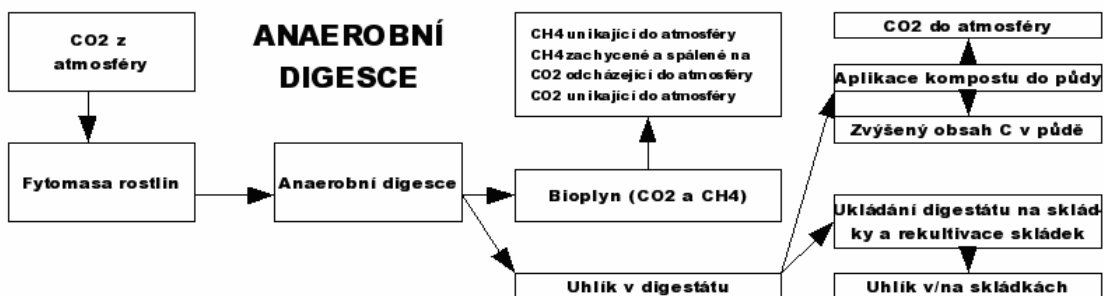
Obr. 1.3 Toky uhlíku při spalování biologicky rozložitelných odpadů [9]

Kompostování - Kompostování viz. obr. 1.4 je prověřená, environmentální technologie, která umí zpracovat drtivou většinu rostlinných biologicky rozložitelných materiálů. Je to technologie, která na jedné straně vezme z přírody suroviny a na straně druhé je do přírody po transformaci zase vrátí. [10]



Obr. 1.4 Toky uhlíku při kompostování biologicky rozložitelných odpadů [9]

Anaerobní fermentace - Nejrozšířenější způsob anaerobního zpracování biologicky rozložitelných látek je u nás dlouhá léta provozován ve velkých čistírnách odpadních vod jako doprovodný proces. Primární a aktivovaný kal jsou čerpány do vyhnívacích nádrží a vzniklý bioplyn je spalován v teplovodních kotlích nebo nověji v kogeneračních jednotkách. Stejný anaerobní proces (tzv. fermentace) probíhá i v bioplynových stanicích, viz. obr. 1.5. Rozdíl je však v tom, že u ČOV je bioplyn pouhým energetickým přílepkem, kdežto bioplynové stanice (BPS) musí být zcela rentabilní. Rentabilita bioplynové stanice závisí na vstupní surovině, technologickém procesu a hlavně na způsobu využití energie bioplynu.[8]



Obr. 1.5 Toky uhlíku při anaerobní digesci biologicky rozložitelných odpadů [9]

1.2 Kuchyňský odpad

1. května 2004, kdy ČR stoupila do Evropské unie, začalo platit nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1774/2002. Pozdější novelizace nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009 vstupující v platnost ode dne 4. března 2011 dělí organické materiály do tří kategorií dle hygienických rizik.

Mezi materiály **1. kategorie** patří:

- kuchyňský odpad z dopravních prostředků v mezinárodní přepravě;
- materiály obsahující části těl včetně kůží zvířat (podezřelých z nákazy, jiných než hospodářských zvířat, pokusných zvířat a volně žijících zvířat);
- produkty vyrobené ze zvířat, kterým byly podávány zakázané látky dle směrnice 96/22/ES.

Mezi materiály **2. kategorie** patří:

- hnůj a obsah trávícího traktu;
- veškeré živočišné materiály shromážděné při čištění odpadních vod nebo ze zpracovatelských závodů 2. kategorie včetně odpadu zachyceného na česlech, sítích a lapačích písku, směsí tuků a olejů, kalů a materiálů z kanalizace těchto provozů.

Mezi materiály **3. kategorie** patří mimo jiné:

- vedlejší živočišné produkty vznikající při výrobě produktů určených k lidské spotřebě, včetně odtučněných kostí a škvarků;
- zmetkové potraviny živočišného původu nebo zmetkové potraviny obsahující produkty živočišného původu s výjimkou kuchyňského odpadu, které z obchodních důvodů, z důvodů závady při výrobě nebo balení nebo jiné závady nepředstavující nebezpečí pro lidi nebo zvířata již nejsou určeny k lidské spotřebě;
- kuchyňský odpad vyjma odpadů z dopravních prostředků v mezinárodní dopravě.

I malá příměs materiálu z vyšší kategorie znamená vyšší kategorizaci, a tudíž přísnější podmínky pro nakládání.

Materiály **1. kategorie** musí být zlikvidovány a žádné recyklační technologie nejsou povoleny. Pro některé materiály **2. kategorie** již přichází v úvahu anaerobní digesce a kompostování, které jsou možné i pro všechny materiály **3. kategorie**.

Kompostárny a bioplynové stanice musí splňovat zejména následující požadavky (podrobně popsáné v příloze VI):

- při kompostování či anaerobní digesci je nezbytné odpad nadrtit na částice s maximálním rozměrem 12 mm,
- odpad musí projít teplotou 70 °C po dobu 60 minut,
- teplota musí být průběžně zaznamenávána a záznamy musí být archivovány pro případ kontroly,
- kompost či vyhnílý kal musí být analyzován mimo jiné i na patogenní organismy.

Z požadavků nařízení je patrné, že kompostování kuchyňských odpadů je možné pouze v bioreaktorech vybavených automatickým měřením teplot, digesce kuchyňských odpadů pouze na bioplynových stanicích s hygienizačním stupněm.[11]

Jednou z možností jak nakládat s kuchyňským odpadem je používání drtičů odpadu. Jsou to zařízení na likvidaci kuchyňského a potravinářského odpadu vznikajícího především při přípravě jídel (včetně zbytků těchto jídel i potravin) a při dalším kuchyňském provozu. Potenciální použití drtičů se netýká pouze jednotlivých domácností, ale i sektoru služeb (veřejné stravování - restaurace, vývařovny, závodní jídelny, hotely a rekreační zařízení, koleje a menzy). [6]

Kuchyňský odpad není běžnou součástí odpadních vod použitých v obytných nebo jiných stavbách a může způsobit vážné problémy při odvádění odpadních vod kanalizační sítí zvláště v městech a obcích s malým spádem terénu a při čištění těchto vod v případech, kdy čistírna odpadních vod nemá zvýšenou kapacitu z hlediska látkového zatížení. Odpadní vody při používání drtičů vyžadují k odstranění větší množství organických látek (jsou látkově více zatíženy) větší množství kyslíku a to zvyšuje spotřebu elektrické energie v čistírnách odpadních vod. Současně dochází k navýšení množství kalů. Četnější potřeba proplachů kanalizační sítě, vyšší spotřeba elektrické energie a zvýšené množství kalů k využití, v případě, že nejsou nadlimitně znečištěny (nepřípustnými látkami), nebo jejich likvidaci, výrazně zvyšuje náklady na provoz kanalizační sítě. Důsledkem vyšších nákladů je vyšší cena za stočné. [6]

Instalace drtičů odpadu u odběratele bez souhlasu vlastníka, popřípadě provozovatele kanalizace (včetně úpravy smlouvy o odvádění odpadních vod) je neoprávněným vypouštěním podle § 10 odst. 2 písm. a) a b) právního předpisu. Při neoprávněném vypouštění se fyzická osoba jako odběratel dopouští přestupku, za který mu může být uložena pokuta až do výše 100 000 Kč. Právnícká osoba a podnikající osoba jako odběratel se dopouští správního deliktu, za který mu může být uložena pokuta až do výše 100 000 Kč. Drtič kuchyňských odpadů může být nainstalován pouze v případě, že subjekt získá souhlas provozovatele kanalizace a upraví v tom smyslu smlouvu o odvádění odpadních vod. [6]

Kuchyňský odpad, je-li s ním nakládáno v režimu zákona o odpadech, se zařazuje dle Katalogu odpadů jako katalogové číslo 20 01 08 Biologicky rozložitelný odpad z kuchyní a stravoven. S tímto odpadem je nutno nakládat v souladu s požadavky zákona o odpadech. Ten stanoví v § 17 povinnost fyzických osob odkládat komunální (tedy i kuchyňský) odpad na místa k tomu obcí určená. § 16 stanoví povinnosti původců odpadu, mimo jiné např. vést evidenci o odpadech. Další z povinností je vzniklý odpad, který původce nemůže sám využít nebo odstranit v souladu s tímto zákonem a jeho prováděcími právními předpisy, převést do vlastnictví pouze osobě oprávněné k jejich převzetí dle § 12 odst. 3 zákona o odpadech. Z výše uvedeného vyplývá, že odpady lze předávat do zařízení k tomu určeným, tedy do takových zařízení, které mají platný souhlas od místně příslušného KÚ včetně provozního řádu. Vyhláška o podrobnostech nakládání s biologicky rozložitelnými odpady specifikuje možné způsoby zpracování bioodpadů, kterými jsou pouze řízené a kontrolované procesy aerobní nebo anaerobní mikrobiální biochemické přeměny, probíhající v zařízeních touto vyhláškou stanovených. Kanalizace není zařízením určeným k nakládání s odpady ve smyslu zákona o odpadech. [6]

1.3 Kaly z čistíren odpadních vod

Kal je nevyhnutelným odpadem při čištění odpadních vod. Zpracování těchto vod je navrženo tak, aby odstraňovalo nežádoucí složky z vody a koncentrovalo je do objemově nevýznamného vedlejšího proudu - kalu. Kal může také obsahovat přebytečnou biomasu z biologického čištění. Cílem úpravy kalů je zabránit nepříznivým dopadům na životní prostředí a lidské zdraví. Koncentrace žádoucích i znečišťujících složek v kalu (a zdravotní rizika s nimi spojená) závisí na počáteční kvalitě odpadní vody a na úrovni požadované technologie, která zaručí dosažení kvalitativních požadavků na vyčištěnou odpadní vodu. [12]

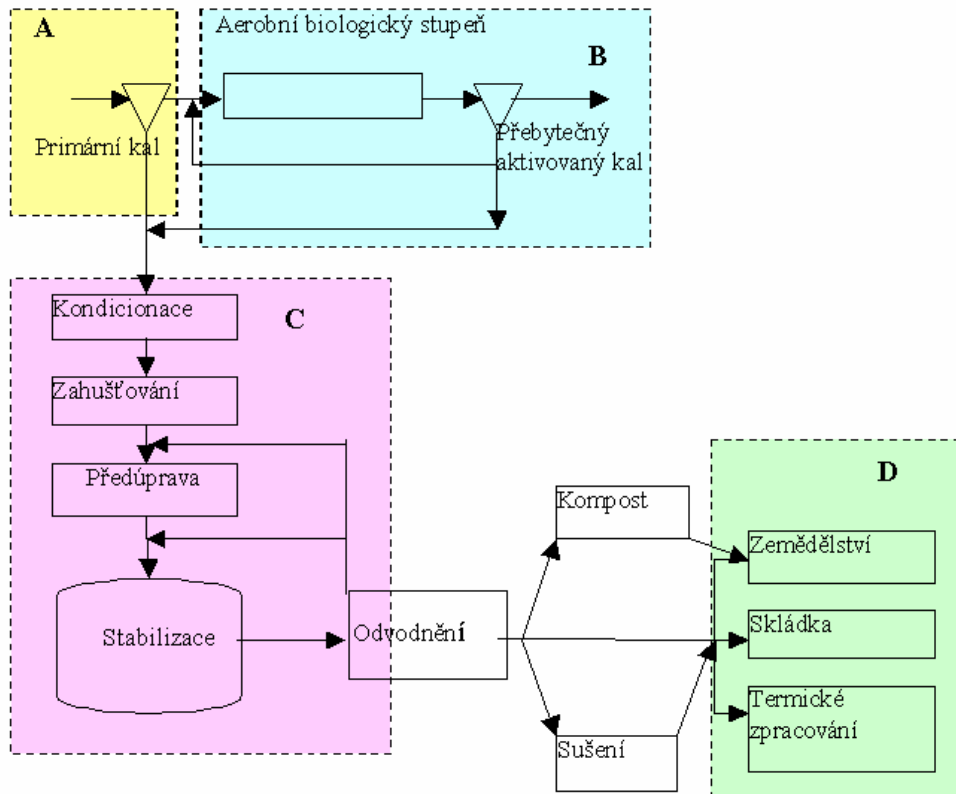
Požadavkem je takové využití nebo zpracování kalů, které je přijatelné pro životní prostředí, udržitelné a ekonomicky únosné. Zpracování kalů obvykle stojí přibližně více než polovinu celkových nákladů na čištění odpadních vod. Řízení zpracování kalů nabývá daleko většího významu se stále se zpřísňujícími standardy pro životní prostředí. Odpadová politika EU potlačuje ukládání odpadů a podporuje zabránění vzniku odpadů, jejich minimalizaci a recyklaci. Produkci kalů nelze zabránit (pouze lze vhodným výběrem technologie zmenšit jeho množství), a požadavky, které jsou kladeny na vyšší kvalitu vypouštěné vody, budou dále obecně zvyšovat množství produkovaných kalů. [12]

Od 1. ledna 2002 platí nový zákon o odpadech č. 185/2001 Sb. ve kterém je uváděna definice kalu a stabilizovaného kalu prakticky. Současně s novým zákonem nabývá účinnosti i vyhláška MŽP č. 382/2001 Sb. o podmínkách použití upravených kalů na zemědělské půdě. Surový kal obsahuje okolo 70 % organických látek v sušině a vzhledem k možné přítomnosti patogenních mikroorganismů je podle zákona o odpadech klasifikován jako nebezpečný odpad se všemi důsledky z toho plynoucími. Z tohoto důvodu je ve většině případů již přímo na ČOV v lince zpracování kalu aplikovaná technologie úpravy a zpracování kalu, která promění „surový kal“ z nebezpečného odpadu v stabilizovaný materiál, který je díky svým vlastnostem přímo předurčen k využití v zemědělství, buď přímo k hnojení a kondicionaci půdy, nebo po předchozím kompostování. [12]

Jediné zbývající možnosti jsou recyklace a destrukční metody. Možnosti recyklace zahrnují použití na půdu jako organické hnojivo nebo pro vylepšení kvality půdy v zemědělství a pro rekultivace. Destrukční metody zahrnují spalování bez nebo s využitím energie, zplyňování a použití kalu jako procesního paliva, kdy je využíván nebo skládkován popel. [12]

Problematiku ovlivňování množství čistírenských kalů můžeme rozdělit do čtyř oblastí, viz. obr. 1.6:

- Mechanické (primární) čištění - odstraňování suspendovaných látek.
- Snižování produkce biomasy v aerobním biologickém stupni.
- Způsoby předúpravy a stabilizace kalů.
- Metody využití a likvidace kalů.



