



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION

ÚSTAV ELEKTROENERGETIKY

DEPARTMENT OF ELECTRICAL POWER ENGINEERING

NÁVRH A REALIZACE MODULÁRNÍHO BIOREAKTORU S VYUŽITÍM ODPADNÍHO TEPLA

DESIGN AND IMPLEMENTATION OF MODULAR BIOREACTOR WITH USE OF WASTED HEAT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Michal Peterka

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2017

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor **Silnoproudá elektrotechnika a elektroenergetika**

Ústav elektroenergetiky

Student: Michal Peterka

ID: 161242

Ročník: 3

Akademický rok: 2016/17

NÁZEV TÉMATU:

Návrh a realizace modulárního bioreaktoru s využitím odpadního tepla

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Zmapování současného stavu v oblasti bioreaktorů
2. Zdokumentování a doplnění stávajícího bioreaktoru
3. Návrh konceptů pro zlepšení konstrukce a provozu reaktoru
4. Analýza teplotních průběhů v bioreaktoru a určení výkonového potenciálu pro různé velikosti reaktoru

DOPORUČENÁ LITERATURA:

podle pokynů vedoucího práce

Termín zadání: 6.2.2017

Termín odevzdání: 5.6.2017

Vedoucí práce: doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Konzultant:

doc. Ing. Petr Toman, Ph.D.
předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PETERKA, M. *Návrh a realizace modulárního bioreaktoru s využitím odpadního tepla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2017. 54 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D..

„Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma *Návrh a realizace modulárního bioreaktoru s využitím odpadního tepla* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.“

V Brně dne: 05.06.2017

.....

ABSTRAKT

Cílem práce je rozšíření stávajícího projektu o další možnosti využití odpadního tepla z biodegradační procesů a vylepšení návrhu bioreaktoru. V první části práce jsou shrnuty teoretické poznatky z využití biomasy a odpadních zdrojů. Praktická část je zpočátku zaměřena na rozvoj konstrukce bioreaktoru, následující část se zabývá využitím tepelných trubíc pro odvod tepla a poslední řadě je vyzkoušeno vyhřívání fermentoru a jímání vzniklého plynu. Vzniklý návrh realizace nového bioreaktoru se osvědčil, disponoval více výhodami než předchozí typ. Tepelné trubice mají vysoký potenciál v uplatnění odvodu tepla z bioreaktoru, následující kroky by měly vést k vytvoření systému propojených tepelných trubíc a regulovanému odběru tepla. Odběr bioplynu se zpočátku zdálo jako dobrá myšlenka, ovšem procesy uvnitř fermentoru jsou složitější, než se předpokládalo. Po krátké době se procesy uvnitř fermentoru zastavily, tudíž tento směr bude vyžadovat hlubší zkoumání.

KLÍČOVÁ SLOVA: fermentor, bioreaktor, biomasa, bioplyn, odběr tepla

ABSTRACT

The aim of the thesis is to extend the existing project of further use of waste heat from biodegradation processes and to improve bioreactor design. The first part summarizes the theoretical knowledge of the use of biomass and waste resources. The practical part is initially focused on the development of the bioreactor structure, the following part deals with the use of heat pipes for heat dissipation and the last chapter is about heating the fermenter and collecting the generated gas. Designed construction of the new bioreactor proved to have more advantages than the previous type. Heat pipes have a great potential for heat dissipation from the bioreactor, next steps should lead to a system of interconnected heatpipes and controlled heat dissipation. Biogas consumption initially seemed like a good idea, but the processes within the fermenter are more complex than expected. After a short time, the processes inside the fermenter have stopped, therefore this path of research will require further exploration.

KEY WORDS: fermenter, bioreactor, biomass, biogas, heat dissipation

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD.....	12
2 BIOMASA.....	14
2.1 DRUHY BIOMASY	14
2.1.1 ROZDĚLENÍ BIOMASY Z ENERGETICKÉHO POHLEDU:	14
2.1.2 ROZDĚLENÍ ZPŮSOBU ZPRACOVÁNÍ BIOMASY:	14
3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY	16
3.1 TERMOCHEMICKÝ ZPŮSOB VYUŽITÍ BIOMASY	16
3.1.1 SPALOVÁNÍ A ZPLYŇOVÁNÍ SUCHÉ BIOMASY K VYTÁPĚNÍ DOMŮ.....	16
3.1.2 SPOLUSPALOVÁNÍ BIOMASY	18
3.1.3 ZPLYŇOVÁNÍ.....	18
3.1.4 PYROLÝZA	19
3.1.5 KOMBINOVANÁ VÝROBA ELEKTŘINY A TEPLA	19
3.2 VYUŽITÍ BIOMASY POMOCÍ CHEMICKÝCH PŘEMĚN	20
3.2.1 ESTERIFIKACE BIOOLEJŮ.....	20
3.3 BIOCHEMICKÝ ZPŮSOB VYUŽITÍ BIOMASY.....	21
3.3.1 METANOVÉ KVAŠENÍ	21
4 VYUŽITÍ ODPADNÍCH ZDROJŮ.....	25
4.1 ODPADNÍ VODY.....	25
4.1.1 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ	25
4.2 ANAEROBNÍ FERMENTACE PEVNÝCH ORGANICKÝCH ODPADŮ	26
4.3 KOMPOSTOVÁNÍ.....	27
4.3.1 MATERIÁL VHODNÝ KE KOMPOSTOVÁNÍ.....	27
4.3.2 PŘÍPRAVA MATERIÁLU.....	28
4.3.3 PRŮBĚH KOMPOSTOVACÍHO PROCESU	28
4.3.4 STUDENÉ KOMPOSTOVÁNÍ VERSUS TEPLÉ KOMPOSTOVÁNÍ	29
4.3.5 VYUŽITÍ ENERGIE Z PROCESU KOMPOSTOVÁNÍ	29
4.3.6 TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ.....	30
5 PRAKTICKÁ ČÁST.....	32
5.1 VYPRÁZDNĚNÍ A NAPLNĚNÍ PŮVODNÍHO BIOREAKTORU	32
5.2 STAVBA NOVÉHO BIOREAKTORU	35
5.3 VÝPOČET TEPELNÝCH ZTRÁT	39
5.4 ODVOD TEPLA TEPELNOU TRUBICÍ.....	43
5.4.1 VÝPOČET VÝKONU TEPELNÉ TRUBICE	45
5.4.2 GRAFICKÝ NÁVRH VYUŽITÍ.....	46
5.5 JÍMÁNÍ BIOPLYNU.....	48
6 ZÁVĚR.....	51

7 POUŽITÁ LITERATURA	52
-----------------------------------	-----------

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1-1: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské spotřebě [5]</i>	12
<i>Obrázek 1-2: Výroba elektrické energie brutto z neobnovitelných zdrojů [5]</i>	13
<i>Obrázek 3-1: Teplovodní kotel [9]</i>	17
<i>Obrázek 3-2: Automatizovaný kotel Biolit (50-70) [8]</i>	17
<i>Obrázek 3-3: Technologické schéma spalování biomasy a uhlí [1]</i>	18
<i>Obrázek 3-4: Technologické schéma pyrolýzy biomasy [1]</i>	19
<i>Obrázek 3-5: Výroba elektrické energie a tepla z biomasy ORC-technologií [13]</i>	20
<i>Obrázek 3-6: Schéma bioplynové stanice [12]</i>	23
<i>Obrázek 3-7: Výnos bioplynu z různých materiálů [15]</i>	24
<i>Obrázek 4-1: Množství plynu z různého typu biomasy [20]</i>	26
<i>Obrázek 4-2: Vlastnosti různých materiálů ke kompostování [14]</i>	27
<i>Obrázek 4-3: Průběh teploty při kompostování [21]</i>	28
<i>Obrázek 4-4: Trojúhelníkový a lichoběžníkový profil pásové hromady [4]</i>	30
<i>Obrázek 4-5: Rotační biostabilizátor Jora [25]</i>	31
<i>Obrázek 5-1: Původní bioreaktor</i>	32
<i>Obrázek 5-2: Izolace bioreaktoru č. 1</i>	33
<i>Obrázek 5-3: Průběh teploty bioreaktoru č. 1 a okolí v čase</i>	33
<i>Obrázek 5-4: Tvar nového bioreaktoru</i>	35
<i>Obrázek 5-5: Plná paleta</i>	37
<i>Obrázek 5-6: Realizace stran bioreaktoru</i>	37
<i>Obrázek 5-7: Umístění bioreaktoru</i>	38
<i>Obrázek 5-8: Způsob otevírání bioreaktoru</i>	38
<i>Obrázek 5-9: Grafické znázornění pro výpočet rovinnou plochou</i>	39
<i>Obrázek 5-10: Průběh teploty bioreaktoru č. 2, okolí a ztrát v čase</i>	42
<i>Obrázek 5-11: Tepelná trubice</i>	43
<i>Obrázek 5-12: Izolovaná tepelná trubice v reaktoru</i>	44
<i>Obrázek 5-13: Průběh teploty vody ohříváné pomocí tepelné trubice</i>	44
<i>Obrázek 5-14: Grafické znázornění pro výpočet válcovou plochou</i>	45
<i>Obrázek 5-15: Celkový návrh odvodu tepla</i>	47
<i>Obrázek 5-16: Návrh teplotnosné části</i>	47
<i>Obrázek 5-17: Uzávěr fermentoru</i>	48
<i>Obrázek 5-18: Vodní uzávěr</i>	48

<i>Obrázek 5-19: Balón na jímání bioplynu</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 5-20: Průběh teploty fermentoru</i>	<i>49</i>
<i>Obrázek 5-21: Schéma návrhu jímání bioplynu</i>	<i>50</i>
<i>Obrázek 5-22: Výsledný grafický návrh bioreaktoru s odvodem tepla a bioplynu</i>	<i>50</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 2-1: Výhřevnost při vlhkosti různých paliv [16]</i>	15
<i>Tabulka 3-1: Účinnosti a emise různých druhů kotlů [26]</i>	16
<i>Tabulka 2: Vnitřní úhly n-úhelníků</i>	35
<i>Tabulka 3: Poměr S/V pro čtyřúhelník</i>	36
<i>Tabulka 4: Poměr S/V pro pětiúhelník</i>	36