Obr. 1.6 Schéma zpracování čistírenského kalu [12]

A) Primární (mechanické) čištění - Většina znečištění přicházející na čistírnu je ve formě suspendovaných látek. Množství primárního kalu je tedy dáno množstvím suspendovaných látek v surové odpadní vodě, do určité míry závisí na účinnosti separace suspendovaných látek. Separace suspendovaných látek se často upravuje přidávkem koagulačních činidel, tím se dosáhne odstranění většiny suspendovaných i koloidních látek, zvýší se množství primárního kalu a sníží zatížení aktivačního procesu.

Množství primárního kalu lze snížit také zamezením používání kuchyňských drtičů bioodpadů.

Druhým procesem, jehož aplikace v této oblasti způsobí snížení celkové produkce kalu je anaerobní stupeň předčištění odpadních vod, podstatně se sníží zatížení aerobního biologického stupně. [12]

B) Snižování produkce biomasy v aerobním biologickém stupni - Omezování produkce přebytečného aktivovaného kalu je možno dosáhnout úpravou technologických parametrů procesu jako jsou stáří kalu, limitace substrátem, typ kultivace biomasy - v biofilmu nebo v suspenzi, využití predace, simultánní ozonizace nebo jiného způsobu dezintegrace. [12]

C) Technologická linka zpracování kalu (způsoby předúpravy, způsoby stabilizace apod.) - Podstatou intenzifikace procesů v oblasti zpracování kalů je aplikace metod předúpravy a stabilizace kalů umožňující zlepšení a prohloubení biologické rozložitelnosti jejich organického podílu. Mezi metodami předúpravy kalů jsou nejdůležitější metody desintegrace, které lze výhodně aplikovat i v oblasti „B“

v aerobním biologickém stupni čištění. Z metod stabilizace kalů jsou nejrozšířenější anaerobní mezofilní nebo termofilní stabilizace a termofilní aerobní stabilizace. [12]

D) Metody využití a likvidace kalů - Hlavním cílem by mělo být maximální využití všech cenných látek z kalu. Toho lze dosáhnout využitím kalů v zemědělství, pokud tomu nebrání jiné faktory (patogeny, těžké kovy, toxické látky). V případě, že kaly nelze aplikovat do zemědělství nebo na rekultivace, přicházejí v úvahu metody využívající energii z kalů eventuálně dalších cenných látek. [12]

Vzhledem k tomu, že kal je řídkou suspenzí ve vodě, je jednou z nejdůležitějších technologických operací snižování množství vody, tj. zahušťování a odvodňování kalu a to pro všechny způsoby konečného výstupu.

Bereme-li v úvahu tři základní způsoby konečného nakládání, pak:

- pro zemědělské využití a rekultivace je prioritním požadavkem hygienická nezávadnost a stabilizace kalu,
- v případě termického zpracování lze v zásadě zpracovávat surový odvodněný kal nebo kal po anaerobní stabilizaci, prioritou je získání cenných látek z kalu a maximální využití energie z kalu,
- pro ukládání na skládky se vyžaduje kromě snížení obsahu vody také maximální snížení obsahu organické sušiny kalu.[12], [13]

Technologie na využití kalu jsou:

- kompostování - aerobní biologická stabilizace materiálů, využití jeho hnojivých vlastností. (Možnost využívání kompostů pro úpravy vodohospodářsky neexponovaných ploch - městská zeleň, pásy podél silnic apod.);
- aplikace na zemědělskou půdu - využití kalů jako hnojiva v zemědělské výrobě - navrácení do půdy toho, co z půdy vzešlo (pouze upravené kaly);
- chemická stabilizace - vápnění - vhodná pro stabilizaci a hygienizaci surových i stabilizovaných kalů před jejich aplikací na pole;
- mokré spalování - nová metoda velmi výhodná z ekologického hlediska pro likvidaci organických materiálů hlavně kalů;
- spalování v cementárenské peci - nová ekologická a bezodpadová metoda likvidace odpadu (zpracování do cementu);
- spoluspalování - spalování společně s energeticky bohatším palivem. (teplárny a elektrárny, spalovny TKO, obvykle se přidává množství kalu do 5 % spotřeby uhlí);
- termické zpracování - pyrolýza. Kombinace termické a chemické hydrolýzy (např. proces KREPRO);
- spalování - nejúčinnější metoda hygienizace materiálu, používána především pro biologicky nerozložitelné organické materiály nebo materiály kontaminované nebo toxické, či jinak nebezpečné;

- anaerobní fermentace - organické kaly (primární, přebytečný aktivovaný) se ve větších čistírnách zpracovávají metanizací. Je to relativně dokonalý způsob jejich stabilizace, přičemž současně dochází i k hmotnostnímu a objemovému úbytku organické hmoty uvolněním velké části organického uhlíku v plynné formě (CO_2 , CH_4) a uvolněním vody, původně vázané chemicky i fyzikálně. Dochází k potlačení ostatní flóry a fauny, která byla v kalu přítomna. Snížen je výskyt patogenních mikroorganismů.
- skládkování - (deponie) - uložení materiálu na zabezpečenou skládku, v případě, že se nenalezne snadnější metoda využití nebo likvidace. Skládkování by mělo být především používáno pro inertní materiály. Jedná se o nejméně ekologicky vhodné řešení - přesouvá problém pouze na pozdější dobu. [12]

Mezi základní požadavky moderního kalového hospodářství patří především mechanické zahušťování přebytečného aktivovaného kalu, jeho předúprava, anaerobní stabilizace kalu termofilní, odvodňování stabilizovaného kalu a jeho alternativní využívání v zemědělství, nebo termické zpracování s cílem maximálního využití energie.

Velmi důležitým požadavkem z hlediska ekonomického i ekologického je účinné využití produkovaného bioplynu pro výrobu elektrické energie a tepla, což umožňuje dosažení energetické soběstačnosti celé čistírny odpadních vod.

V současné době existuje řada technologií umožňujících snížení množství produkovaného kalu. Jejich provozní zavedení závisí především na lokálních a ekonomických podmínkách.[12]

2 PRINCIPY ANAEROBNÍHO ROZKLADU

Biologický rozklad organických látek v anaerobních podmínkách je proces, který se nazývá metanová fermentace, metanové kvašení, anaerobní fermentace, anaerobní digesce, biogasifikace, biometanizace, biochemická konverze organické látky. [14]

Anaerobní fermentace organických materiálů je souborem procesů, při nichž směsná kultura mikroorganismů postupně rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu. Konečnými produkty jsou vzniklá biomasa, plyny (CH_4 , CO_2 , H_2 , N_2 , H_2S) a nerozložený zbytek organické hmoty, který je již z hlediska hygienického a senzorického nezávadný pro prostředí. Lze také říci, že je již stabilizován. Anaerobní fermentace je tedy soubor několika dílčích, na sebe navazujících procesů, na kterých se podílí několik základních skupin anaerobních mikroorganismů. [15]

Celý proces anaerobní fermentace lze rozdělit do čtyř základních fází:

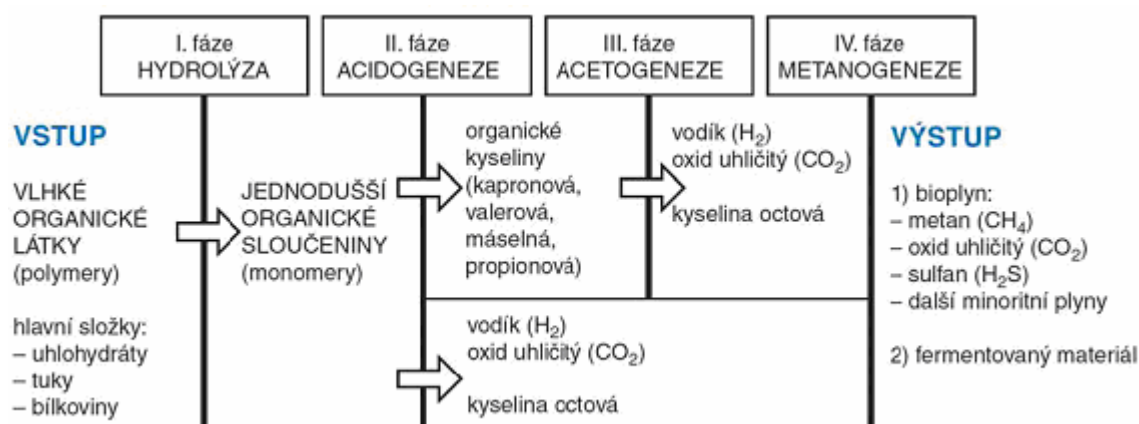
I. fáze - **HYDROLÝZA** - začíná v době, kdy prostředí obsahuje vzdušný kyslík. Předpokladem pro její nastartování je mimo jiné dostatečný obsah vlhkosti nad 50 % hmotnostního podílu. Hydrolytické mikroorganismy ještě nevyžadují striktně bezkyslíkaté prostředí. Enzymatický rozklad mění polymery (polysacharidy, proteiny, lipidy, ...) na jednodušší organické látky (monomery).

II. fáze - **ACIDOGENEZE** - zpracováváný materiál může obsahovat ještě zbytky vzdušného kyslíku, v této fázi však dojde definitivně k vytvoření anaerobního (bezkyslíkatého) prostředí. Zajistí to četné kmeny fakultativních anaerobních mikroorganismů, které se aktivují v obou prostředích. Vznik oxidu uhličitého (CO_2), vodíku (H_2) a kyseliny octové (CH_3COOH) umožňuje metanogenním bakteriím tvorbu metanu. Kromě toho vznikají jednodušší organické látky (vyšší organické kyseliny, alkoholy).

III. fáze - **ACETOGENEZE** - je někdy označována jako mezifáze. Acidogenní specializované kmeny bakterií transformují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou (CH_3COOH), vodík (H_2) a oxid uhličitý (CO_2).

IV. fáze - **METANOGENEZE** - metanogenní acetotrofní bakterie rozkládají především kyselinu octovou (CH_3COOH) na metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2), hydrogenotrofní bakterie produkují metan (CH_4) z vodíku (H_2) a oxidu uhličitého (CO_2). Určité kmeny metanogenních bakterií se chovají jako obojetné. [14]

Zjednodušené schéma anaerobní fermentace je patrné z obr. 2.1



Obr. 2.1 Schéma anaerobní fermentace [14]

Hydrolytické rozklady makromolekulárních látek mohou probíhat jak v přítomnosti, tak i v nepřítomnosti vzduchu. Primární štěpení poskytují hlavně jednoduché cukry a alifatické karbonové kyseliny a alkoholy. Ty jsou dále zpracovávány za přítomnosti acidogenních mikroorganismů na kyseliny, alkoholy a plyny zastoupené hlavně oxidem uhličitým a vodíkem. Protože tato fáze, někdy též souhrnně nazývána jako „kyselá“, je uskutečňována mikrobiálními společenstvy, která již jsou schopna činností i ve zcela bezkyslíkatém prostředí, vytvářejí se v jejím průběhu podmínky pro současný rovnovážný rozvoj symbiotických metanogenů, přičemž i primární hydrolytické procesy je pak realizují v plně anaerobních podmínkách. [24]

Acidogeny produkují oba hlavní substráty pro tvorbu metanu. Těmito substráty je jednak kyselina octová, která je zpracovávána na metan tzv. acetotrofními metanogeny a jednak směs vodíku a oxidu uhličitého, která je ještě konvertována na metan hydrogenotrofními metanogeny. Velmi rychle se generující hydrogenotrofy způsobují prakticky úplné vymizení vodíku z produkovaného bioplynu. Objevení se vodíku v bioplynu vždy svědčí o narušení rovnováhy mezi acido a metanogenními procesy, které je obvykle provázeno i poklesem pH. Může to mít i četné příčiny dané například přetížením reaktoru nevhodnou skladbou substrátu nebo inhibicí činnosti hydrogenotrofních bakterií. [24]

Zvláštním případem acidogeneze je acetogeneze, tedy tvorba kyseliny octové. Bakterie tzv. syntrofních druhů jsou vrcholně důležité pro anaerobní rozklady. Vystupují jako funkční mezičlánky poskytující jednak krok za krokem kratší alifatické kyseliny a jednak přitom produkují směs vodíku a oxidu uhličitého. [24]

Pro činnost metanogenů a pro průběh reakcí jejichž výsledkem je metan má velký význam stav a pohyb vodíku ve sledovaném prostředí. Syntrofní acetogeny rozkládající kyseliny máselnou či propionovou jsou ve svých růstech pomalé, protože při jejich reakcích je produkován vodík. Z důvodu přítomnosti vodíku jsou reakce silně bržděny. U reaktorového bioplynu signalizuje přítomnost vyšších koncentrací kyseliny propionové velkou zátěž reaktoru. Pro svůj nejpomalejší rozklad je kyselina propionová typickým pachovým nositelem i ve skládkových plynech, kde rozsah a změny acidogeneze jsou dobře vysledovatelné již právě pouze podle zápachu plynu. [24]

Celkovou rychlost anaerobní biometanizace tedy neurčují pouze metanogeny, nýbrž i kroky jim v činnosti předcházející. [24]

Z hlediska reakčních teplot, jenž jsou patrné z tab. 1, rozdělujeme anaerobní procesy podle optimální teploty pro mikroorganismy na:

- psychofilní - přibližně v rozmezí teplot 0-25 °C
- mezofilní - rozmezí teplot 15-45 °C
- termofilní - rozmezí teplot 45-70 °C
- extrémně termofilní - nad 70 °C

Rozdělení se může od různých autorů nepatrně lišit.

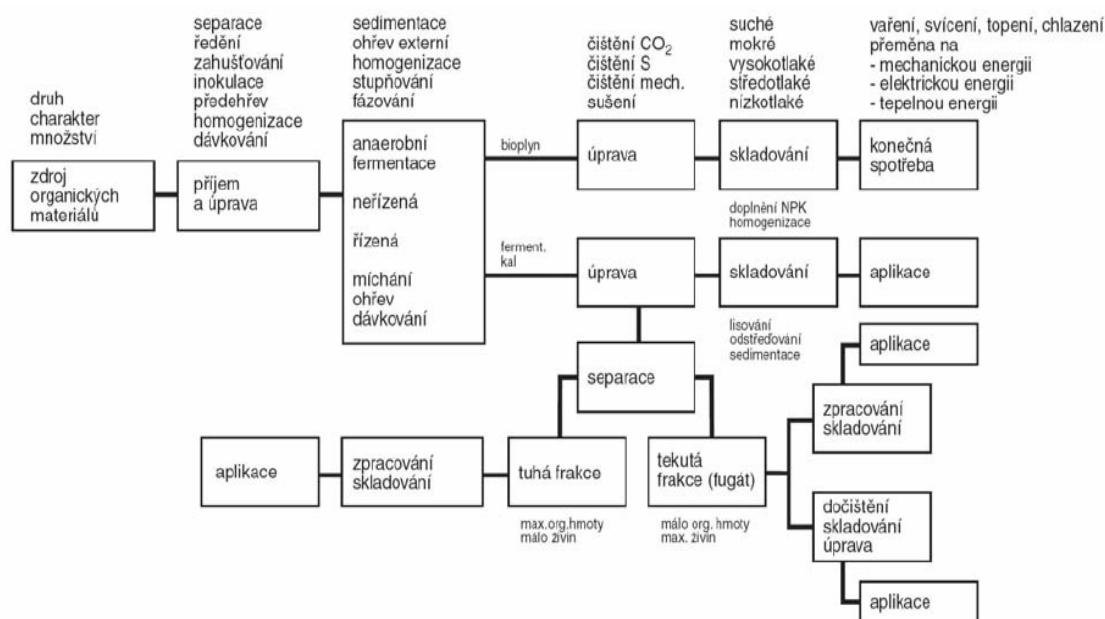
psychofilní	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
tolerantní mezofily	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
mezofilní	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
tolerantní termofily	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
termofilní	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
extrémní termofily	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
teplota [°C]	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90

Tab. 1 Rozdělení typů mikroorganismů dle teplot [24]

Pro technickou praxi bioplynů nemají podstatný význam extrémy v mezních teplotách pro jednotlivé mikroorganismy. Přežívání mikroorganismů za nízkých teplot nejsou pro technology bioplynových systémů zajímavé, jelikož produkce bioplynu za takových teplot je velmi nízká. Psychofilní organismy se v praxi uplatňují nanejvýše při tvorbě bioplynu v některých skládkách. Naopak termofilní procesy mají poměrně velkou výhodu ve schopnosti hluboké destrukce patogenů obsažené ve zpracovávané suspenzi, dochází tedy k vysokému stupni hygienizace. Za těchto podmínek je vysoká účinnost rozkladu zpracovávaného materiálu, a tím i vyšší produkce bioplynu, avšak tento pozitivní efekt je vyvažován několika významnými negativy. Jednak vyšší náklady na ohřev reaktorů případně jejich izolaci a poté vyšší koncentrace těkavých alifatických karbonových kyselin ve fugátu. Nejběžnější aplikací jsou zatím procesy mezofilní při teplotě cca 38 °C. [24]

2.1 Technologie výroby bioplynu

Systémy pro výrobu bioplynu, které jsou patrné z obr. 2.2, se mohou lišit podle vlastností přiváděného materiálu, podle podílu rozpuštěných a suspendovaných organických látek, podle velikosti tuhých částic a koncentrace sušiny ve zpracovávaném materiálu. Rozdílná mohou být i uspořádání bioplynové koncovky, kalové koncovky včetně aplikace vyfermentovaných materiálů. [14]



Obr. 2.2 Schéma zařízení na výrobu bioplynu [14]

Struktura hlavních prvků BPS:

- **Zdroj organických materiálů** - sběr a transport do příjmové nádrže musí s malými výkyvy odpovídat nominální výkonnosti BPS. Před uskladněním v příjmací nádrži musí být evidován druh, charakter a množství materiálu. [14]
- **Příjem a úprava materiálu** - skladovací nádrže mohou být vybaveny zařízením na separaci hrubých příměsí, ředění vodou (zahušťování materiálu), přehřev materiálu, homogenizace, hygienizace apod. [14]
- **Anaerobní reaktor** - patří mezi nejdůležitější část BPS, která rozhoduje o kvalitní funkci celé strojní linky. Většina BPS má reaktor válcový, betonový, kovový nebo plastový se svislou nebo vodorovnou osou. Řízený anaerobní proces znamená, že reaktor je vybaven míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním zařízením a dávkovacím zařízením. [14]
- **Bioplynová koncovka** - obsahuje potrubí na dopravu bioplynu, bezpečnostní zařízení proti zpětnému zahoření plynu, dmychadlo, zásobník (plynojem), regulační a kontrolní prvky, zařízení na úpravu bioplynu a hořák zbytkového plynu. [14]

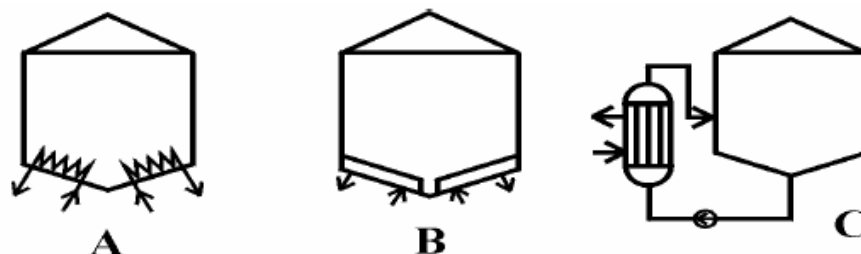
- **Kalová koncovka** - tvoří ji armatury, dopravní čerpadla, homogenizátory, sklady a separační zařízení. [14]

Základní rozdělení technologie výroby bioplynu dle vstupního materiálu:

- **Zemědělské BPS** (také farmářské BPS), jejichž vstupy lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami. Právě tato zařízení se stala typickými představiteli BPS v Německu a Rakousku a proces jejich schvalování by měl být co nejjednodušší. [14]
- **Kofermentační BPS** (také průmyslové BPS), které zpracovávají výhradně nebo v určitém podílu rizikové vstupy, např. jateční odpady, kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, krev z jatek apod. Pro fermentaci těchto vstupů je nezbytné pečlivě zvolit technologii zařízení a zpracovat kvalitní provozní řád zařízení. Povolovací proces by měl být v těchto případech přísnější. Zejména je třeba vyžadovat důsledné plnění požadavků z nařízení EP a Rady č. 1069/2009, které stanovuje hygienická pravidla na nakládání s vedlejšími živočišnými produkty. [14]
- **Komunální BPS**, které jsou speciálně zaměřeny na zpracování komunálních bioodpadů, zejména z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností a restaurací a jídelen. Vlastnický podíl v těchto zařízeních by měly mít často přímo obce. Požadavky pro provoz komunálních BPS, ostatně i pro provoz stejně zaměřených kompostáren, by měly ideálně obsahovat určitá zjednodušení a měly by být řešeny samostatným národním předpisem, obdobně jako v Rakousku a Německu. [14]

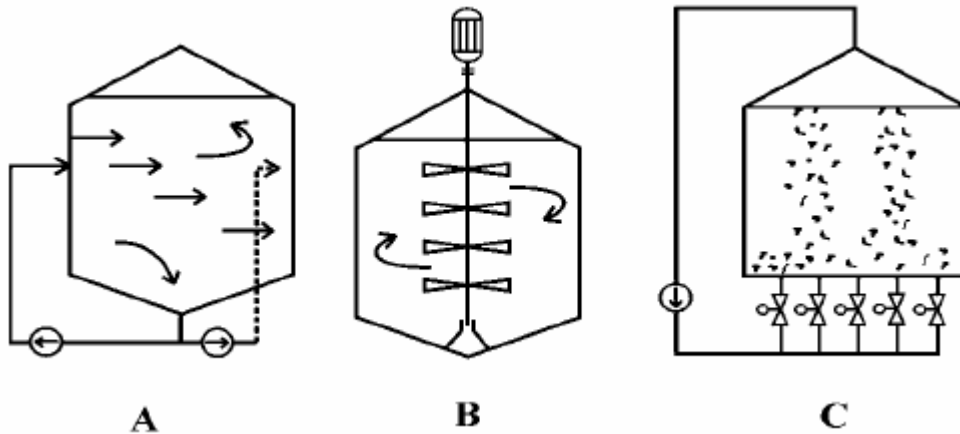
Technologii anaerobní fermentace lze rozdělit do dvou kategorií:

- **Mokrý fermentace** - Fermentace je obvykle prováděna ve velkých vyhřívaných (běžně 35 °C až 55 °C) a míchaných nádržích (fermentorech, reaktorech). Reaktor je základní technologickou částí anaerobního procesu. Rozmnožují se zde mikrobiální kultury. Hlavní podmínkou pro dobrou činnost bakterií je udržení stálé teploty na optimální úrovni. Zajištění požadované teploty je prováděno pomocí ohřevu substrátu přímo ve fermentoru nebo externě mimo fermentor (obr. 2.3).