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

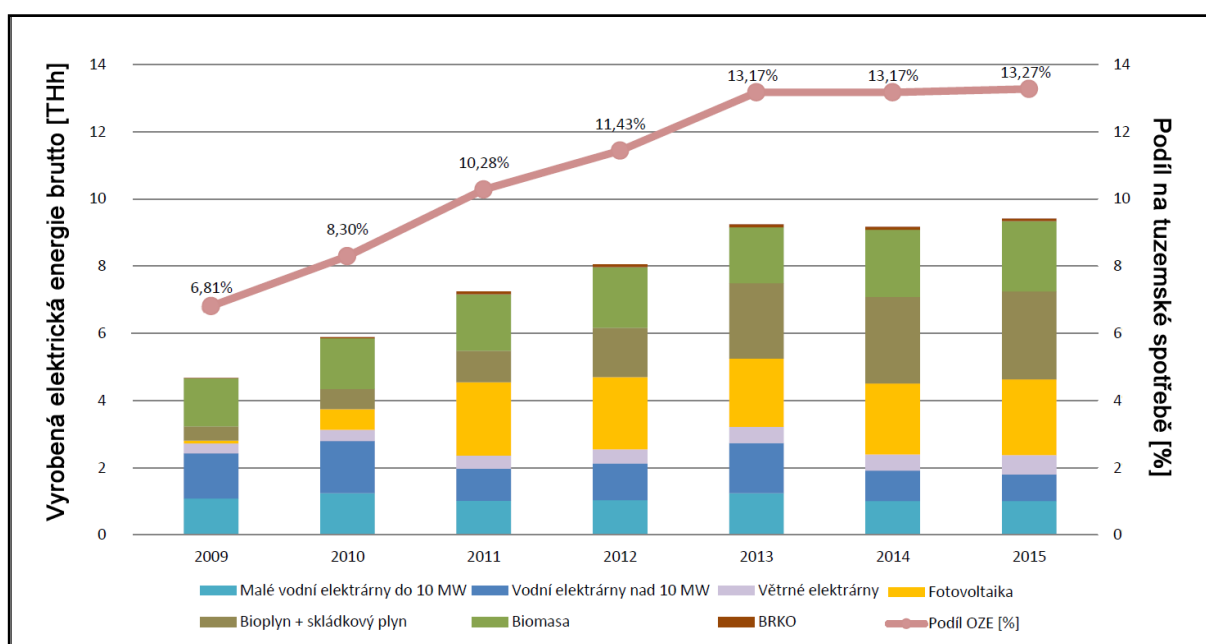
Symbol	Název	Jednotka
ČOV	Čistička odpadních vod	-
λ	součinitel tepelné vodivosti	$\text{W.m}^{-1}.\text{K}^{-1}$
t	teplota	$^{\circ}\text{C}$
T	teplota	K
d	tloušťka	m
Q	teplo	J
S	plocha	m^2
P_{Δ}	ztrátový výkon	W
$P_{\Delta C}$	ztrátový výkon všemi plochami	W
$P_{\Delta M}$	průměrný ztrátový výkon	W
$P_{\Delta CM}$	průměrný ztrátový výkon všemi plochami	W
Q_{ZTR}	celkové tepelné ztráty	J
m	hmotnost	kg
c	měrné teplo vody	$\text{J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$
P	výkon	W
t	čas	s
r	poloměr	m
l	výška	m

1 ÚVOD

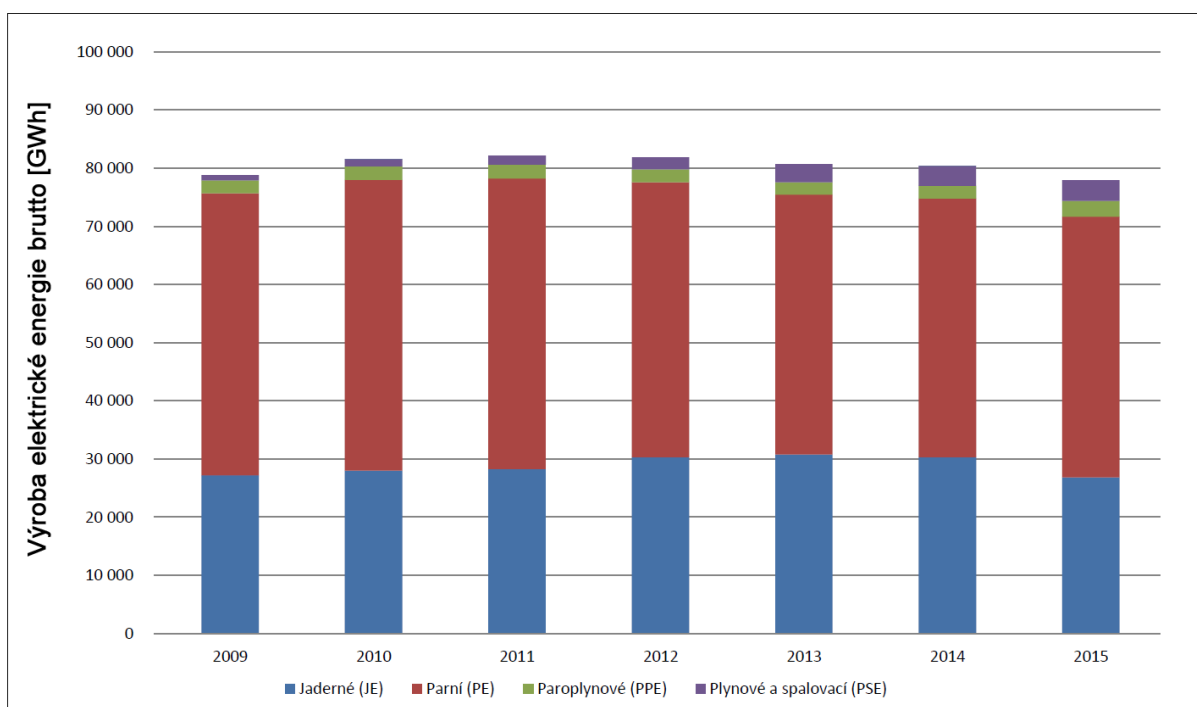
Spotřeba energií ve světě má stoupající tendenci, lidská populace se vyvíjí, rozšiřuje a zvyšuje své nároky na život, trh je zaplaven spoustou výrobků a odbyt stoupá. Výroba těchto produktů spotřebovává značné množství energie, počet elektrických zařízení se ve stále se rozrůstajících domácnostech zvyšuje, nároky na energie se tedy pořád navyšují a v budoucnu tomu jinak ani nebude. Energie se může vyrobit více způsoby, jeden ze způsobů je spalování fosilních paliv, tento způsob ale velmi zatěžuje životní prostředí a zásoby nerostných surovin nejsou bezendné. Jaderné elektrárny také zatěžují životní prostředí, recyklace vyhořelého paliva je nákladná záležitost, takže se musí odpad ukládat. Větrná a solární výroba energie sice pochází z přírodních zdrojů, jako je vítr a slunce, ovšem výroba těchto zařízení je pro životní prostředí také velmi zatěžující. Mělo by se tedy uvažovat nad tím, jak energii vyrobit opravdu ekologickým způsobem a přírodě tedy alespoň trochu ulehčit, protože bez spalování fosilních paliv, nebo štěpení jádra se ještě dlouhou dobu neobejdeme.

Velmi ekologický způsob může být energetické využití biomasy, zařízení pro toto využití se mohou skládat z velké části z ekologických materiálů a následný proces přeměny neznámá žádnou ekologickou zátěž. Slunce dodá energii rostlině, ta tuto energii přemění ve vlastní energii k růstu, poté co rostlina zahyne, nastává proces tlení, ve kterém se přeměňuje v organické hnojivo za působení organismů a ty vyzáří do okolí energii ve formě tepla. V podstatě jde tedy zase o energetické využití slunečního záření.

Pokud se porovná vývoj výroby elektrické energie z neobnovitelných zdrojů (obrázek 1-1 a zdrojů obnovitelných (obrázek 1-2), tak je vidět útlum uhelných elektráren, který je způsoben renovací zastaralých částí a ukončení provozu vybraných bloků. Obnovitelné zdroje zažívaly v posledních letech zvýšení výroby, především díky fotovoltaickým panelům výrobě elektrické energie z bioplynu. Můžeme tedy očekávat vzrůstající tendenci výroby elektrické energie z obnovitelných zdrojů a snižující se výrobu ze zdrojů neobnovitelných.



Obrázek 1-1: Vývoj výroby elektřiny brutto z OZE a její podíl na tuzemské spotřebě [5]



Obrázek 1-2: Výroba elektrické energie brutto z neobnovitelných zdrojů [5]

Ve světě se uplatňují i jiné energetické možnosti, v České republice bohužel tyto zdroje chybí. Může se jednat například o geotermální energii, nebo o energii získanou z opakovaného přílivu a odlivu moře.

2 BIOMASA

Biomasa je veškerá organická hmota na naší planetě, ať už rostlinného či živočišného původu.

Základním principem pro získání biomasy je zachycování slunečního záření, vznik jednoduchých cukrů pomocí fotosyntézy, které se dalšími reakcemi mění na cukry složitější, škroby a další látky. Výhody biomasy spočívají v tom, že jde o nekonečný zdroj energie, přeměny odpadu na energii a vyrovnaná bilance oxidu uhličitého.

2.1 Druhy biomasy

Rostliny

- Rostliny jednoleté, víceleté, vytrvalé (konopí seté, hořčice sardská, šťovík krmný)

Výhodou těchto rostlin je, že se pouze vysévají a umožňují rychlý přechod zpět na potravinářské využití. Výhodné je tedy tyto rostliny pěstovat na půdách, pro které není momentální využití.

- Energetické trávy a rychle rostoucí dřeviny (kostřava rákosovitá, topoly, vrby, olše)

Odpadní biomasa

- Rostlinné zbytky ze zemědělství (kukuřičná, obilná, řepková sláma)
- Odpady z živočišné výroby (exkrementy hospodářských zvířat, zbytky krmiv)
- Pevné odpady (kůra, větve, pařezy, kořeny, odřezky)
- Organický podíl tuhých komunálních odpadů z venkovských sídel, odpady z ČOV
- Organické odpady z průmyslu (odpady z jatek, mlékáren, lihovarů, cukrovarů a jiné)[6]

2.1.1 Rozdělení biomasy z energetického pohledu:

- Výroba tepla přímým spalováním (dřevo, dřevní odpad, sláma)
- Zpracování na kvalitnější paliva (pelety, brikety, bioplyn, etanol, bionafta) [17]

K výrobě tepla přímým spalováním se nejčastěji využívá dřevo a dřevní odpad, případně sláma. Z biomasy můžeme vyrobit palivo, tedy pelety, brikety, bioplyn, etanol a bionaftu. V tomto případě můžeme využít i odpady z živočišné výroby.

2.1.2 Rozdělení způsobu zpracování biomasy:

Suché procesy - termochemické:

- Spalování
- Pyrolýza
- Zplyňování

Mokrý procesy - biochemické:

- Metanové kvašení (anaerobní proces)
- Alkoholové kvašení (anaerobní proces)
- Octové kvašení (aerobní proces)

Fyzikální přeměny:

- Mechanické – štípání, drcení, lisování, mletí, briketování, peletování

Chemické přeměny:

- Esterifikace

Získávání odpadního tepla:

- Čištění odpadních vod
- Anaerobní fermentace pevných organických odpadů
- Kompostování [1]

Výhřevnost biomateriálu klesá s vlhkostí a je závislá na druhu rostliny, energie v 1 kg dřeva s nulovou vlhkostí je asi 5,2 KWh. Dřevo nelze vysušit úplně a minimální obsah vody je asi 20% hmotnosti suchého dřeva. Při spalování se tedy voda musí odpařit a výsledná energie je kolem 4,4 KWh. Sláma se dokáže vysušit více a tím dochází k menším ztrátám [7].

Tabulka 2-1: Výhřevnost při vlhkosti různých paliv [16]

Druh	Výhřevnost	Při vlhkosti
	[MJ/kg]	[% hm]
Dřevo kusové	15,30	14,40
Dřevo-brikety	17,54	7,42
Dřevo-pelety	17,54	7,42
Dřevo-štěpka	9,84	41,74
Dřevěná kůra, mix	15,92	4,82
Papír, brikety	11,98	4,61
Sláma obilní	15,46	10,00
Sláma řepková	15,90	5,56
Sláma pšeničná	14,58	13,01
Sláma lisovaná, role, kvádry	15,46	10,00
Pelety	15,46	10,00
Sláma řepková, brikety	15,42	11,16
Řepkové šroty granulované	16,70	9,21
Slunečnicové slupky	24,05	5,22
Městské odpadky	8,14	33,00

3 ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY

3.1 Termochemický způsob využití biomasy

3.1.1 Spalování a zplyňování suché biomasy k vytápění domů

Biomasa vzniká při fotosyntéze z oxidu uhličitého a vody. Při jejím spalování se tedy do ovzduší odevzdá stejné množství oxidu uhličitého, které bylo potřebné pro růst. Tímto se cyklus uzavírá a v biosféře nevzniká nerovnováha, což je nesporná výhoda.

Nutné prostředky pro vytápění jsou kamna, komín a dostatečný úložný prostor pro materiál. Dostatečný úložný prostor se jeví jako velká nevýhoda, především pokud je vytápěn panelákový byt a kotel je součástí bytu.