Obr. 2.3 Způsoby ohřevu reaktorů [24]
A) vnitřní výměník, B) duplikátorový výměník,
C) externí výměník

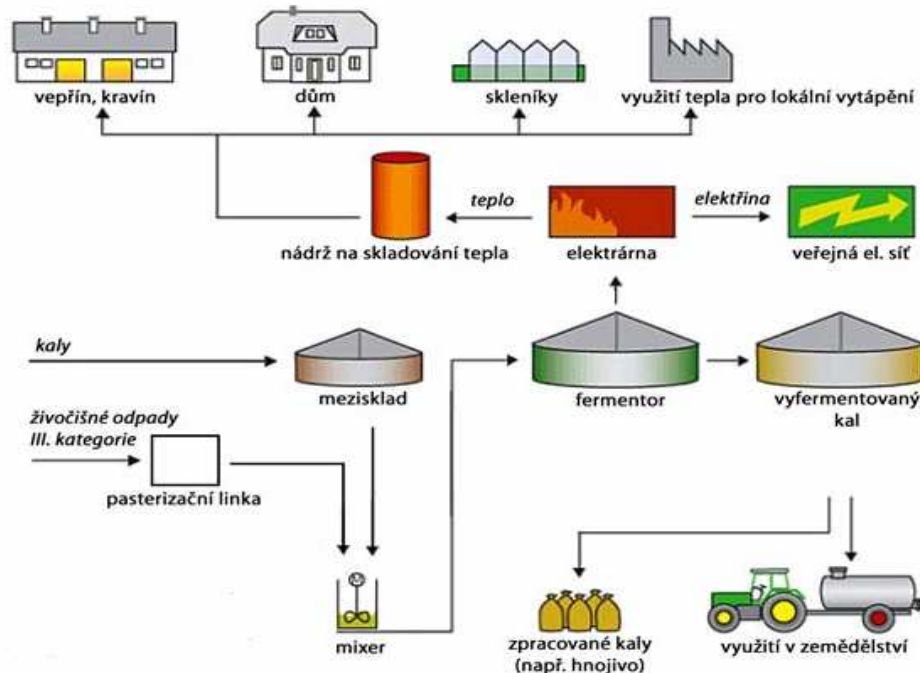
V prvním případě slouží jako topné médium horká voda přiváděná dovnitř reaktoru systémem zabudovaných topných hadů (kovových, plastových), kde dochází k přenosu tepla. Tento systém je využíván zejména u menších a středních nádrží. Druhou možností je realizace ohřevu externí cirkulací reaktorové směsi přes tepelné výměníky, do nichž je opět přiváděna topná voda. Tento způsob zároveň umožňuje kvalitní míchání reaktorové směsi. Pro ohřev teplé vody se využívají horkovodní kotle na spalování bioplynu, lépe kogenerační jednotky. K cirkulaci kalu mezi reaktorem a výměníkem jsou používána kalová čerpadla. Reaktor musí být osazen zařízením pro míchání kalu. Možnosti řešení míchání jsou patrné z obr. 2.4 [14]



Obr. 2.4 Způsoby míchání reaktorů [24]

A) míchání hydraulické, B) míchání mechanické lopatkové,
C) míchání pneumatické

Míchání může být řešeno pomocí čerpadla umístěného vně nádrže (při externím ohřevu s kombinací proplyňováním bioplynem). Míchání stlačeným bioplynem je výhodné z hlediska snížení usazování písku na dně nádrže a tvorbě kalového koláče na povrchu hladiny kalu. Další možností je použití vrtulového míchadla (rychloběžného, pomaloběžného s velkým průměrem míchací vrtule). Výroba bioplynu technologií mokré fermentace je většinou řešena kontinuálně nebo semikontinuálně. Pracovní sušina suspenze se dle materiálu a použitého míchacího systému pohybuje mezi 4 až 12 %. Nejčastěji se mokré fermentace využívá v zemědělském průmyslu na zpracování kejdy chovných zvířat a u ČOV. Způsob mokré fermentace je zřejmý z obr. 2.5. [14]



Obr. 2.5 Schéma mokré fermentace [17]

- **Suchá fermentace** - způsob zpracovávání substrátu o sušině 30 až 60 %. Zpravidla jde o aplikace mezofilního anaerobního procesu, rozsah používaných reakčních teplot 32 až 38 °C. Optimální pH procesu se pohybuje mezi 6,5 až 7,5. Diskontinuální technologie suché fermentace sestává z několika reakčních komor (kovový kontejner nebo zděná komora s plynotěsnými vraty) a meziskladu. Doprava zpracovávaného materiálu do komor a z nich je zpravidla prováděna běžnou manipulační technikou (např. kolový nakladač). Anaerobní proces je řízen dávkováním procesní tekutiny. Pro potřeby inokulace (očkování) je využíváno jednak pravidelné vstřikování tzv. perkolátu (látka s obsahem vhodných kultur anaerobních mikroorganismů) a přísadků části fermentačního zbytku z předchozího cyklu do čerstvé dávky substrátu. Technologie suché fermentace je patrná z obr. 2.6.



Obr. 2.6 Suchá fermentace [18]

2.2 Stabilita procesu výroby bioplynu

Stabilita procesu, tj. udržení dynamické rovnováhy, je ovlivňována řadou faktorů, které buď mění přímo životní prostředí mikroorganismů, nebo musí být brány v úvahu při návrhu a posuzování anaerobního reaktoru.

Vliv teploty. Teplota podstatně ovlivňuje interakce mezi jednotlivými druhy mikroorganismů. Odezva mikroorganismů na změnu teploty je u všech druhů kvalitativně stejná, avšak kvantitativně může být úplně odlišná. To znamená, že změnou teploty se mění rychlosti probíhajících pochodů, což má za následek porušení dynamické rovnováhy procesu, a může vést až k úplné havárii procesu. Dlouhodobá změna teploty vede ke změně zastoupení jednotlivých druhů mikroorganismů. [16]

Tvorba metanu probíhá v širokém rozmezí teplot (přibližně od 5 do 95 °C). Většina anaerobních reaktorů pracuje při teplotách v mezofilní oblasti, tj. při 30 až 40 °C, a část v termofilní oblasti, tj. při 45 až 60 °C, v obou případech jsou reaktory vyhřívány. Obecně lze konstatovat, že pro udržení stability procesu je nutné zabezpečit konstantní teplotu. Změny teploty jsou tím nebezpečnější, čím je proces zatíženější, tj. čím je kratší doba zdržení a menší koncentrace biomasy v reaktoru. [16]

Vliv pH. Další závažný limitující faktor procesu je úzký rozsah pH, optimálního pro růst metanogenních mikroorganismů. Většinou vyžadují pH v neutrální oblasti (6,5 až 7,5), které je nutné uvnitř reaktoru udržovat, pod pH 6 a nad 8 je jejich činnost silně inhibována. Nejčastější příčinou výkyvu pH je jeho pokles vlivem přetížení reaktoru, kdy produkce kyselin rychlejšími mikroorganismy předmetanizační fáze (první a druhá skupina) je vyšší než jejich spotřeba a dochází k jejich akumulaci v systému, avšak při vysoké koncentraci amoniaku tj. při vysokých hodnotách alkality, pH není citlivým ukazatelem. Proto je třeba řídit zatížení podle množství a složení mastných kyselin v médiu, aby nedošlo ke zhroucení procesu nebo udržovat dostatečnou neutralizační kapacitu přidávkem alkalizačních činidel. [16]

Přítomnost nutrientů. Pro zapracování a provoz reaktorů je nutný správný poměr dusíku (N) a fosforu (P) k organickým látkám. Z bilance produkce biomasy se udává potřebný poměr živin jako (chemická spotřeba kyslíku) CHSK : N : P v rozmezí od 300 : 6,7 : 1 až 500 : 6,7 : 1. Vedle dusíku a fosforu je žádoucí přítomnost řady mikronutrientů - sodík (Na), draslík (K), vápník (Ca), železo (Fe), síra (S), hořčík (Mg), selen (Se), wolfram (W), důležitá je také přítomnost řady růstových faktorů. Většinou u substrátů přirozeného původu, je množství nutrientů postačující. Naopak, při anaerobní fermentaci kejdy nebo jiných živočišných exkrementů bývá vysoký přebytek amoniaku, který za zvýšeného pH může působit inhibičně až toxicky. [16]

Přítomnost toxických a inhibujících látek. Za toxické nebo inhibující látky pokládáme látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces. Nejčastěji se setkáváme s inhibičním působením nižších mastných kyselin a amoniaku. Zde je nutno upozornit, že v obou případech inhibičně působí tyto látky v nedisociované formě. To znamená, že inhibice těmito látkami bude závislá na pH a jejich celkové koncentraci v systému. Při nízkém pH mohou inhibičně působit mastné kyseliny, při vysokém pH amoniak. Dlouhodobou adaptací však lze vypěstovat biomasu tolerující i vyšší koncentrace amoniaku, např. při zpracování slepičího trusu nebo prasečí kejdy může koncentrace amoniaku dosahovat v závislosti na koncentraci vstupujícího materiálu hodnot 6 g/l i více. [16]

Vliv technologických faktorů. Z technologických faktorů jsou nejdůležitější: míchání, doba zdržení. Obsah reaktoru musí být homogenní, tj. dobře promícháván, tak, aby byl umožněn co nejrychlejší a nejdokonalejší kontakt mikroorganismů se substrátem. Doba zdržení musí být dostatečně dlouhá, aby nedocházelo k vyplavování potřebných mikroorganismů a aby bylo dosaženo potřebné účinnosti rozkladu. Vzhledem k tomu, že generační doby anaerobních mikroorganismů jsou relativně dlouhé a to 0,5 až 12 dní pro různé skupiny mikroorganismů, udržuje se doba zdržení v bioplynových reaktorech 20 až 40 dní. Přitom platí, že čím hůře je rozložitelný daný substrát, tím je generační doba příslušných bakterií delší.[16]

2.3 Chemické složení bioplynu

Mezi produkty anaerobní fermentace patří bioplyn a biologicky stabilizovaný substrát. Bioplyn je obnovitelný zdroj energie (OZE), který poskytuje celou řadu možností energetického využití. Z tab. 2 je patrné, že výhřevnost bioplynu významně ovlivňuje pouze obsah metanu (CH_4), který závisí především na složení vsázky a technologických parametrech bioplynové stanice. Problémovou složkou bioplynu je naopak sulfan (H_2S), jenž je při jeho spalování příčinou tvorby kyseliny sírové (H_2SO_4), která při kondenzaci ze spalin způsobuje korozi ústrojí kogenerační jednotky. Proto je nutné sulfan při vyšší koncentraci z bioplynu odstraňovat. K tomuto účelu je používána chemická adsorpce (H_2S) do pevné látky (FeO , Fe_2O_3), nebo biologická metoda využívající sírných bakterií, které v aerobním prostředí oxidují (H_2S) na elementární síru a sírany v závislosti na teplotě a pH. [19]

Charakteristika	Metan CH_4	Oxid uhličitý CO_2	Vodík H_2	Sirovodík H_2S	Bioplyn CH_4 60 %, CO_2 40 %
objemový podíl [%]	55-70	27-47	1	3	100
výhřevnost [$\text{MJ}\cdot\text{m}^{-3}$]	35,8	-	10,8	22,8	21,5
zápalná teplota [$^{\circ}\text{C}$]	650-750	-	585	-	650-750
hustota [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$]	0,72	1,98	0,09	1,54	1,2

Tab. 2 Chemické složení a vlastnosti bioplynu [19]

V ideálním případě bioplyn obsahuje pouze dva majoritní plyny, a to metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Metan je obsažen v bioplynu od 50 do 75 % a oxid uhličitý od 25 do 50 %. V praxi je však surový bioplyn tvořen směsí dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch průběhu anaerobní fermentace. Vysoký obsah oxidu uhličitého (CO_2) znamená, že nebyly vytvořeny optimální podmínky pro anaerobní fermentaci. Přítomnost volného kyslíku (O_2) s výjimkou počáteční fáze procesu může být zapříčiněna zavzdušňováním pracovního prostoru. Tento stav je nežádoucí z bezpečnostního hlediska tvorby výbušné směsi metanu se vzdušným kyslíkem. V bioplynu se mohou objevit stopy argonu, který je vzdušného původu, amoniaku a oxidu dusného. V případě komunálního odpadu se mohou v bioplynu ze skládky objevit stopy dalších nežádoucích příměsí (například halogenuhlovodíků a jejich derivátů, atd.). Objeví-li se v bioplynu stopy vodíku (H_2), není to na závadu jeho energetické kvalitě, ale svědčí to o narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a metanogenní fáze, způsobené nadměrnou zátěží reaktoru surovým materiálem, a nebo dochází z různých důvodů k inhibičním účinkům potlačujícím rozvoj metanogenních organismů. Velmi významným minoritním plynem v bioplynu je v některých případech sulfan (H_2S) pocházející zpravidla z biochemických procesů při rozkladu proteinů (bílkovin). Obsah sulfanu (H_2S) v bioplynu je velmi proměnlivý. Při zpracování exkrementů z chovu skotu je jeho obsah zanedbatelný, u exkrementů prasat a drůbeže je naopak velmi vysoký, což působí potíže při následném konečném využití bioplynu. [14]