Z biomasy se vlivem působení vysokých teplot uvolňuje hořlavý plyn, tento plyn se může za přístupu vzduchu ihned jednoduše spalovat, nebo bez přístupu vzduchu odvádět do spalovacích komor a zde se již spaluje stejně jako jiná plynná paliva. Výhoda spalovacích komor je v lepší regulaci a vyšší účinnosti [1].

Tabulka 3-1: Účinnosti a emise různých druhů kotlů [26]

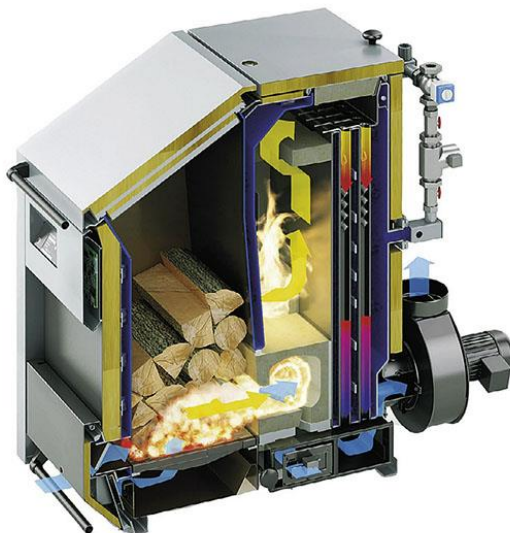
	hnědé uhlí	dřevní pelety	nedřevní pelety	kusové dřevo
	emise CO [mg/m ³] při referenčních 10 % O ₂			
automatický	200–1000	100–600	300–4000	–
zplyňovací	200–7000	–	–	200–6000
odhořivací	5000–15000	–	–	4000–15000
prohořivací	20000–30000	–	–	5000–25000
	emise TZL [mg/m ³] při referenčních 10 % O ₂			
automatický	10–80	10–100	30–150	–
zplyňovací	30–150	–	–	20–150
odhořivací	50–200	–	–	50–250
prohořivací	200–300	–	–	50–350
	účinnost [%]			
automatický	75–85	80–90	75–85	–
zplyňovací	70–80	–	–	75–85
odhořivací	60–75	–	–	60–75
prohořivací	40–60	–	–	55–65

3.1.1.1 Klasická kamna

Klasická kamna mají výhodu, že se v nich dá spalovat i uhlí, nemají nároky na kvalitu paliva a jsou poměrně levná. Nevýhodou je požadované přikládání, které není automatizované a čištění. Tyto kamna se dělí na prohořivací a odhořivací. U prohořivacích probíhá postupné spalování a spaliny procházejí přes vrstvu paliva. U odhořivacích kamen probíhá spalování u postupně doplňované vrstvy [3] [9].

3.1.1.2 Teplovodní kotle na zplyňování

Funkce těchto kotlů spočívá ve zplyňování biomasy nebo uhlí na dřevoplyn, který poté hoří ve spalovací komoře. Výhody těchto kotlů jsou v dobré regulovatelnosti a díky velkému zásobníku paliva možnost stáložárního provozu. Nevýhodou je náročnost na kvalitu paliva, kdy se kotel při nekvalitním materiálu velmi zanáší a poškozuje [3] [8].



Obrázek 3-1: Teplovodní kotel [9]

3.1.1.3 Kotle na dřevěné štěpky či pelety

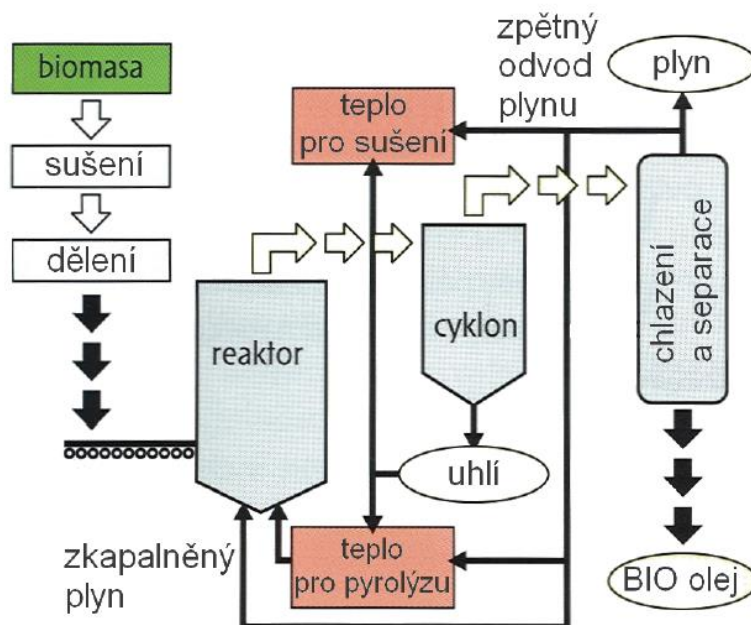
Plně automatizované kotle, které mají zásobník a řídicí jednotku, ta dávkuje palivo a vzduch podle potřeby. Jako palivo můžeme použít dřevěnou štěpku, nebo pelety, což jsou granule vyrobené lisováním zbytků dřeva, nebo rostlin. Výhod je několik, malá údržba, velký zásobník, řídicí jednotka a která se stará o chod. Naproti tomu jsou zde vysoké pořizovací náklady jak pro kotel, tak pro palivový materiál [3] [9].



Obrázek 3-2: Automatizovaný kotel Biolit (50-70) [8]

3.1.4 Pyrolýza

Jedná se o jednoduchý způsob úpravy biomasy na kvalitnější palivo (dřevěné uhlí). Při tomto ději dochází k termickému rozkladu materiálu za nedostatku vzduchu, teploty se zde pohybují mezi 400 až 700 °C, vzniká plyn, který se dá zužítkovat a dřevěné uhlí. Vzhledem k tomu, že proces probíhá při poměrně nízkých teplotách, se do ovzduší vypustí méně škodlivých látek, než při spalovacím procesu. Technologické schéma můžeme vidět na obrázku 3-4 [1].



Obrázek 3-4: Technologické schéma pyrolýzy biomasy [1]

3.1.5 Kombinovaná výroba elektřiny a tepla

Kombinovaná výroba je ekonomicky příznivá. V letních dnech, kdy není potřeba vytápět budovy, se teplo může využít třeba na sušení dřeva, výrobu parket apod. Poměr výroby tepla k elektrické energii je asi 1:3 až 1:8 [7] [13].

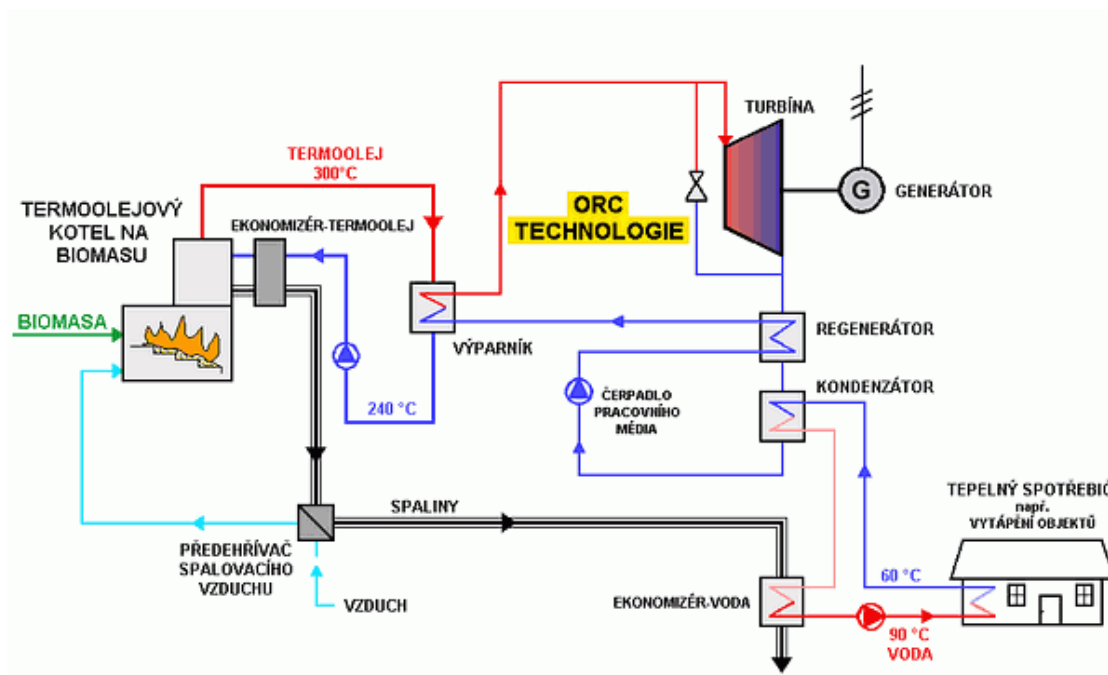
3.1.5.1 Termální olejový cyklus

U klasických tepelných elektráren je tepelná energie transformována na energii mechanickou v tepelném oběhu, který nazýváme Rankin – Clausiův cyklus. Tento elektrárenský cyklus využívá jako pracovní látku vodu. Voda je zde přivedena do kotle, ve kterém se odpařuje a v přehříváku se mění v admissní páru, která je přivedena do turbíny, tam expanduje a v kondenzátoru mění své skupenství zpět na kapalný stav. Účinnost oběhu je kolem 40 %.

Organický Rankinův cyklus namísto vody využívá jako pracovní látku směs organických sloučenin (silikonový olej). Organické látky mají výrazně nižší výparné teploty, dají se tedy nasadit na recyklaci tepelné energie o nižších teplotách. Ve výparníku olej předá teplo sekundárnímu okruhu s organickou pracovní látkou, která se vypařuje a expanduje v turbíně a je napojena na generátor. Pára za turbínou znovu mění své skupenství v kondenzátoru, kde předává energii teplotnější látce a ta dodává teplo do objektů. Účinnost kogenerace je cca 85%.

Výhody oproti parovodním cyklům:

- nižší otáčky turbíny umožňující pohon generátoru bez převodovky
- možnost využití obnovitelných zdrojů s menší výhřevností
- nižší tlak a teplota v celém oběhu [7] [13].



Obrázek 3-5: Výroba elektrické energie a tepla z biomasy ORC-technologií [13]

3.2 Využití biomasy pomocí chemických přeměn

3.2.1 Esterifikace bioolejů

K esterifikaci se využívá rostlinných olejů, především olejnatých plodin, jako je řepka nebo slunečnice a živočišných tuků. Při procesu methylesterifikace se tyto oleje a tuky za přidání metylalkoholu mění na metylestery, tedy známou bionaftu. Zahříváním směsi probíhá reakce ovlivňována kyselinou (HCl , H_2SO_4) rozpuštěnou v alkoholu. Probíhající reakce se zastaví zchlazením, při kterém se vytvoří dvě vrstvy. Spodní vrstva obsahuje nezreagovaný tuk a v horní vrstvě je esterifikovaný tuk a metanol. Po separaci vrchní vrstvy vzniká methylester, který je finálně zbaven vlhkosti [1].

3.3 Biochemický způsob využití biomasy

3.3.1 Metanové kvašení

Metanové kvašení je proces, při němž organismy rozkládají vlhký organický materiál (cukry, tuky, bílkoviny) převážně na metan a CO_2 , tato směs se nazývá bioplyn. Název bioplyn lze použít pro plynou směs, které vznikly činností mikroorganismů. Existuje několik druhů bioplynu, nejznámější je bioplyn vznikající z živočišné výroby, případně i z rostlinných zbytků. Plyn lze získávat i při rozkladu přírodních a umělých nádrží nebo ze skládek komunálního odpadu [7].