2.4 Výtěžnost bioplynu

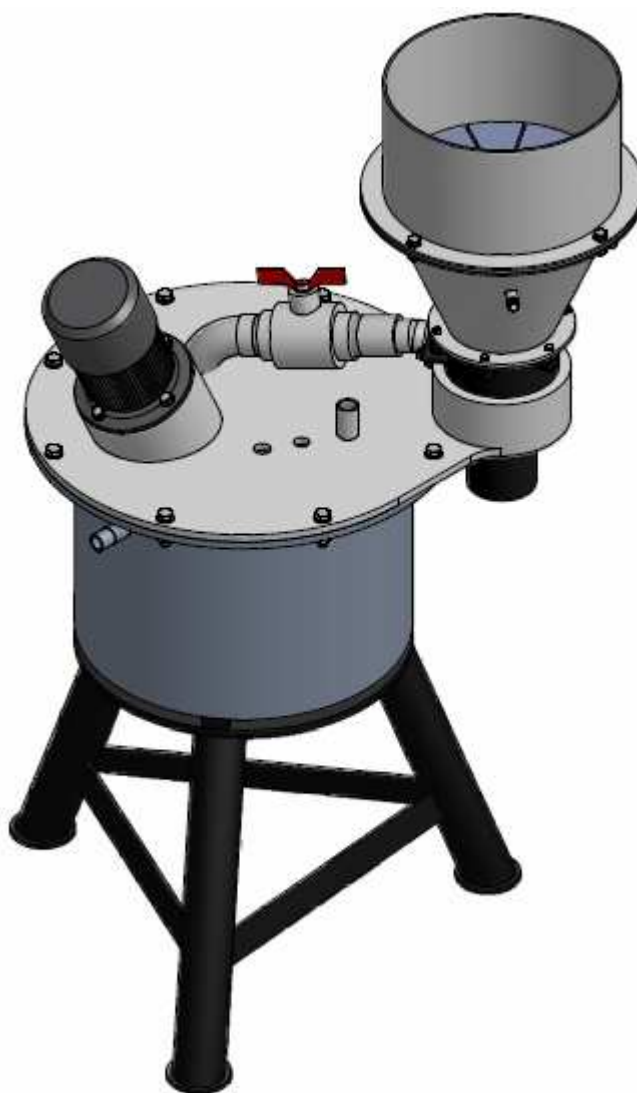
Energetický potenciál BRO z hlediska výtěžnosti bioplynu se nejčastěji vyjadřuje pojmem „specifická nebo měrná produkce/výtěžnost bioplynu“. Lze ji definovat jako produkci bioplynu v (m³) na jednotku hmotnosti sušiny resp. organické sušiny - (Nm³/kg_{SUŠ} resp. Nm³/kg_{O.S.}). V literatuře i praxi se můžeme setkat s poměrně značným rozptylem výtěžností. Je to dáno faktem, že skutečné docilované výtěžnosti bioplynu jsou závislé na mnoha parametrech, např. druh BRO, chemická struktura organické sušiny v BRO (jiná u prasečí/hovězí kejdy než např. u tuku a trávy), doba expozice substrátu vzdušným kyslíkem před vstupem do reaktoru, použitá technologie anaerobní fermentace (dávkování a způsob ohřevu vsázky reaktoru, způsob míchání, atd.), typ anaerobního procesu (suchá nebo mokrá fermentace), doba zdržení v reaktoru, u exkrementu zvířat hraje roli i kvalita krmení a zdravotní stav zvířat, atd. Značný rozptyl specifických výtěžností lze často získat i při poptávce více dodavatelů technologie při jinak stejném zadání vstupní biomasy. Pro představu je v tab. 3 uveden běžný rozptyl specifických výtěžností bioplynu. [20]

Surovina	Ø sušina [%]	Ø org. sušina (O.S.) [%]	výtěžnost bioplynu [Nm ³ /t OS]	výtěžnost bioplynu [Nm ³ /t]
Močůvka - skot	8,5	76,5	300	22
Kejda	6,5	72,5	510	22
Čistírenský kal	5		700	20-30
Zbytek jídel	23	86	1000	220
Oleje, tuky	36	84	900	400
Zelená hmota	12	90	720	103
Travní siláž	40	82,5	600	195
Organický odpad	57,5	50	500	168
Zbytky zeleniny	12,5	83	750	57
Drůbeží výkaly	19,5	76		332
Vedlejší produkty ze zvířat (jateční odpad)	20-30	75-90	780	225
Tříděná složka komunálního odpadu	35	85	400	140

Tab. 3 Orientační hodnoty výtěžnosti bioplynu [21]

3 NÁVRH ZÁŘÍZENÍ PRO TERMOMECHANICKOU PŘEDÚPRAVU BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝCH ODPADŮ

Konstrukční návrh zařízení pro termomechanickou předúpravu BRO bylo nutné navrhnout takovým způsobem, aby byly splněny veškeré legislativní požadavky. Tedy před samotným procesem anaerobní fermentace biodegradabilních odpadů a jejich části nebezpečných odpadů uvedených v seznamu nebezpečných odpadů (vyhláška č. 381/2001 Sb. - katalog odpadů) musí být předřazena hygienizace těchto vstupních materiálů. Z obr. 3.1 je patrný koncepční návrh hygienizační jednotky navržený tak, aby těmto legislativním požadavkům vyhovoval.



Obr. 3.1 Konstrukční návrh zařízení pro termomechanickou předúpravu BRO

3.1 Hygienická pravidla

Hygienická pravidla jsou stanovena a musí být dodržována podle nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009:

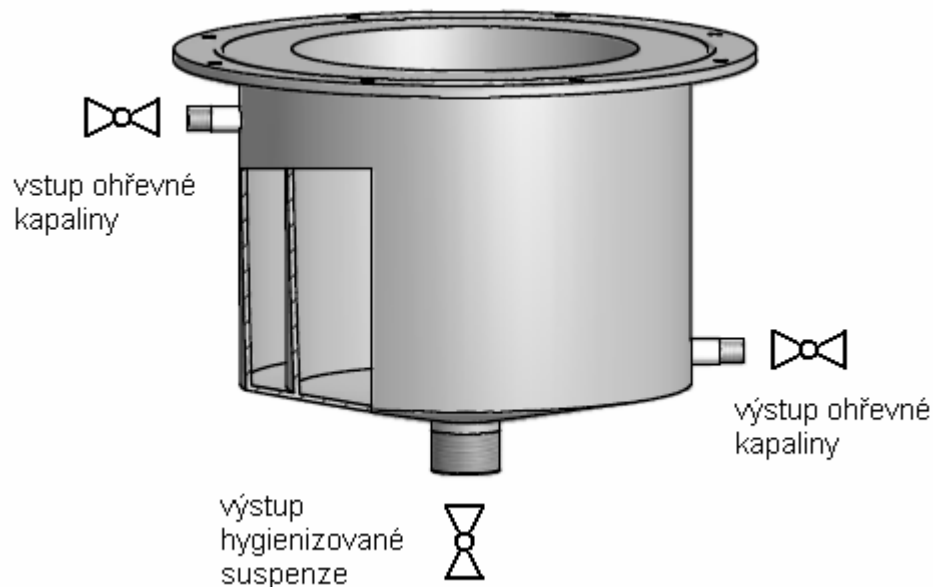
- při kompostování či anaerobní digestci je nezbytné odpad nadrtit na částice o maximálních rozměrech 12 mm,
- odpad musí projít tepelnou úpravou minimálně 70 °C po dobu 60 minut,
- teplota musí být průběžně zaznamenávána a záznamy musí být archivovány pro případ kontroly,
- kompost či vyhnílý kal musí být analyzován mimo jiné i na patogenní organismy.

Z následujících podmínek a požadovaného objemu vsázky substrátu (10 l) byl započat návrh hygienizační nádoby.

3.1.1 Návrh hygienizační nádoby

Hygienizační nádoba je navržena jako dvouplášťová nerezová válcová nádoba, v jejímž pracovním prostoru je promícháván objem 10 l suspenze vody a drceného kuchyňského odpadu. Celkový objem pracovního prostoru byl stanoven na 20 l. Provozně je celé zařízení řešeno jako diskontinuální a musí zde být dodržena podmínka ohřevu suspenze při minimální teplotě 70 °C po dobu 60 minut.

Vnější plášť je osazen dvěma nátrubky s vnějším trubkovým závitem G1/2“ pro připojení dvou kulových kohoutů umístěné na vstupu a výstupu topné vody do meziplášťového prostoru. Termostatem Huber s integrovaným čerpadlem je regulováno množství průtoku a výše teploty ohřevné vody, která následně ohřívá míchanou suspenzi na předem požadovanou teplotu. Návrh nádoby je vyobrazen na obr. 3.2.

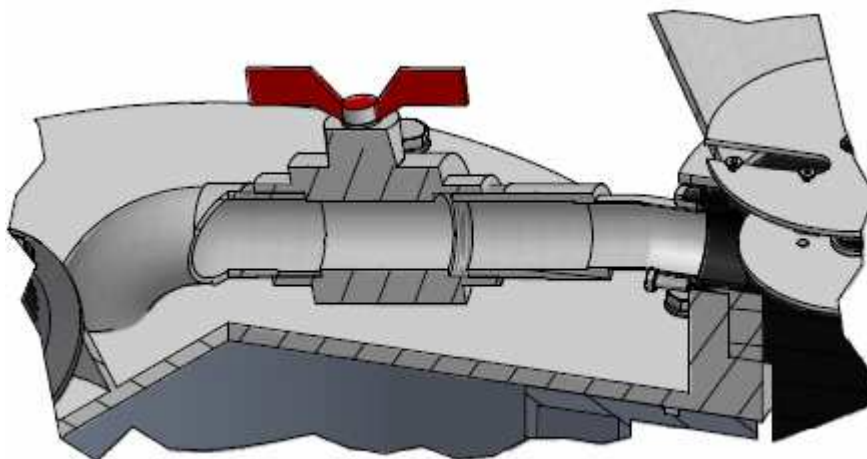


Obr. 3.2 Nádoba

Vyprazdňování hygienizované suspenze je řešeno opět kulovým kohoutem přišroubovaným k nátrubku s vnějším trubkovým závitem G2“, který je přivařen ke kuželovému dnu nádoby.

Aby nedocházelo k nežádoucím ztrátám tepla do okolí přes vnější plášť nádoby je nutno nádobu izolovat příslušným materiálem. Byl použit materiál Techrock 40 od společnosti Rockwool, který se hodí pro tento typ malé válcové nádrže.

Přívod mechanicky předupravené suspenze do hygienizační nádoby je řešen potrubím z nerezové oceli s našroubovaným kulovým kohoutem. Tento kulový kohout zabraňuje případnému úniku plynů z hygienizované suspenze. Potrubí je navařeno z vnější části na víko nádoby po úhlem 10°, aby vnikl spád pro o tekoucí suspenzi, viz. obr. 3.3.



Obr. 3.3 Částečný řez potrubím spojujícím drtič a nádobu

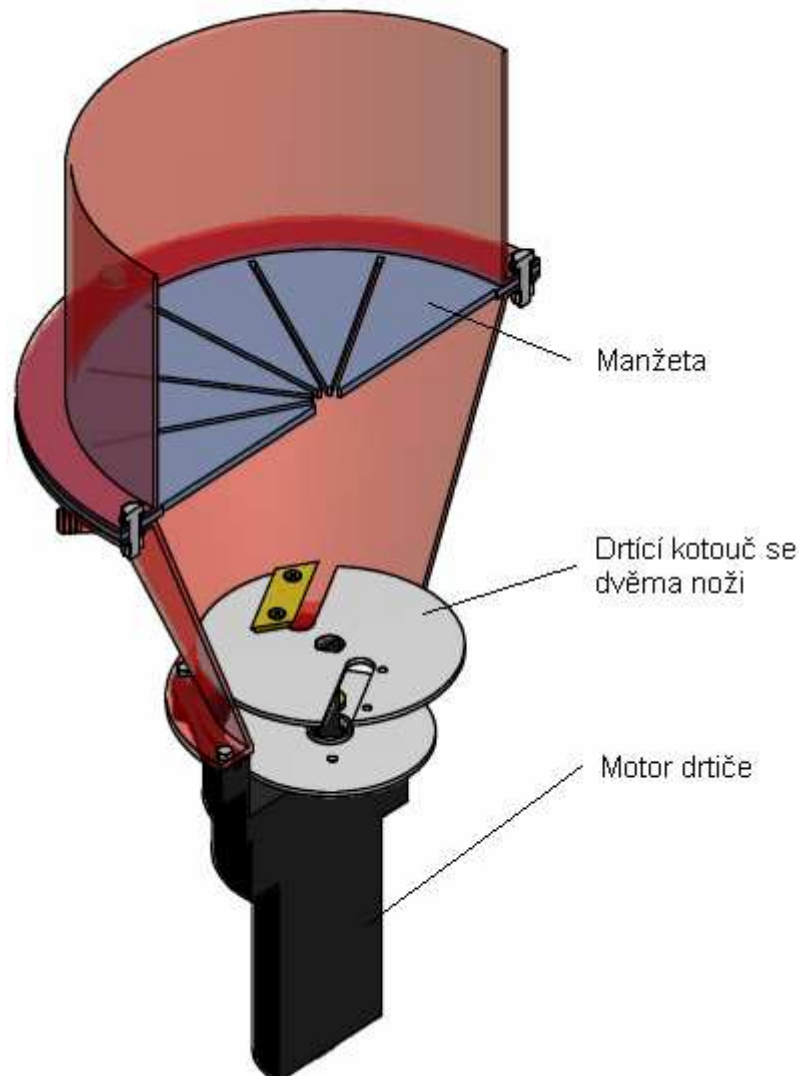
Víko je spojeno k přírubě hygienizační nádoby pomocí osmi šestihranných šroubů M10. Tímto způsobem je zajištěna libovolná montáž a demontáž víka. Obě části musí být vyrobené takovým způsobem, aby byla zachována těsnost mezi víkem a přírubou nádoby. To je konstrukčně vyřešeno pryžovým těsněním a aplikací silikonového tmele na dosedací plochy obou částí.

Detailní rozměry nádoby jsou uvedeny ve výkresové dokumentaci, která tvoří přílohu diplomové práce.