Bioplyn je plyné palivo, primárně určené k výrobě elektrické energie, při jeho výrobě se plní dvě funkce:

- Zpracovávají se organické odpady s vyšší vlhkostí, které nejsou vhodné pro spalování, například kejdu. Výsledný produkt (digestát) je ovšem mylně zaměňován s vysoce kvalitním hnojivem, digestát není organické hnojivo, proces anaerobní digesce zanechal v surovině jen stabilní organické látky, které jsou špatně rozložitelné. Jedná se tedy jen o slabé minerální hnojivo [2] [7].
- Vytváří se kvalitní palivo – bioplyn s obsahem 50–75 % metanu a vodíku, nepatrným množstvím odstranitelného oxidu siřičitého a 25–50 % oxidu uhličitého. Svými vlastnostmi se bioplyn blíží výhřevnosti zemního plynu, jeho výhřevnost je asi 20,5 až 22 MJ/m^3 , má tedy asi 70 % výhřevnosti zemního plynu. Bioplyn je možné upravit na čistý metan, tato možnost ale není v praxi využívána [7].

3.3.1.1 Technologie

V případě, že se organická hmota rozkládá bez přístupu vzduchu, takzvaný anaerobní proces, vzniká plyn s vysokým obsahem metanu, který dobře hoří. Materiál potřebný pro kvašení musí mít určité vlastnosti, nízký obsah anorganických látek, vysoký obsah biologicky rozložitelného odpadu, optimální hodnotu pH (7 až 7,8), poměr obsahu uhlíku a dusíku, optimálně kolem 30:1 a v poslední řadě je důležitý i obsah sušiny, u pevných odpadů je optimální hodnota 22 až 25 % a v případě tekutých odpadů je to 8 až 14 %.

Základem bioplynové stanice je fermentor, zde se biomasa rozkládá. Proces rozkladu se může urychlit vyhříváním fermentoru, k tomu se využívá vzniklý bioplyn. Pokud proces rozkladu neproběhne až do konce, nedostatečně zpracovaná biomasa zapáchá. Tento jev nastává u provozovatelů stanic, kterým se nelíbí, že ke konci procesu už je produkce bioplynu nízká. Biomasa se před vložením do fermentoru musí rozmělnit, případně smíchat s jiným druhem biomasy pro lepší rozklad. Jateční odpady (části těl jatečných zvířat nevyužívané pro lidskou výživu) musí být za vyšších teplot zbaveny choroboplodných zárodků.

V závislosti na obsahu sušiny může být fermentace suchá, nebo mokrá, přičemž hranice mezi nimi je asi 50%. Technologie diskontinuální, kdy se fermentor jednorázově naplní a po uplynutí určité doby (kolem 30 dní) se jeho obsah musí vyměnit, se používá většinou u suché fermentace tuhých organických materiálů. Kontinuální technologie se používá většinou u mokré fermentace, zde se materiál doplňuje postupně [1] [7] [10] [11].

3.3.1.2 Fermentace

Samotný proces anaerobní fermentace je vícestupňový proces, dochází zde k přeměně sacharidů, tuků a bílkovin na bioplyn působením mikroorganismů, které tímto procesem získávají energii. Rozklad hmoty probíhá při teplotě asi 37 °C, což je teplota zažívacího traktu živočichů. Tato teplota se musí udržovat a v zimě spotřebuje asi 30 % vyrobeného tepla. Celý proces má 4 fáze:

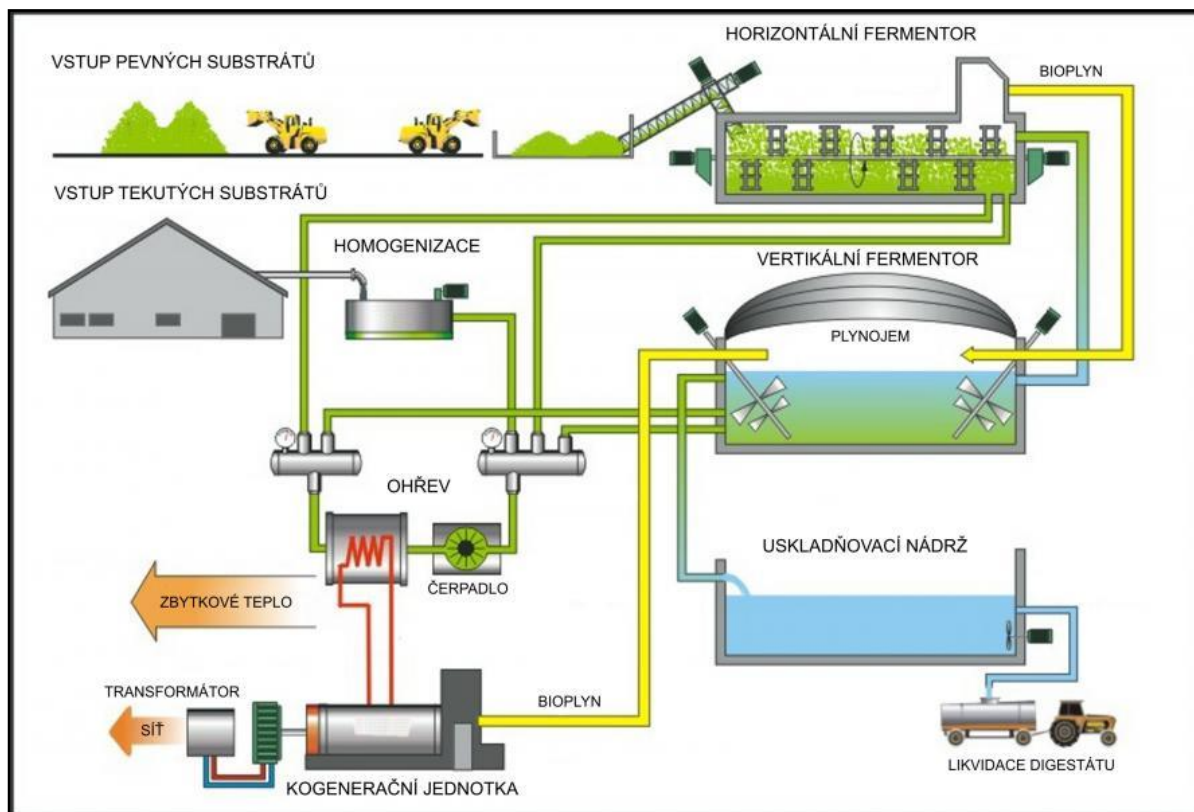
- Hydrolýza
 - Zde není vyžadováno bezkyslíkaté prostředí, mikroorganismy pouze vyžadují dostatečnou vlhkost. V této části procesu dochází k přeměně vlhkých organických látek na jednodušší organické sloučeniny
- Acidogeneze
 - V této části vznikají z vlhkých organických látek organické kyseliny (kapronová, valerová, máselná, propionová a octová). Anaerobní bakterie se zde podílejí na vzniku H_2 a CO_2
- Acetogeneze
 - Bakterie zde přeměňují vyšší organické kyseliny na kyselinu octovou
- Metanogeneze
 - Tato fáze má dva procesy. Kyselina octová se zde rozkládá na metan a oxid uhličitý pomocí metanogenních acetotrofních bakterií a hydrogenní bakterie zde produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého [1] [7]

Tvorba bioplynu probíhá vždy, pokud se rozkládá organická hmota bez přístupu kyslíku činností řadou mikroorganismů. Podle druhu organismů můžeme procesy tvorby rozdělit na:

- Psychofilní: děj probíhá při teplotě 10 až 20 °C
- Mezofilní: děj probíhá při teplotě 20 až 40 °C
- Termofilní: děj probíhá při teplotě 50 až 55 °C [1] [7]

Nejvyšší produkce probíhá za termofilního děje, který má řadu dalších výhod, například vyšší reakční rychlosti a vyšší účinnost při eliminaci nežádoucích mikroorganismů (patogenů). Nejčastěji používaný proces je ale mezofilní z toho důvodu, že je méně citlivý na změny prostředí ve fermentoru.

Vyrobený bioplyn se skladuje v plynojemu a poté se spaluje v spalovací jednotce, ve které je spalovací motor a generátor pro výrobu elektrické energie. Hlavním aspektem je výroba elektřiny, případně tepla, které je využíváno k vyhřívání fermentoru a vytápění budov [1] [7].



Obrázek 3-6: Schéma bioplynové stanice [12]

3.3.1.3 Kogenerační využití bioplynu

U většiny bioplynových stanic se využívají naftové motory. Bioplyn se nečistí a proto se k němu musí přidávat asi 8 % nafty z důvodu mazání a chlazení. Vzniklé teplo se využívá k vytápění [7].

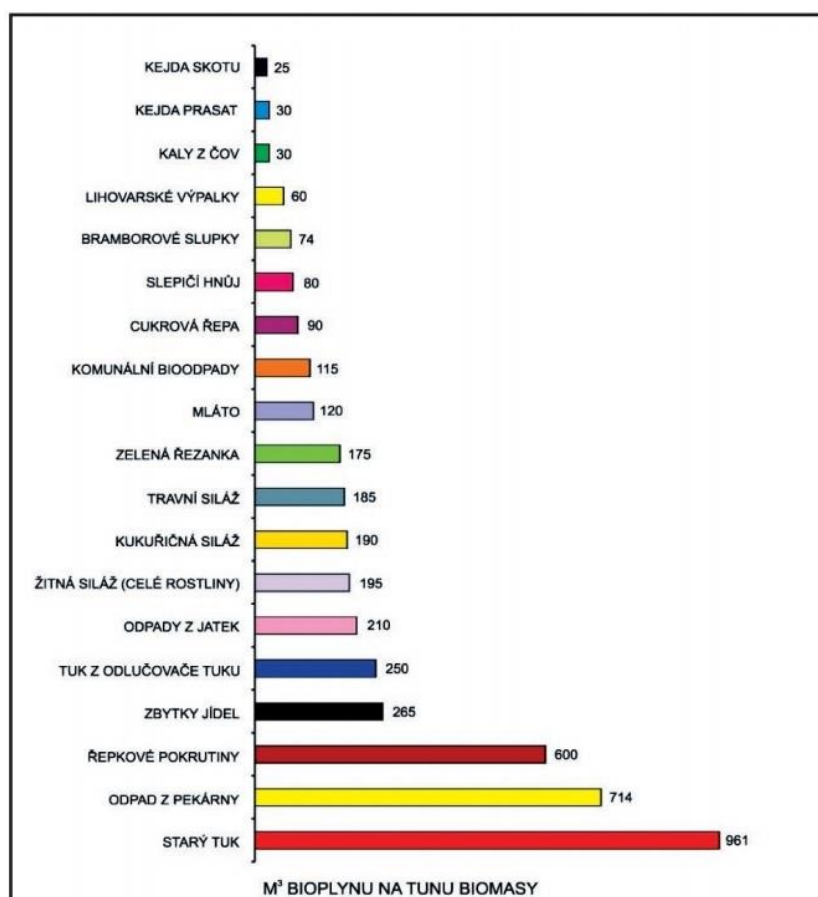
3.3.1.4 Sušení bioplynu

Bioplyn se suší, aby se z něho odstranila vlhkost, která je příčinou koroze zařízení. Nejjednodušší metodou sušení je pomocí tepelného čerpadla. Bioplyn se ochlazuje ve výměníku tepla chladícím agregátem a vzniklá odloučená voda se z plynu odstraňuje. Plyn je poté zahřát kompresní částí chladicího zařízení. Tímto způsobem se vzdálí vlhkost bioplynu od rosného bodu. Ve většině případů je tato technologie dostačující a cenově přijatelná [7].

3.3.1.5 Ekonomika bioplynových stanic

Náklady na bioplynovou stanici, ve které se zpracovávají exkrementy a zemědělské odpady jsou 80 až 120 tisíc Kč/kW elektrického výkonu. U bioplynových stanic, které zpracovávají komunální odpad, zbytky potravin nebo jiný druh odpadu jsou náklady zhruba dvojnásobné. Vzhledem k tomu, že životnost bioplynové stanice je asi 20 let, doba návratnosti investice 15–20 let, musí se projekt správně zpracovat, aby nebyl nevýhodný. Především dovoz a nákup biomasy je velice neekonomický.

Hlavním zdrojem příjmů bioplynových stanic je dodávka elektrické energie do sítě, výkupní ceny se liší podle typu zpracovávané biomasy. Pokud se jedná o cíleně pěstovanou biomasu, je výkupní cena vyšší, než je tomu u odpadní biomasy. Dalším příjmem stanice může být i dodávka tepla, která sebou nese ale řadu problémů. Pokud jde o vytápění rodinných domů, tak umístění bioplynové stanice musí být v blízkosti těchto domů z důvodu ztrát při rozvodu tepla na větší vzdálenosti. To ovšem není ekonomické z důvodu, že by se musela do stanice dovážet biomasa. Ideální řešení se tedy nabízí stavět bioplynové stanice v blízkosti zemědělských budov a vytápět přímo tyto budovy [7].



Obrázek 3-7: Výnos bioplynu z různých materiálů [15]

4 VYUŽITÍ ODPADNÍCH ZDROJŮ

4.1 Odpadní vody

Z odpadních vod se může energie získat převážně dvěma způsoby. První možností je využití teploty odpadní vody, tento způsob se může využít jak v domácnostech, tak v kanalizacích. Princip spočívá ve využití výměníků, kdy se z odpadní vody odebírá její tepelná energie.

Druhým způsobem je využití kalů z ČOV, zde se jedná opět o využití biomasy pro energetické účely. Typy kalů:

- Primární kal
 - Kal z osazovacích nádrží, které prošly lapákem písku a česlemi
- Sekundární
 - Kal z dosazovacích nádrží, jeho charakter je ovlivněn čistícím zařízením [18] [24]

Kaly představují asi 1–2 % objemu čištěných vod a obsahují 50–80 % původního znečištění. Složení sušiny kalu závisí na charakteru znečištění a na procesech čištění, kterým byla odpadní voda podrobena (mechanické, biologické, chemické). Způsoby zpracování těchto kalů závisí na vlastnostech kalů, tedy jejich složení a na podmínkách dané lokality.

Možnosti zpracování:

- Využití v zemědělství po předchozí stabilizaci.
- Uložení na skládku
- Energetické využití [19] [24]

4.1.1 Energetické využití

Energetický potenciál kalu je závislý na jeho složení a na obsažené vlhkosti. Kal se tedy před využitím vysušuje.

Možné způsoby využití:

- Výroba bioplynu pomocí již zmiňované anaerobní fermentace
- Výroba paliva pomocí pyrolýzy a zplyňování
- Přímé spalování sušeného kalu
- Kompostování [19] [24]

Kompostování kalů má nejvyšší nároky na kvalitu kalů, musí obsahovat dostatečné množství organických složek (>70 %), dostatečný obsah vody (55 %) a dostatečné množství živin (dusík, fosfor). Vysoká vlhkost, tedy kolem 60 % snižuje teplotu, poróznost a obsah kyslíku. Nízká vlhkost pod 50 % snižuje rychlost kompostování. Při vlhkost 10–15 % se aktivita bakterií zcela zastaví. Činnost bakterií ovlivňuje i pH, ideální je rozsah mezi 5,5 – 8. Musí být také dodržen poměr mezi uhlíkem a dusíkem, ten se pohybuje mezi 25–30:1.

Při kompostování kalů musí být zajištěná dostatečná hygienizace. Při klasickém kompostování je potřeba k likvidaci patogenů udržovaná teplota vyšší než 50 °C po dobu alespoň 21 dnů. Při termofilním kompostování nastává hygienizace při teplotě 65–70 °C již po 3 dnech [19] [24].

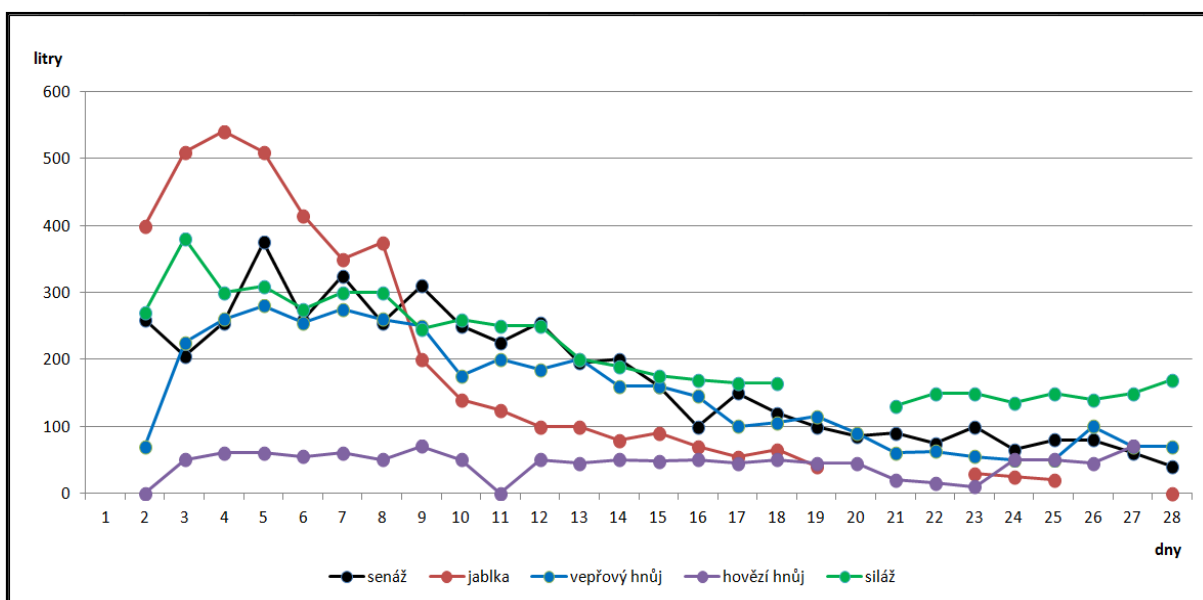
4.2 Anaerobní fermentace pevných organických odpadů

Jedná se o proces suché anaerobní fermentace biologicky rozložitelných materiálů k výrobě bioplynu. Zpracovává se především biomasa s vyšším obsahem sušiny, například:

- Hnůj z živočišné výroby
- Kukuřičná senáž
- Travní siláž
- Tráva z veřejných prostranství
- Různý biologicky rozložitelný odpad (ovoce, zelenina a jiné)
- Vytríděné komunální odpady

Výhody suché fermentace:

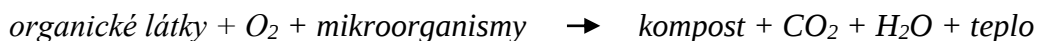
- Využitelnost biomasy s vyšším obsahem sušiny
- Využitelnost zemědělských, potravinářských a komunálních odpadů
- Biomasu není nutné upravovat před vstupem do fermentoru [20]



Obrázek 4-1: Množství plynu z různého typu biomasy [20]

4.3 Kompostování

Kompostování je způsob, jak zhodnotit organické odpady k výrobě užitečného hnojiva pomocí mikroorganismů. Jedná se o aerobní proces, tedy za přístupu kyslíku a může se říci, že ekologický. Se zvyšující se intenzitou provzdušňování dochází k rychlejšímu zrání kompostu, v případě nedostatečného provzdušnění nastupují anaerobní procesy, dochází k hnití a kompost „kysne“. Cílem kompostování je stabilizovat organickou hmotu, zmenšit objem a vyrobit kvalitní hnojivo, proces kompostování můžeme znázornit následující rovnicí [14].



4.3.1 Materiál vhodný ke kompostování

Při kompostování je důležité zajistit vhodné podmínky pro organismy, především mikrobiologické vlastnosti vstupních surovin a výběr správné technologie kompostování.

Nejdůležitějším parametrem je poměr C: N, u čerstvě založeného kompostu by se měl poměr pohybovat asi 35:1, u vyzrálého kompostu v rozmezí 25–30:1. V případě, že je poměr příliš široký, dochází z prodloužení procesu zrání a v opačném případě dochází u čerstvého kompostu ke ztrátám čpavkového dusíku a snižuje se tvorba humusových látek. Důležitý je také obsah fosforu, ten by se měl pohybovat nad 0,2 % P_2O_5 v sušině.

Vlhkost zemitého kompostu by se měla pohybovat mezi 50–55 %, u kompostu s převahou dřevní štěpky, nebo stromové kůry mezi 65–70 %. Nedostatečná vlhkost způsobuje vývoj nevhodné mikroflóry, především plísni. V opačném případě, kdy je vlhkosti nadbytek, dochází v kompostu k nedostatku kyslíku a vývoji anaerobní mikroflóry. Vlastnosti různých materiálů můžeme vidět na obrázku [14].

MATERIÁL	VLHKOST [%]	ORGANICKÉ LÁTKY [%]	OBSAH C [%]	OBSAH N [%]	POMĚR C:N	P_2O_5 [%]	K_2O [%]	MgO [%]
Piliny	40 - 70	97 - 99	44 - 45	0,0 - 0,2	400	0,0 - 0,1	0,0 - 0,1	0,0
Stařina z luk	10 - 30	88 - 95	41 - 43	0,8 - 1,0	46	0,4 - 0,6	1,0 - 1,8	0,1 - 0,2
Kejda skotu	94 - 99	70 - 81	29 - 36	3,5 - 8,1	7	2,6 - 3,7	3,0 - 4,0	0,6 - 1,0
Hněj skotu	75 - 82	79 - 85	35 - 43	1,8 - 2,5	13	9,0 - 1,2	2,1 - 2,5	0,2 - 0,5
Sláma	13 - 20	92 - 96	41 - 43	0,4 - 0,6	84	0,1 - 0,3	0,9 - 1,1	0,1 - 0,2
Bramborová nat'	25 - 60	88 - 91	40 - 41	0,7 - 0,8	54	0,2 - 0,3	1,3 - 1,6	0,1 - 0,2
Odpady ze zeleniny	80 - 90	85 - 90	38 - 41	1,5 - 2,5	20	0,8 - 1,3	1,0 - 2,0	0,2 - 0,4
Kuchyňský odpad	65 - 80	75 - 88	34 - 40	1,2 - 2,3	21	0,3 - 0,7	0,4 - 0,8	0,3 - 0,6
Výlisky z ovoce	65 - 87	78 - 92	35 - 41	0,1 - 0,6	109	0,1 - 0,3	0,3 - 0,6	0,0 - 0,1
Kanalizační kal	55 - 96	27 - 45	12 - 20	2,5 - 4,5	47	0,6 - 1,3	0,3 - 0,8	0,1 - 1,0
Kůra	40 - 70	94 - 98	42 - 44	0,2 - 0,4	143	0,0 - 0,2	0,0 - 0,3	0,0

Obrázek 4-2: Vlastnosti různých materiálů ke kompostování [14]

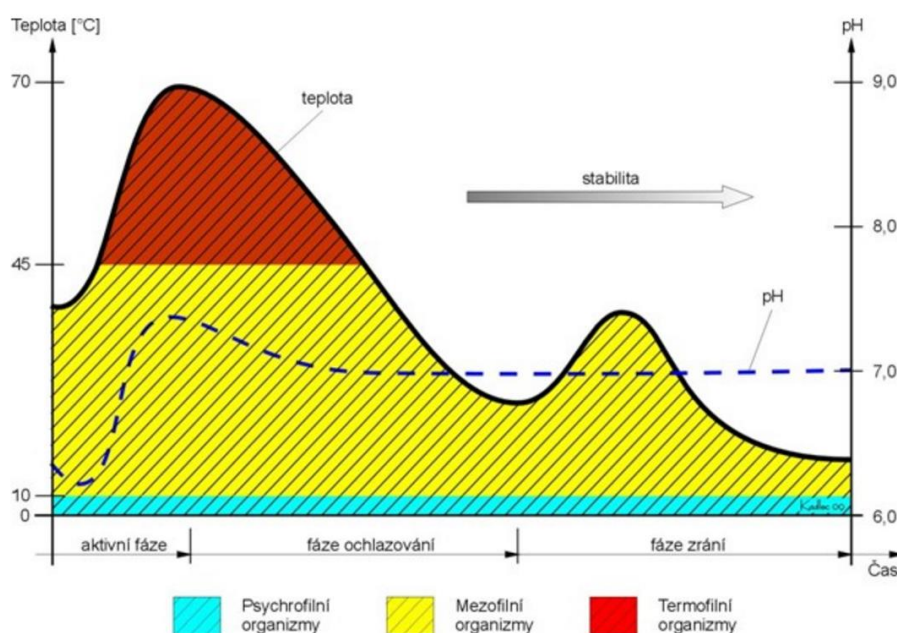
4.3.2 Příprava materiálu

V materiálu by neměly být žádné části, které by mohly proces kompostování negativně ovlivnit. Ideální velikost použitého materiálu je 15–25 mm, rozdrcený materiál má větší plochu dostupnou pro mikroorganismy. Musí se také zajistit již zmiňovaná optimální vlhkost a pH. Výhodné je také zajistit na začátku kompostování přítomnost organismů, například přidáním malého podílu zeminy, nebo již vyvrátého kompostu [14].