3.1.2 Úprava dezintegračního zařízení

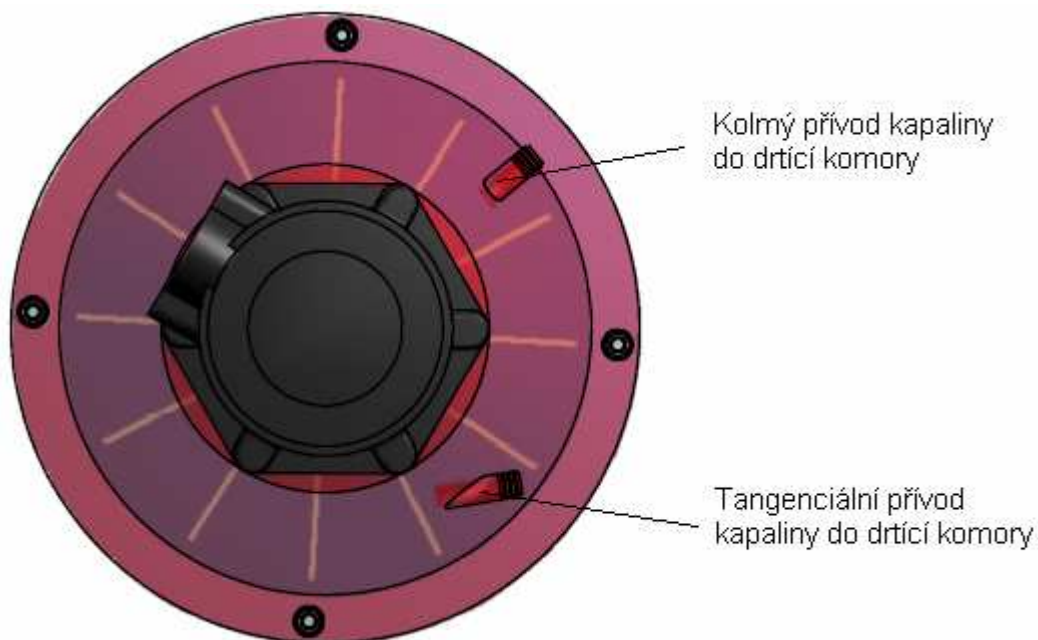
Dezintegrační stupeň byl navržen s ohledem na legislativní požadavky. Návrh, vývoj a odzkoušení nového prototypu drtícího zařízení by bylo velmi časově i finančně náročné, proto bylo pro laboratorní podmínky využito modifikovaného drtiče kuchyňského odpadu, u kterého výrobce deklaruje maximální velikost pevných částic drceného odpadu do 5 mm. Lze tedy předběžně konstatovat, že dezintegrační stupeň dokáže nadrtit materiál na menší velikost, než je předepsáno legislativou, a to že rozměry pevných částic musí být maximálně 12 mm.

Úpravou prošla drtící komora. Nad originální kotouč s drtícími elementy byl pomocí hřídele připevněn další kotouč se dvěma noži. Ten má za úkol nasekat objemnější materiál. Na obr. 3.4 je patrné konstrukční řešení drtiče.



Obr. 3.4 Modifikovaný drtič

Do kuželové části násypky jsou přivařeny dva připojovací nátrubky, které slouží pro přívod kapaliny nutné pro drcení. Jeden svým ústím směřuje do komory kolmo a druhý je přivařen tak, aby kapalina přitékala tangenciálně ke kuželové části drtiče. Využívat se bude vždy jen jeden, ale až praktická zkouška potvrdí, jaký typ vtoku bude nejvýhodnější. Umístění nátrubků je patrné z obr. 3.5.

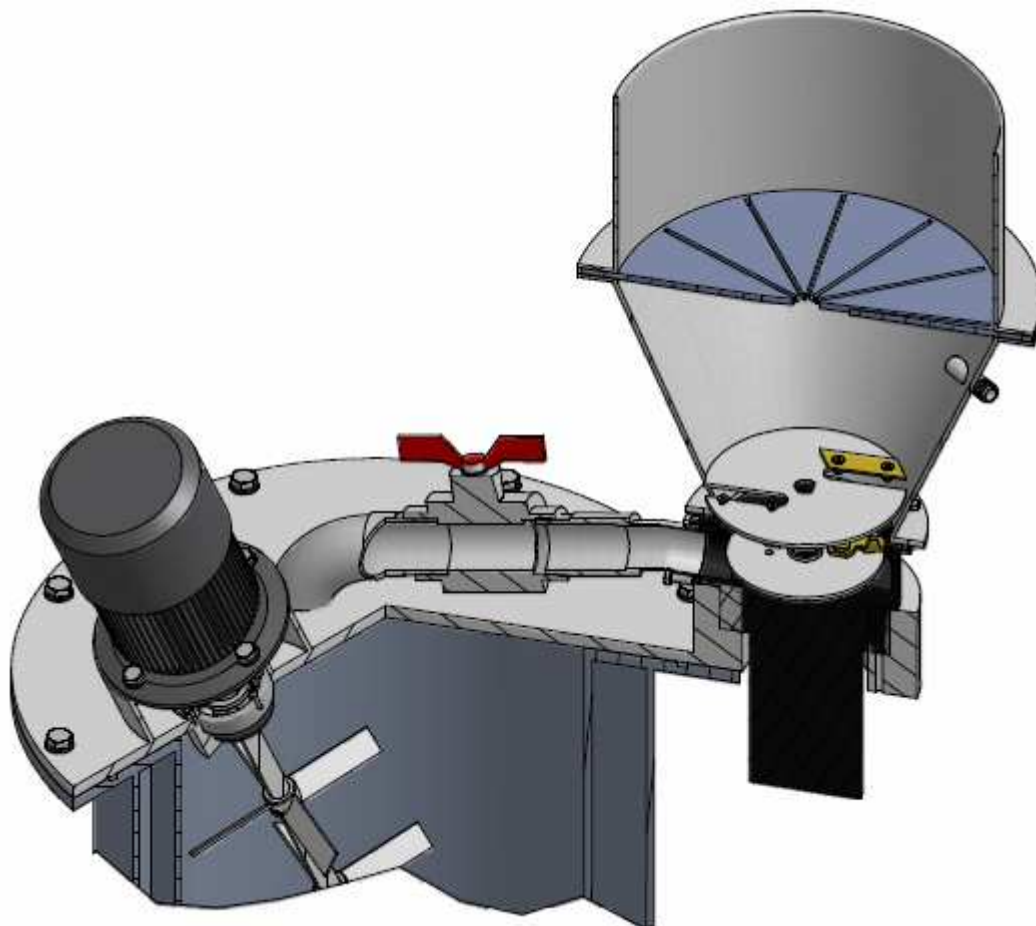


*Obr. 3.5 Umístění nátrubků pro vstup kapaliny do drtící komory
(spodní pohled)*

Při drcení by vlivem odstředivých sil od rotujícího kotouče mohlo docházet k vylétávání částí organického odpadu ven z násypky. Tento problém je vyřešen pryžovou manžetou, která umožňuje dávkování, ale naopak zabraňuje samovolnému úniku organického materiálu. To je patrné z obr. 3.4.

3.1.3 Návrh víka nádoby

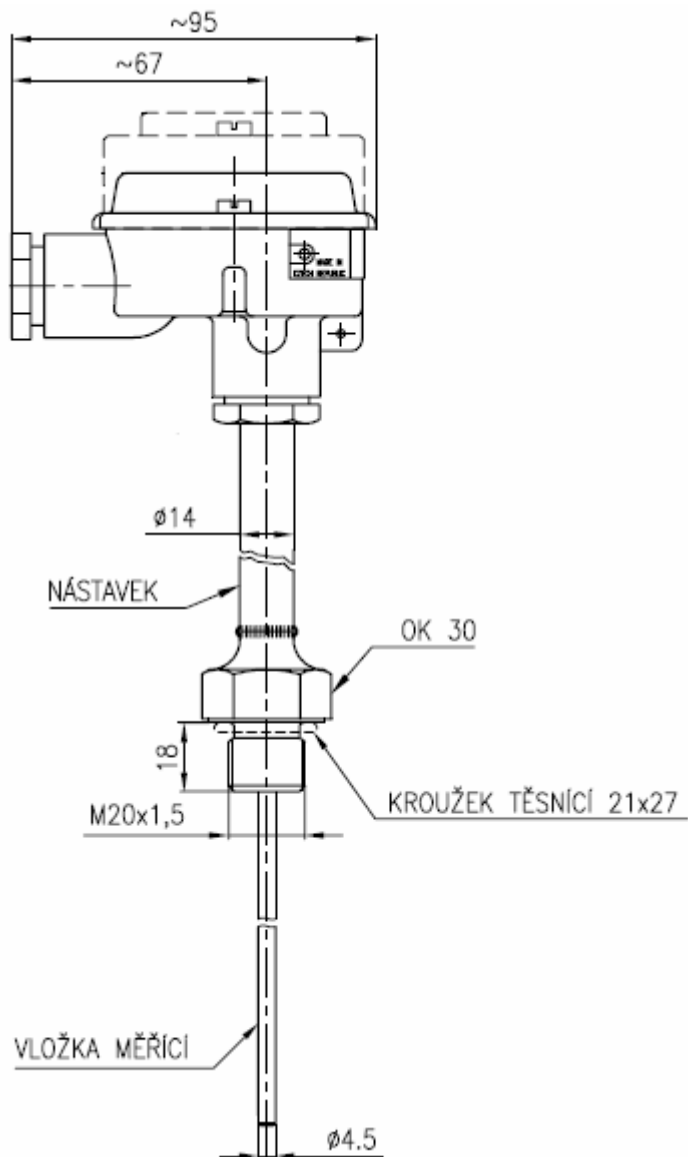
Víko plní nejen funkci těsnění nádoby, ale také je uzpůsobeno jako nosná část dezintegračního stupně a motoru míchadla. Konstrukční řešení je vyobrazeno na obr. 3.6.



Obr. 3.6 Konstrukční řešení víka nádoby

Proces hygienizace musí být určitým způsobem kontrolován měřicím zařízením. Minimálně teplotu je nutno dle legislativy zaznamenávat a archivovat pro případ kontroly. Ve víku jsou umístěna následující měřicí a regulační zařízení:

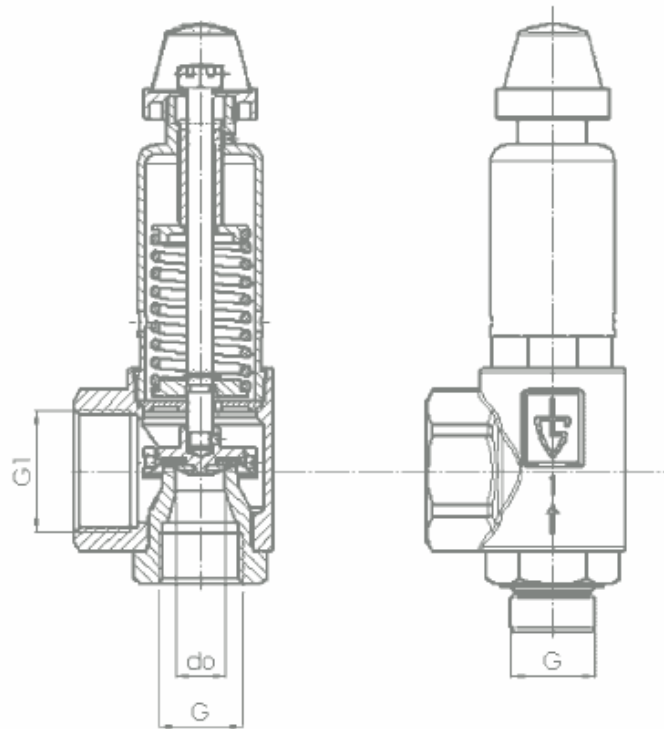
Zařízení pro měření teploty - sonda pro přímý záznam teploty ohřívané suspenze je patrná z ilustračního obr. 3.7. Slouží pro spojitý záznam teploty v míchané suspenzi.



Obr. 3.7 Sonda pro záznam teploty [25]

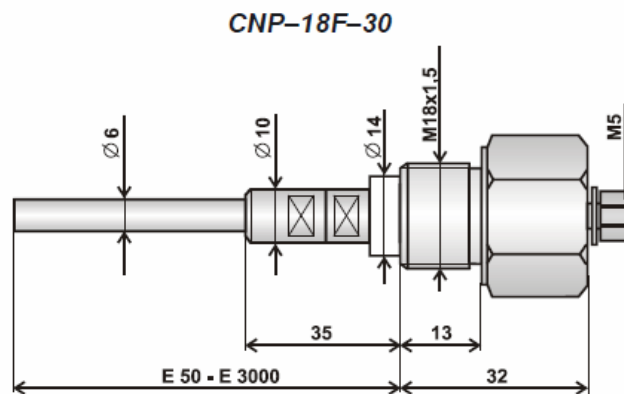
Pojistný ventil proti přetlaku vznikajících plynů v hygienizační nádobě, viz. obr. 3.8. V pracovním prostoru, kde je ohřívána látka nepřesáhne provozní tlak 0,5 bar, tudíž zařízení nebude hodnoceno jako *jednoduchá tlaková nádoba, netopná* dle normy ČSN 690010. Z tohoto hlediska zařízení není potřeba počítat pevnostně. Pojistný ventil bude z bezpečnostních důvodů nastaven a hodnotu tlaku 0,4 bar. Při větší hodnotě tlaku než je stanovených 0,4 bar dojde k otevření pojistného ventilu a tedy ke snížení přetlaku v nádobě.