4.3.3 Průběh kompostovacího procesu

Proces kompostování ovlivňuje teplota, vlhkost, hodnota pH, obsah kyslíku, živin, poměr C: N, aktivita organismů, velikost částic a můžeme jej rozdělit do tří fází:

- Fáze rozkladná
 - V této fázi je rychlý nárůst teploty, který je závislý na činnosti mikroorganismů. Teploty uvnitř kompostu mohou dosahovat až 80 °C. Důvodem je vypařování vody a ohřívání vzduchů proudícího kompostem. Při vyšších teplota zde nastává hygienizace kompostu. V této fázi jsou aktivní především termofilní organismy, které rozkládají organické sloučeniny na jednodušší látky. Dochází zde i k chemickým procesům, např. k rozkladu sacharidů nebo bílkovin na vodu a oxid uhličitý. Pokud je v kompostu přebytek dusíku, dochází k jeho uvolňování ve formě amoniaku
- Fáze přeměnná
 - Během této fáze klesá teplota na 40–25°C. Rozkládají se složitější látky, např. celulóza, hemicelulóza, tuky, lignin pomocí mikrobiálních enzymů
- Fáze dozrávání
 - V této fázi klesá teplota na teplotu okolí. Dochází k vytváření humusových látek [14]



Obrázek 4-3: Průběh teploty při kompostování [21]

4.3.4 Studené kompostování versus teplé kompostování

Studené kompostování je klasický způsob kompostování, kdy se organický materiál umístí do kompostéru, nebo pouze na hromadu. Tento způsob je pomalý, rozklad materiálu trvá 6 až 12 měsíců. Rozklad se může urychlit například otáčením kompostu.

Teplé kompostování je rychlejší proces, který ničí semena plevelů a patogeny, které se poté nešíří po zahradě. Jedním ze způsobů horkého kompostování je metoda Berkeley, vyvinutá na University of California. Tato metoda rozloží materiál na kvalitní kompost již za 18 dní.

Požadavky na teplé kompostování metodou Berkeley:

- Teplota kompostu se udržuje v rozmezí 55–65 °C
- Poměr uhlíku a dusíku je přibližně 25–30:1
- Kompost musí být alespoň 1,5 m vysoký
- Veliké kusy materiálu se musí rozmělnit
- Otočit kompost, aby se materiál dostatečně promixoval

Postup metody:

- Vybudovat kompost
- První čtyři dny neotáčet
- Poté otáčet po dobu čtrnácti dnů každý druhý den [22]

4.3.5 Využití energie z procesu kompostování

Nedílnou součástí kompostování je i energie, kterou pracující organismy vyzáří v podobě tepla, tato energie může být účelně využita, například k vytápění, sušení a jiné. Možnou metodou, jak teplo z kompostu odvádět je využití hadic, v kterých je teplonosným médiem voda, kdy se hadice rovnoměrně uloží do bioreaktoru blíže ke středu. Pokud bude odvod tepla z bioreaktoru příliš vysoký, může nastat, že se činnost organismů vlivem nízkých teplot zastaví, na tento fakt se musí brát ohled. Jako možnost cirkulace můžeme využít čerpadlo, nebo přírodního jevu, kdy teplá voda stoupá vzhůru.

Vytápění kompostem využil i Francouz Jean Pain, který je také nazýván Francouzským králem zelené energie. Během své praxe agronoma vyvinul systém využití odřezků stromů a okrasných keřů, kdy procesem rozkladu získával bioplyn, horkou vodu a kvalitní kompost [23].

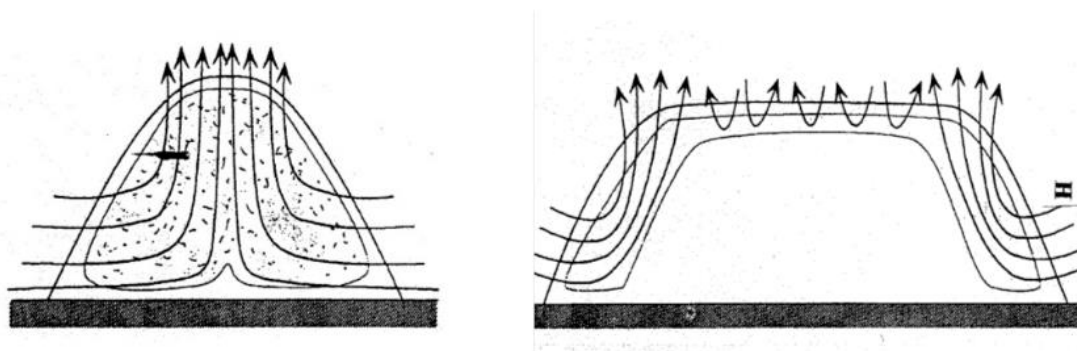
4.3.6 Technologie kompostování

4.3.6.1 Kompostování na volné ploše

Finančně málo nákladný způsob kompostování v pásových hromadách na volné ploše. Materiál se vrství do pásových hrad, mající šířku 2–4 metry a výšku 1 – 1,5 metru trojúhelníkového nebo lichoběžníkového průřezu.

Trojúhelníkový průřez má výhodu, přirozeného provzdušňování základky, ovšem je náchylnější na klimatické podmínky.

Lichoběžníkový průřez je odolnější proti klimatickým podmínkám a výhodou je i lepší aplikace tekuté složky, přirozené provzdušňování je zde ale horší, takže se musí častěji překopávat [14] [4].



Obrázek 4-4: Trojúhelníkový a lichoběžníkový profil pásové hromady [4]

4.3.6.2 Kompostování v uzavřeném nebo polouzavřeném zařízení

Podstatou je intenzivnější rozklad kompostovacího procesu, ovšem za cenu vyšších investic.

Rozdělení:

- Polouzavřená zařízení
 - Kompostovací žlaby
 - Kompostovací boxy
- Uzavřená zařízení
 - Rotační biostabilizátory
 - Uzavřené kompostovací boxy
 - Věžové bioreaktory
 - Tunelové bioreaktory [14] [4]

Kompostovací zařízení jsou většinou zastřešená zařízení, kde je dosaženo ochrany před povětrnostními vlivy.

4.3.6.3 Rotační biostabilizátory

Rotační stabilizátor vykonává pomalý rotační pohyb, při kterém dochází k provzdušňování materiálu a homogenizaci. Buben může být i zaizolován, tím se dosáhne vyšších teplot a zefektivnění kompostovacího procesu. Kompost je v bubnu zadržován pouze pár dnů, než dojde k jeho stabilizaci a hygienizaci. Prodejce těchto rotačních stabilizátorů je například firma Jora [14] [4].



Obrázek 4-5: Rotační biostabilizátor Jora [25]

4.3.6.4 Uzavřené kompostovací boxy

Jedná se o kovové nebo plastové boxy, provzdušňování je zde složitější, probíhá nucenou formou, kdy se mohou vytvořit kanály, kterými vzduch uniká. Možné řešení spočívá v mechanickém překopávání, například pomocí lopatkových překopávačů [14] [4].

4.3.6.5 Věžové bioreaktory

Válcové velkoobjemové nádoby, materiál se vpravuje horní částí, ve spodní části je provzdušňovací a vyprazdňovací mechanismus, který je tvořen válcovou frézou, která se pohybuje kolem osy věže a dopravuje kompost k otvoru, kudy padá ven [14] [4].

4.3.6.6 Tunelové bioreaktory

Reaktor má obdélníkový průřez, vzduch se vhání ve spodní části systémem kanálů. Díky pohyblivému dnu, nebo čelnímu štítu se kompost posouvá. Výhodou těchto reaktorů je rovnoměrné provzdušnění, a díky stlačování kompostu i zabránění vzniku vzduchových kanálů [14] [4].

4.3.6.7 Kompostování ve vacích

Obdoba kompostování v pásových hromadách, zde jsou ale hromady ukládány do uzavřených vaků. S materiálem je do vaků vložena i polyethylenová hadice, pomocí které se vhání vzduch do vaku [14] [4].

5 PRAKTICKÁ ČÁST

5.1 Vyprázdnění a naplnění původního bioreaktoru

Před výstavbou nového reaktoru byl na podzim vyprázdněn a znovu naplněn původní bioreaktor z důvodu, aby se mohlo měřit a následně vyhodnotit chování teplot během zimního období a v delším časovém úseku.



Obrázek 5-1: Původní bioreaktor

Z fotografie je patrné, že v bioreaktoru stále bylo velké množství nerozloženého materiálu, to se může zdůvodnit nedostatečnou vlhkostí uvnitř reaktoru a nedostatečným přísunem vzduchu.

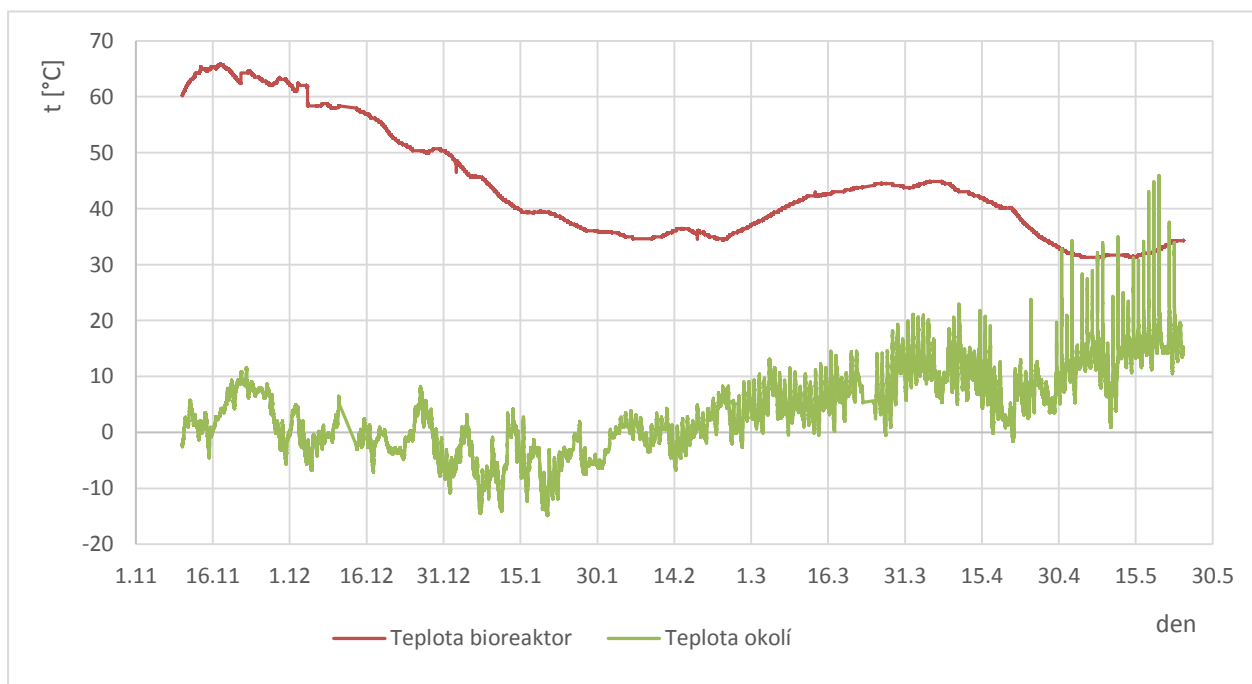
Před naplněním bioreaktoru bylo provedeno vyspádování dna do odtokového žlabu, aby mohla přebytečná voda přirozeně odtékat. Bioreaktor byl znovu uveden do provozu na začátku listopadu 2016.