851 P/PL



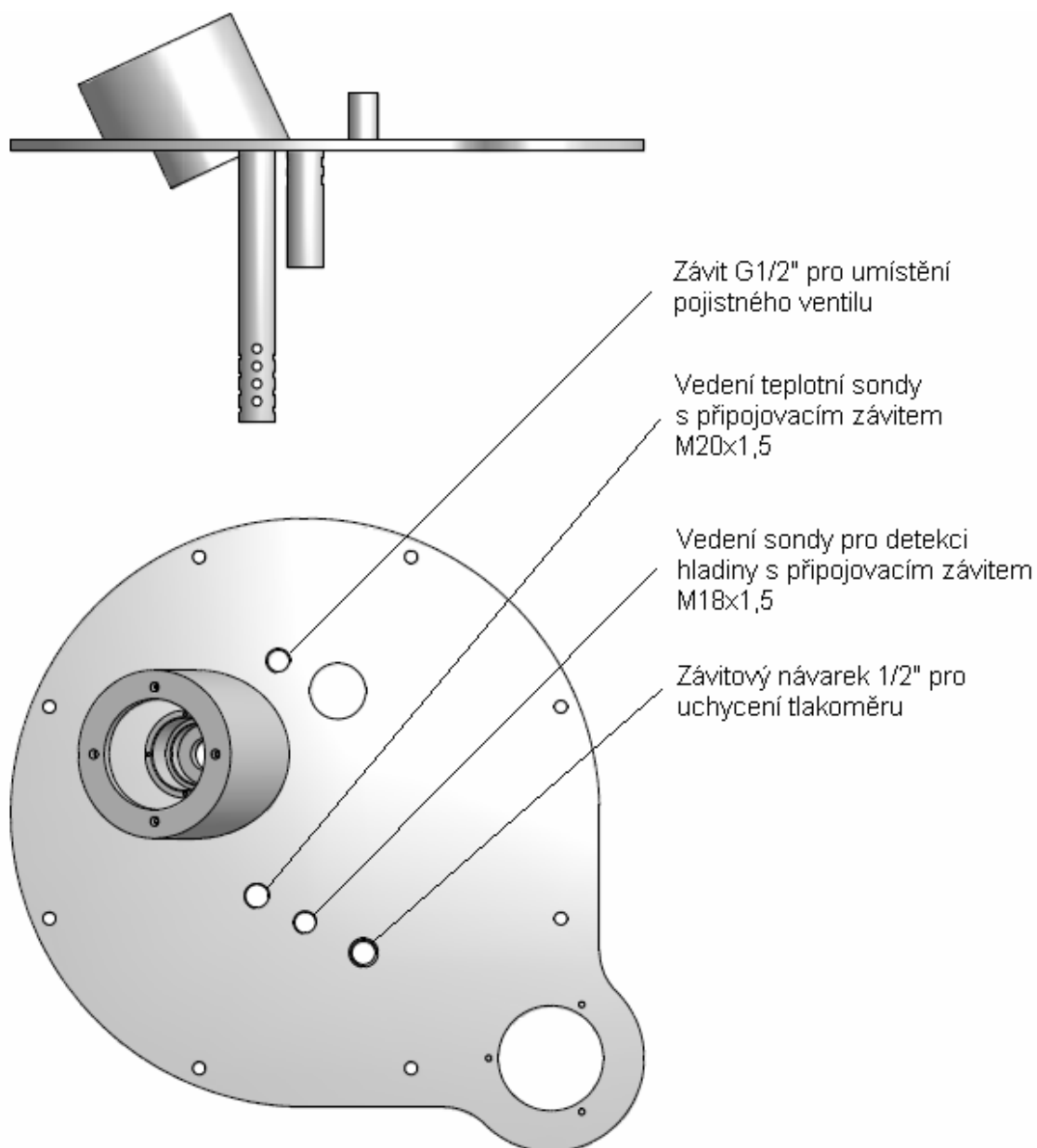
Obr. 3.8 Pojistný ventil [26]

Zařízení pro měření výšky hladiny - je volena vodivostní sonda pro přímou detekci výšky hladiny vodivých kapalin. Rozměrový náčrtek je uveden na obr. 3.9.



Obr. 3.9 Rozměrový náčrtek vodivostní sondy [27]

Rozmístění jednotlivých měřících a regulačních zařízení je patrné z obr. 3.10.



Obr. 3.10 Umístění měřících a regulačních zařízení

3.1.4 Návrh míchadla

Při konstrukčním návrhu míchadla tvořila předlohu doporučená literatura Míchání a míchací zařízení [22]. Snahou bylo dodržet veškerá pravidla ze zadaných podmínek.

Výchozí podmínka pro stanovení typu míchadla:

$$\frac{H}{d_1} \in (0,8 \div 1,3) \quad (1)$$

Bylo voleno:

$$\frac{H}{d_1} \approx 1$$

kde:

H - výška nádoby [m]

d_1 - vnitřní průměr nádoby [m]

Pro zvolený objem 20 l poté vychází vnitřní průměr nádoby $d_1=0,3$ m.

Z další podmínky:

$$\frac{d_1}{d} \in \langle 3 \div 6 \rangle \quad (2)$$

kde:

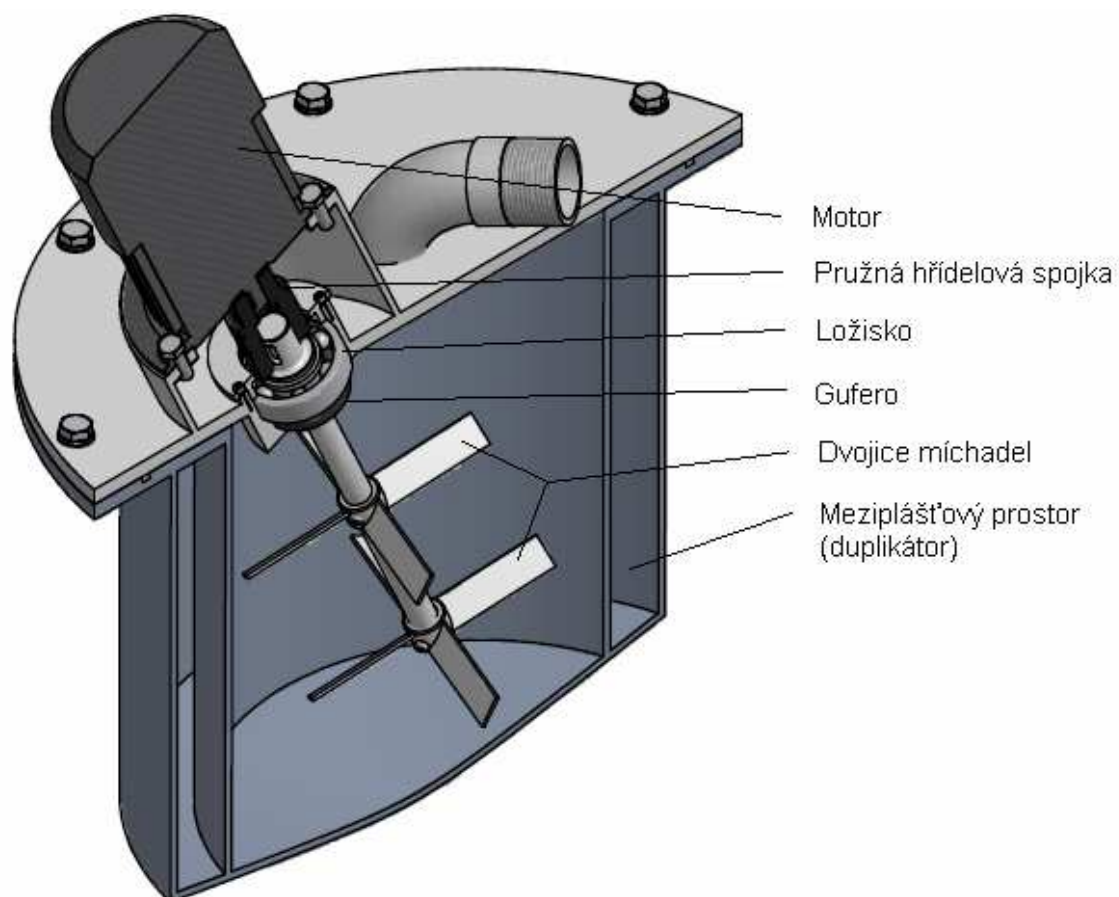
d - průměr míchadla [m]

Bylo voleno:

$$\frac{d_1}{d} = 3$$

Po dosazení do rovnice (3) a odvození činí průměru míchadla $d=0,1$ m.

Mícháním suspenze se snažíme o rovnoměrný ohřev vsázky a intenzifikaci přestupu tepla. Nejvhodnější pro náš případ se jeví lopatkové míchadlo s rovnými, šikmo umístěnými čtyřmi lopatkami. Úhel sklonu lopatek byl stanoven 45°. Zajímavostí konstrukčního řešení je umístění motoru a míchadla pod úhlem 65°. Takovýto způsob řešení umožňuje míchat suspenzi bez nutnosti narážek umístěných uvnitř nádoby, kde by v tzv. koutech nebo mrtvých bodech mohlo docházet k usazování materiálu. Výsledkem by byla nedokonalá homogenizace a popřípadě špatná tepelná úprava. Jelikož suspenze má vyšší hustotu než voda, je nutné, aby se na hřídeli nacházela dvě míchadla nad sebou. Přenos kroutícího momentu od motoru na hřídel míchadla zajišťuje pružná hřídelová spojka. Spojení zajišťuje dvojice těsných per. Vodící pouzdro je osazeno kuličkovým ložiskem s kosoúhlým stykem, které umožňuje rotační pohyb a těsnost zajišťuje gufero. Konstrukce je patrná z obr. 3.11.



Obr. 3.11 Konstrukční řešení míchadla

3.2 Výpočet příkonu míchadla

Důležitým aspektem pro dostatečné promíchávání hygienizované suspenze je vhodný výběr elektromotoru, který bude pohánět hřídel osazenou dvěma míchadly umístěnými nad sebou. Správný typ a výkon elektromotoru je určen z výpočtu pro příkon míchadla.

Základní vztah pro výpočet příkonu míchadla: [23]

$$P = P_0 \cdot n_m^3 \cdot d^5 \cdot \rho_s \quad (3)$$

kde:

P - příkon míchadla [W]

P_0 - příkonové kritérium [-]

n_m - otáčky míchadla [s^{-1}]

d - průměr míchadla [m]

ρ_s - přibližná hustota suspenze [kg/m^3]

Protože míchání zajišťují dvě míchadla, musí se vztah (3) vynásobit dvěma.

$$P = 2 \cdot P_0 \cdot n_m^3 \cdot d^5 \cdot \rho_s \quad (4)$$

Příkonové kritérium určíme ze vztahu:

$$P_0 = 1,507 \cdot \left(\frac{d_1}{d}\right)^{-0,365} \cdot \left(\frac{H_2}{d}\right)^{-0,165} \cdot \left(\frac{H}{d}\right)^{0,140} \cdot n_L^{0,701} \cdot (\sin \alpha)^{2,077} \quad (5)$$

kde:

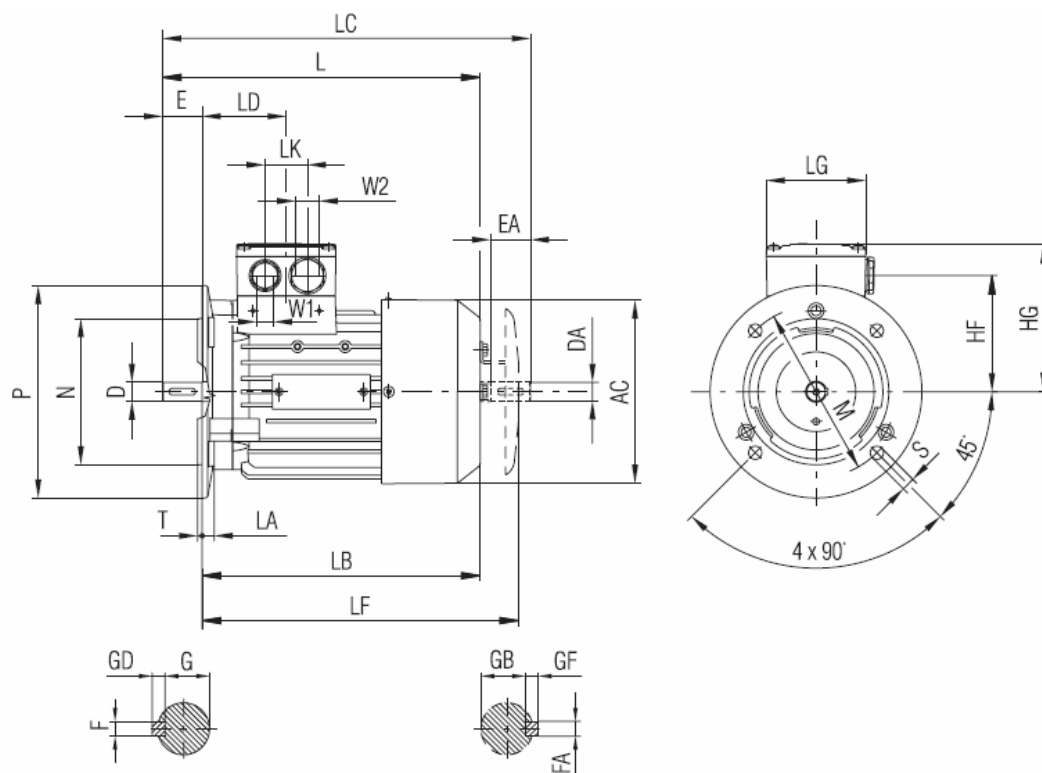
H_2 - vzdálenost míchadla od dna nádoby [m]

n_L - počet lopatek [-]

α - úhel sklonu lopatek [°]

Po dosazení všech známých proměnných do rovnice (5) je výsledkem příkonové kritérium $\approx 1,57$. Po dosazení hodnoty příkonového kritéria do rovnice (4) činí příkon míchadla 101,3 W.

Pro pohon míchadel byl zvolen přírubový trojfázový asynchronní motor s katalogovým číslem 1LAZ 070 - 6AA 11. Specifikace a katalogové rozměry jsou patrné z obr. 3.12. Jmenovitý výkon činí 180 W, otáčky motoru 835 min^{-1} , jmenovitý proud 0,67 A a napětí 230 V. Hmotnost motoru je přibližně 6,3 kg. Podrobný výpočet je proveden v matematickém softwaru Maple 9.5, který je součástí přílohy diplomové práce.



Velikost	Velikost příruby	AC	HF	HG	L*	LA	LB*	LC	LD	LF	LG	LK	M	N	
71	FF130	139	87,5	111	240	9	210	278	63,5	239	75	32	130	110	
Velikost P	S	T	W1	W2	D	DA	E	EA	F	FA	G	GB	GD	GF	
71	160	10	3,5	M16×1,5	M25×1,5	14	14	30	30	5	5	11	11	5	5

Obr. 3.12 Specifikace a katalogové rozměry elektromotoru [23]

3.3 Výpočet ohřevu suspenze

Ohřev suspenze vody a drceného kuchyňského odpadu je řešen průtokem ohřevné vody v meziplášťovém prostoru (duplikátoru) o teplotě 90 °C. Výpočtem bylo nutné zjistit, zda-li vůbec lze suspenzi ohřevnou vodou ohřát na požadovanou teplotu 70 °C a po jaký časový úsek. Jelikož se vlastnosti suspenze mohou měnit v závislosti na druhu kuchyňského odpadu, je nutné pro výpočet zavést zjednodušující předpoklady:

- fyzikálně-chemické vlastnosti suspenze uvažujeme stejné jako pro vodu,
- konstantní součinitel prostupu tepla,
- konstantní průtok ohřívací kapaliny v duplikátoru,
- měrná tepelná kapacita suspenze je konstantní se změnou teploty,
- tepelné ztráty nádoby jsou zanedbatelné.

Podrobný výpočet je proveden v matematickém softwaru Maple, který je součástí přílohy této diplomové práce.

Vnitřní průměr 0,3 m a výška 0,3 m nádoby byly stanoveny z předchozích podmínek. Z vnější strany vyhřívané nádoby bylo nutné přivařit duplikátor o vnitřním průměru 0,38 m a výšce 0,3 m, jako je to znázorněno na obr. 3.11.

Fyzikální vlastnosti pracovních látek jsou:

Vlastnost \ Prac.látka	Suspenze vody [10 °C]	Ohřívací kapalina [90 °C]
Tepelná vodivost [W/(m.K)]	0,587	0,676
Měrná tep. kapacita [kJ/(kg.K)]	4,192	4,205
Dynamická viskozita [Pa.s]	0,0013	0,0003152
Hustota [kg/m ³]	999,7	965,3

Pro zadané a známé hodnoty uvedené výše byl proveden výpočet doby ohřevu suspenze, jehož výsledkem byla doba přibližně 22 minut. Tato doba ohřevu je pouze orientační kvůli zjednodušujícím předpokladům, které vstupují do výpočtu. Dosazení a podrobný výpočet, dle odborné literatury [28], je proveden v matematickém softwaru Maple 9,5, který je součástí přílohy této diplomové práce.

4 ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byl konstrukční návrh zařízení pro termomechanickou předúpravu biologicky rozložitelných odpadů. Z důvodu přísných legislativních požadavků na anaerobní fermentaci určitých druhů nebezpečných odpadů, kdy je potřeba předřadit před samotnou fermentaci hygienizační stupeň, byl následným způsobem řešen návrh konstrukce zařízení pro termomechanickou předúpravu.

Aby tato jednotka mohla být vůbec vyrobena, bylo nutné nejprve stanovit způsob mechanického drcení a následný ohřev suspenze. Řešením je modifikovaný kuchyňský drtič a dvouplášťová nerezová nádoba, v jejímž pracovním prostoru je promíchávána suspenze míchadlem poháněným elektromotorem. Ohřev probíhá prouděním ohřevné vody v meziplášťovém prostoru, který je zajištěn termostatem Huber s integrovaným čerpadlem. Z těchto základních úvah byla vypracována výkresová dokumentace, která je součástí této diplomové práce. Dále byl proveden orientační výpočet pro ohřev hygienizované suspenze, díky němuž jsme dostali představu o tom, zda lze vůbec suspenzi zamyšleným způsobem ohřívat. Výsledek potvrdil správnost navrhovaného řešení a podrobný výpočet tvoří přílohu diplomové práce.

Nedílnou součástí diplomové práce je také teoretický rozbor způsobů nakládání s biologicky rozložitelnými odpady se zaměřením na kuchyňský odpad a na kaly z čistíren odpadních vod. Dále je popsán způsob tvorby bioplynu a rozklad biodegradabilního odpadu, který je nesmírně důležitý pro pochopení vzniku bioplynu a jeho transformací na obnovitelný zdroj energie, jehož výsledkem je elektrická energie a teplo.

V technické praxi je již využíváno hygienizačního stupně u bioplynových stanic, které zpracovávají určitou část odpadů, jež je zařazena mezi nebezpečné dle Katalogu odpadů. Problém ovšem bývá dodržování některých z bodů v nařízení Evropského parlamentu a Rady (ES) č. 1069/2009. Nejčastější příčinou je nedokonalé drcení a tím i nedostatečná hygienizace biodegradabilního materiálu. Objemnější pevné částice nejsou dostatečně tepelně upraveny a z tohoto důvodu mohou ve špatně hygienizovaném materiálu přežívat patogeny a choroboplodné zárodky, které jsou zdraví škodlivé.

Bioplyn a bioplynové stanice pracující ve všech možných uspořádáních mají obrovský potenciál na poli obnovitelných zdrojů energie. Výrobou bioplynu a následnou transformací na tepelnou a elektrickou energii lze velice efektivně řešit otázku využití a zpracování biologicky rozložitelných odpadů, abychom co nejméně zatěžovali životní prostředí. Pouze striktní dodržování legislativy České republiky nastavené Evropskou unií vede ke snížení podílu biologicky rozložitelného odpadu, který je ukládán na skládky. V rámci odpadového hospodářství musí být dodržována hierarchie způsobů nakládání s odpady, kde prvním a nejdůležitějším bodem je předcházení vzniku odpadů.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Michal P.: *Bioplyn - energie ze zemědělství* [online] Dostupné z <http://www.agronavigator.cz/attachments/Studie_bioplyn.pdf> [cit. 2. února 2011]
- [2] Bioodpad - bioplyn - energie. Odpadové fórum, Praha 2009 [online] Dostupné z <<http://www.odpadoveforum.cz/>> [cit. 2. února 2011]
- [3] TZB-INFO.cz: *Bioplynová stanice s kogenerační jednotkou pro dodávky elektřiny ve špičkách* [online] Dostupné z <<http://energie.tzb-info.cz/kogenerace/5776-bioplynova-stanice-s-kogeneracni-jednotkou-pro-dodavky-elektriny-ve-spickach>> [cit. 3. února 2011]
- [4] Hřebíček J.: *Prognóza nakládání s biodegradabilním odpadem v ČR do roku 2020* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/progniza-nakladani-s-biodegradabilnim-odpadem-v-cr-do-roku-2020>> [cit. 4. února 2011]
- [5] Hřebíček J., Piliar F., Hejč M., Horsák Z.: *Integrovaný systém nakládání s odpady - 1. část* [online] Dostupné z <http://df.biom.cz/cz-pestovani-biomasy/odborne-clanky/integrovaný-system-nakladani-s-odpady-1-cast?apc=/cz-pestovani-biomasy/odborne-clanky/integrovaný-system-nakladani-s-odpady-1-cast&nocache=invalidate&sh_itm=669498029f0f9bd8c4fb7da1ba6db8e3&sel_ids=1> [cit. 4. února 2011]
- [6] Metodický návod bioodpady 2008 [online] Dostupné z <http://www.bioportal.ragen.sk/documents/pdf/metodicky_navod_BRO.pdf?ml=5&mlt=system&tmpl=component> [cit. 4. února 2011]
- [7] Plán odpadového hospodářství ČR [online] Dostupné z <http://www.mzp.cz/cz/odpadove_hospodarstvi> [cit. 5. února 2011]
- [8] Tomášek K.: *BPS zvýší podíl čisté energie* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bps-zvysi-podil-ciste-energie>> [cit. 5. února 2011]
- [9] Slajška A.: *Možnosti nižování množství skládkovaných BRKO* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-snizovani-mnozstvi-skladkovanych-brko>> [cit. 5. února 2011]
- [10] Staněk K.: *Kompostování - řízená biologická anaerobní technologie* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/kompostovani-rizena-biologicka-aerobni-technologie>> [cit. 10. března 2011]
- [11] Slajška A.: *Dopady nařízení 1774/2002 (ES) na kompostování kuchyňských odpadů* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/dopady-narizeni-1774-2002-es-na-kompostovani-kuchynskych-odpadu>> [cit. 15. března 2011]
- [12] Dohányos M.: *Efektivní využití a likvidace čistírenských kalů* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>> [cit. 16. března 2011]

- [13] Kaly z čistíren odpadních vod [online] Dostupné z <http://www.mzp.cz/cz/kaly_cistiren_odpadnich_vod> [cit. 12. dubna 2011]
- [14] Kára J.: *Výroba a využití bioplynu v zemědělství* 1. vydání. Praha: VÚZT, v.v.i 2007, 113 s. ISBN 978-80-86884-28-8
- [15] Dohányos M.: *Anaerobní reaktor není černou skřínkou - teoretické základy anaerobní fermentace* [online] Dostupné z <<http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/anaerobni-reaktor-neni-cernou-skrinkou-teoreticke-zaklady-anaerobni-fermentace>> [cit. 30. dubna 2011]
- [16] Popis anaerobní technologie [online] Dostupné z <http://bioplyn.cs.cz/popis_anaerobni_tehnologie> [cit. 30. dubna 2011]
- [17] Biostanice [online] Dostupné z <<http://www.tenza.cz>> [cit. 30. dubna 2011]
- [18] Viessmann - zařízení na bioplyn [online] Dostupné z <<http://www.viessmann.cz/cs/products/Biogasanlagen.html>> [cit. 30. dubna 2011]
- [19] Mužík O., Kára J.: *Možnosti výroby využití bioplynu v ČR* [online] Dostupné z [cit. 5. května]
- [20] Študlar Z.: *Úvod do problematiky energetického využívání biomasy* [online] Dostupné z <www.keajc.cz/files/biomasa.pdf> [cit. 10. května]
- [21] Vlastnosti bioplynu [online] Dostupné z <<http://www.sppkj.cz/ekora-program.html>> [cit. 10. května]
- [22] Strek F., Vlček J., Krátký J.: *Míchání a míchací zařízení* 1. vyd. Praha: SNTL, 1977, 383 s.
- [23] Elektromotory [online] Dostupné z <<http://www.elektromotory.net/dokumenty/1LF7.pdf>> [cit. 10. května]
- [24] Straka F., Dohányos M.: *Bioplyn* 2. vyd. GAS s.r.o., Praha 2006. 706 s. ISBN 80-7328-090-6
- [25] Snímač teploty [online] Dostupné z <www.apoelmos.cz> [cit. 10. května]
- [26] Pojistný ventil [online] Dostupné z <www.gotze-armaturen.de> [cit. 10. května]
- [27] Vodivostní sonda [online] Dostupné z <www.dinel.cz> [cit. 10. května]
- [28] Serth R.: *Process heat transfer* Amsterdam: Elsevier Academic Press, 2007. 755 s. ISBN 078-012-3735-881
- [29] Medek J.: *Hydraulické pochody* 3. vyd. Brno: VUT 2000, 339 s. ISBN 80-214-0563-5

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 - Výkresová dokumentace zařízení pro termomechanickou předúpravu BRO

Příloha č. 2 - Výpočet příkonu elektromotoru míchadla a ohřevu suspenze

Příloha č. 3 - Kompaktní disk obsahující elektronickou verzi diplomové práce s výkresovou dokumentací a výpočty