V průběhu března byl bioreaktor dodatečně zateplen, jako materiál pro zateplení byla použita sláma. Sláma má dobré izolační vlastnosti a pokud by byla již ve značném stupni rozkladu, tak se může využít v reaktoru k dalším biodegradačním procesům.



Obrázek 5-2: Izolace bioreaktoru č. 1

Teploty se zaznamenávaly teplotními čidly, jedno čidlo bylo umístěno v reaktoru a druhé měřilo teplotu okolí.



Obrázek 5-3: Průběh teploty bioreaktoru č.1 a okolí v čase

Průběh teploty bioreaktoru přesně kopíruje teoretický průběh teploty kompostování, kdy na počátku máme aktivní fázi, která dosáhla téměř 70 °C, v polovině procesu nastává ochlazovací fáze a ke konci fáze zrání. Na teplotní průběh měla jistě vliv teplota okolí, která v průběhu ledna klesla téměř k -15 °C a určitý vliv mělo i zateplení, které bylo provedeno 2. března. Nemůžeme ale říci, že by zvýšení teploty ke konci března mělo přímou spojitost s provedenou izolací, jedná se o přirozený děj. Vysoké hodnoty teploty okolí, které sahají místy až k 50 °C jsou způsobeny dopadem slunečních paprsků na teplotní čidlo v určitou část dne.

5.2 Stavba nového bioreaktoru

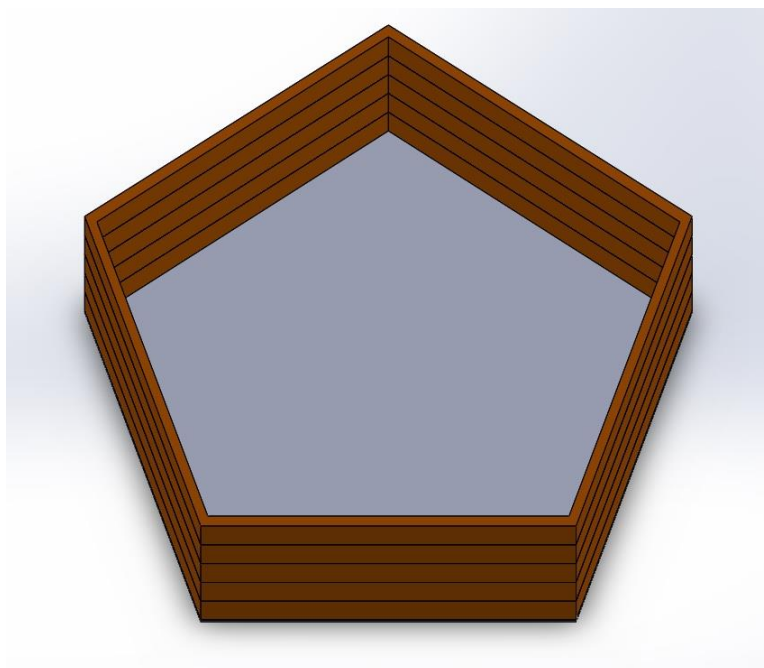
Nevýhoda původního reaktoru spočívala v obtížné manipulaci s dlouhými dřevěnými pásky a kulatý typ nedržel přesný tvar po celý proces kompostování. Nový typ bioreaktoru měl tyto nedostatky, pokud možno co nejvíce eliminovat. Hlavním předpokladem byla jednoduchá montáž, modulárnost a využití materiálu, který je, pokud možno co nejvíce dostupný a zároveň ekologický. Při výběru tvaru byl zvolen mnohoúhelník, jeho výhoda spočívá v jednoduché změně velikosti, v případě potřeby většího reaktoru tedy stačí pouze přidat další stranu bez nutnosti rozebrání stávajícího modelu. Pro naše potřeby jak objemové, tak velikostní jsme se rozhodli pro pětiúhelník.

Úhel mezi stranami je pro každý pravidelný n -úhelník jiný a počítá se podle vzorce:

úhel mezi stranami = $\left(1 - \frac{2}{n}\right) \cdot 180$, kde n značí počet úhlů. Pro náš pětiúhelník má vnitřní úhel tedy hodnotu 108° . Pro různé n -úhelníky mají vnitřní úhly hodnotu viz tabulka 3.

Tabulka 2: Vnitřní úhly n -úhelníků

Počet stran	Úhel
[-]	[°]
3	60,0
4	90,0
5	108,0
6	120,0
7	128,6
8	135,0



Obrázek 5-4: Tvar nového bioreaktoru

Čím je poměr plochy vůči objemu bioreaktoru větší, tím jsou z něho větší tepelné úniky, což je pro nás nežádoucí. Nejmenší poměr plochy vůči objemu má tvar koule, čím více se tedy tvar reaktoru blíží kouli, tím je poměr nižší. Pro n-úhelníky platí, že čím je více úhlů, tím se tvar více blíží tvaru koule a úniky tepla budou tedy nižší. Zároveň se poměr snižuje s přibývajícím velikostí objektu viz Tabulka 4 a 5.

Tabulka 3: Poměr S/V pro čtyřúhelník

počet stran	velikost strany	výška	S	V	Poměr
[-]	[cm]	[cm]	[m ²]	[m ³]	[-]
4	60	100	3,1	0,36	8,67
4	80	100	4,5	0,64	7,00
4	100	100	6,0	1,00	6,00
4	120	100	7,7	1,44	5,33
4	140	100	9,5	1,96	4,86
4	160	100	11,5	2,56	4,50
4	180	100	13,7	3,24	4,22
4	200	100	16,0	4,00	4,00

Tabulka 4: Poměr S/V pro pětiúhelník

počet stran	velikost strany	výška	S	V	Poměr
[-]	[cm]	[cm]	[m ²]	[m ³]	[-]
5	60	100	4,2	0,62	6,84
5	80	100	6,2	1,10	5,63
5	100	100	8,4	1,72	4,91
5	120	100	11,0	2,48	4,42
5	140	100	13,7	3,37	4,08
5	160	100	16,8	4,40	3,82
5	180	100	20,1	5,57	3,61
5	200	100	23,8	6,88	3,45

Návrh, že se bioreaktor postaví z dřevěných prken byl po krátké úvaze zamítnut, na výstavbu by bylo potřeba značné množství prken a nemalé množství hřebíků. Jako ideální alternativa se jevilo využití dřevěných palet, které nemají na zahradách téměř žádnou jinou možnost využití, pokud nebereme v úvahu jejich spálení. Dřevěných palet je více variant, které se liší velikostí a hustotou zalištování. Standardní velikost palet je 120·80 cm a 120·100 cm.

Pro výstavbu reaktoru jsou ideální palety s celoplošným pobitím, viz Obrázek 5-5. U těchto palet není potřeba vyplňovat mezery a jsou tedy ihned připraveny ke stavbě.



Obrázek 5-5: Plná paleta

Tento typ palet k dispozici bohužel nebyl a muselo se mezery vyplňovat. Potřebný materiál k vyplnění mezer se odvíjí od typu palety. Realizace všech pěti stran trvala asi 4 hodiny čistého času.



Obrázek 5-6: Realizace stran bioreaktoru

Následovala stavba samotného bioreaktoru, kdy se vykopalo potřebné místo, vytvořil se spád pro odtok vody a jednotlivé strany se spojily.



Obrázek 5-7: Umístění bioreaktoru

Jedna strana bioreaktoru se upevnila pomocí pantů k zajištění průchodu do vnitřní části. Poslední úpravou bylo zaizolování reaktoru proti úniku tepla.



Obrázek 5-8: Způsob otevírání bioreaktoru

5.3 Výpočet tepelných ztrát

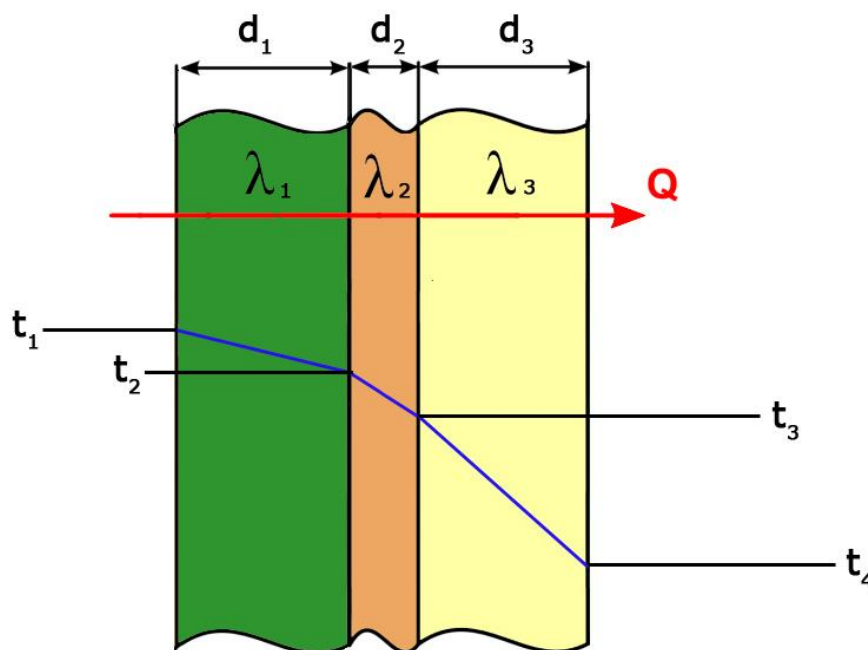
Po naplnění bioreaktoru brzy vzniká činností mikroorganismů odpadní teplo, které se plochou reaktoru odvádí do okolí. U kraje se vlivem nižší teploty snižuje činnost mikroorganismů a tím pádem proces neprobíhá v celém objemu stejně, ale soustřeďuje se více ve vnitřní části bioreaktoru. Výpočet ztrát bude proveden pro reaktor zaizolovaný slámou, polystyrenem a neizolovaný. Při výpočtech budou zanedbány ztráty dnem reaktoru, protože dno bylo izolováno půdou a vzhledem k tomu, že vrchní část reaktoru byla silně izolována balíky slámy, bude zanedbána i tato část. Při výpočtu vycházíme z vnitřní teploty reaktoru, teplotních spádů a teploty okolí. Vzhledem k tomu, že materiál reaktoru není homogenní, bude uměle určen průměr součinitele tepelné vodivosti. Součinitelé tepelné vodivosti pro různé materiály dle [27]:

λ dřevní štěpka = $0,11 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

λ voda při 20°C = $0,6 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

λ sláma = $0,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

Vzhledem k tomu, že se v reaktoru udržuje vyšší vlhkost, budeme při výpočtech uvažovat vyšší vodivost materiálu reaktoru $\lambda_1 = 0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.



Obrázek 5-9: Grafické znázornění pro výpočet rovinnou plochou

kde d_1 = vzdálenost počátku poklesu teploty od kraje bioreaktoru = 25 cm

λ_1 = součinitel tepelné vodivosti pro materiál v reaktoru = $0,2 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

t_1 = teplota na počátku poklesu = $48 \text{ }^\circ\text{C}$

d_2 = tloušťka dřevěné desky = 1,5 cm

λ_2 = součinitel tepelné vodivosti dřevěné desky = $0,18 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

d_3 = tloušťka slaměné izolace = 5 cm

λ_3 = součinitel tepelné vodivosti slámy = $0,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

t_4 = okolní teplota = $17,5 \text{ }^\circ\text{C}$

Součinitel tepelné vodivosti námi použité slámy nelze jednoznačně určit. Dle [28] je závislý na hustotě slaměných vláken, kdy malá hustota obsahuje více vzduchových mezer, což způsobuje ztráty tepla konvekcí a příliš velká hustota odebírá prostor uzavřenému vzduchu, který se podílí na izolačních schopnostech. Dále je součinitel tepelné vodivosti závislý na vlhkosti materiálu a na způsobu umístění stébel, zda jsou kolmo k vodivosti, nebo podélně. Při výpočtech bude využita horší varianta, kdy součinitel tepelné vodivosti slámy je roven $0,08 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Postup výpočtu tepelných ztrát bioreaktoru:

Rovnice pro tepelné ztráty procházející jednotlivými vrstvami:

$$P_{\Delta 1} = \frac{\lambda_1}{d_1} \cdot S \cdot (T_1 - T_2) \quad (5.1)$$

$$P_{\Delta 2} = \frac{\lambda_2}{d_2} \cdot S \cdot (T_2 - T_3) \quad (5.2)$$

$$P_{\Delta 3} = \frac{\lambda_3}{d_3} \cdot S \cdot (T_3 - T_4) \quad (5.3)$$

Vzhledem k tomu, že ustálený tepelný tok procházející stěnami má stejnou velikost, tedy

$P_{\Delta 1} = P_{\Delta 2} = P_{\Delta 3} = P_{\Delta}$, můžeme rovnice přepsat do následujícího vztahu:

$$P_{\Delta} = \frac{T_1 - T_4}{\frac{d_1}{\lambda_1} + \frac{d_2}{\lambda_2} + \frac{d_3}{\lambda_3}} \cdot S \quad (5.4)$$

Obecný vztah pro ztrátový výkon tedy můžeme napsat jako:

$$P_{\Delta} = \frac{\Delta T}{\sum \frac{d_i}{\lambda_i}} \cdot S \quad (\text{W}; \text{K}, \text{m}^2, \text{m}, \text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}) \quad (5.5)$$

Kde ΔT je rozdíl teplot

d je tloušťka materiálu

λ je tepelná vodivost materiálu

S je plocha pro přestup tepla

Využitím vztahu 5.4 budou získány ztráty jedné strany bioreaktoru:

$$P_{\Delta} = \frac{30,5}{\frac{0,25}{0,2} + \frac{0,015}{0,18} + \frac{0,05}{0,08}} \cdot 1,2 = 16,8 \text{ W}$$

Pro celkový ztrátový výkon platí:

$$P_{\Delta C} = P_{\Delta} \cdot m \quad (5.6)$$

kde m je počet stran mnohoúhelníku

Pro pětiúhelník tedy platí:

$$P_{\Delta C} = 16,8 \cdot 5 = 83,9 \text{ W}$$

Výpočet je proveden jen pro určitý den a určitý čas (24.5.17 12:00), ztráty se mění v průběhu dne a období, kdy venkovní teplota přes noc klesá. Budeme tedy předpokládat, že vzdálenost počátku poklesu teploty od kraje bioreaktoru se nemění a proměnná jsou pouze teplota na počátku poklesu a teplota okolí. Z naměřených hodnot bude vypočten průměrný ztrátový výkon podle vzorce:

$$P_{\Delta M} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Delta i}}{n} = \frac{1546792}{59970} = 25,8 \text{ W} \quad (5.7)$$

kde $P_{\Delta i}$ jsou dílčí ztráty

n je počet naměřených hodnot

Výpočet průměrného ztrátového výkonu všemi plochami pro pětiúhelník:

$$P_{\Delta CM} = 25,8 \cdot 5 = 129 \text{ W}$$

Celkové tepelné ztráty za měřenou dobu se vypočítají podle vzorce:

$$Q_{ZTR} = P_{\Delta CM} \cdot 3600 \cdot h = 129 \cdot 3600 \cdot 976 = 453,3 \text{ MJ} \quad (5.8)$$

kde h je doba provozu reaktoru v hodinách

Výpočet tepelného toku při využití pěnového polystyrenu, kdy pěnový polystyren o hustotě 50 kg/m³ má součinitele tepelného vodivosti $\lambda = 0,037 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ a při zachování stejné tloušťky:

$$P_{\Delta,p} = \frac{30,5}{\frac{0,25}{0,2} + \frac{0,015}{0,18} + \frac{0,05}{0,037}} \cdot 1,2 = 13,6 \text{ W}$$

$$P_{\Delta C,p} = 13,6 \cdot 5 = 68,2 \text{ W}$$

$$P_{\Delta M,p} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Delta,p i}}{n} = \frac{1128302}{59970} = 18,8 \text{ W}$$

$$P_{\Delta CM,p} = 18,8 \cdot 5 = 94 \text{ W}$$

Výpočet tepelného toku bez izolace reaktoru, při zachování stejné tloušťky:

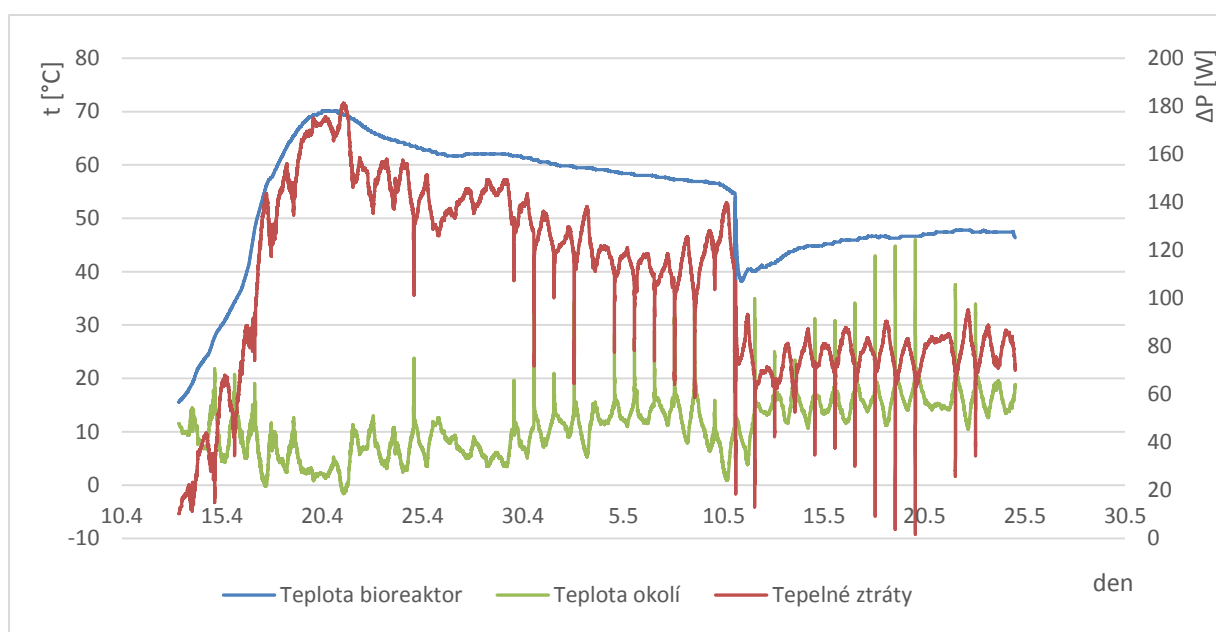
$$P_{\Delta,b} = \frac{30,5}{\frac{0,25}{0,2} + \frac{0,015}{0,18}} \cdot 1,2 = 27,5 \text{ W}$$

$$P_{\Delta C,b} = 27,5 \cdot 5 = 137,3 \text{ W}$$

$$P_{\Delta M,b} = \frac{\sum_{i=1}^n P_{\Delta,bi}}{n} = \frac{2271851}{59970} = 37,9 \text{ W}$$

$$P_{\Delta CM,b} = 37,9 \cdot 5 = 189 \text{ W}$$

Průběh tepelných ztrát v závislosti na teplotě bioreaktoru a venkovní teplotě nejlépe vystihuje Obrázek 5-10.



Obrázek 5-10: Průběh teploty bioreaktoru č. 2, okolí a ztrát v čase

Z průběhu je patrné, že tepelné ztráty dosahují v čase, kdy je teplota reaktoru nejvyšší cca 180 W. Námi vypočtené ztráty se mohou od reálných ztrát částečně lišit, do výpočtů nebyly zahrnuty již zmiňované ztráty spodní a vrchní částí. Dále neznáme přesnou hodnotu součinitele tepelné vodivosti pro materiál uvnitř reaktoru a izolantu, v našem případě slámy. Místo, které je počátkem poklesu teploty pro výpočet se v průběhu mohlo v bioreaktoru také měnit. Celkové tepelné ztráty jsou vypočteny pouze pro námi změřené období, v případě výpočtu pro celý cyklus bioreaktoru by celkové ztráty byly vyšší.

5.4 Odvod tepla tepelnou trubicí

Základní funkcí při procesu kompostování je přeměna biologicky rozložitelného odpadu na kompost. Při této přeměně se pomocí mikroorganismů vytváří nemalé teplo, které je výhodné zužít. Možností, jak z kompostu teplo odebírat je více, velmi rozšířená je metoda odběru pomocí hadic, ve kterých proudí teplotonosná látka, nejčastěji voda. Výhody této metody jsou v jednoduchosti celého systému, hadice se namotá do vnitřní části kompostu, pomocí čerpadla voda proudí hadicí, odebírá teplo z kompostu a přes výměník jej odevzdává do okolí. Mezi nevýhody patří špatná manipulovatelnost. Hadice musí vydržet vysoké teploty kolem 70 °C, musí být z pevného materiálu a takový materiál je hůře ohybatelný. Další velkou nevýhodou je špatná manipulace s vyhořelým materiálem. Pokud se bioreaktor musí znovu naplnit, velmi špatně se vyhořelý materiál vynáší pryč, protože hadice v něm zavazí. Tyto neduhy dokáže částečně eliminovat využití tepelných trubic, takzvaných „heatpipe“. Jedná se o hermeticky uzavřenou trubici, ve které je pracovní látka, například voda. Bude-li se jeden konec ohřívat a na druhý se umístí chladič, začne se pracovní médium odpařovat. V důsledku toho roste tlak. Na chlazeném konci páry kondenzují a předávají tak teplo, které bylo spotřebováno k odpaření. Kondenzát teče, nebo vzlíná zpět, a tak to jde stále dokola.

Tepelná trubice se získala rozebráním teplotonosné vakuové trubice, je vyrobena z velmi měkké mědi a je tedy značně ohebná. Tato vlastnost je nežádoucí, proto bylo vyrobeno nerezové pouzdro k ochraně trubice. Součástí trubice je kondenzátor, ve kterém se primárně předává teplo. Na kondenzátor se umístila nádoba o objemu 1 litr naplněná vodou. Nádoba se následně zaizolovala, aby se co nejvíce zamezilo tepelné výměně mezi vodou a okolím.

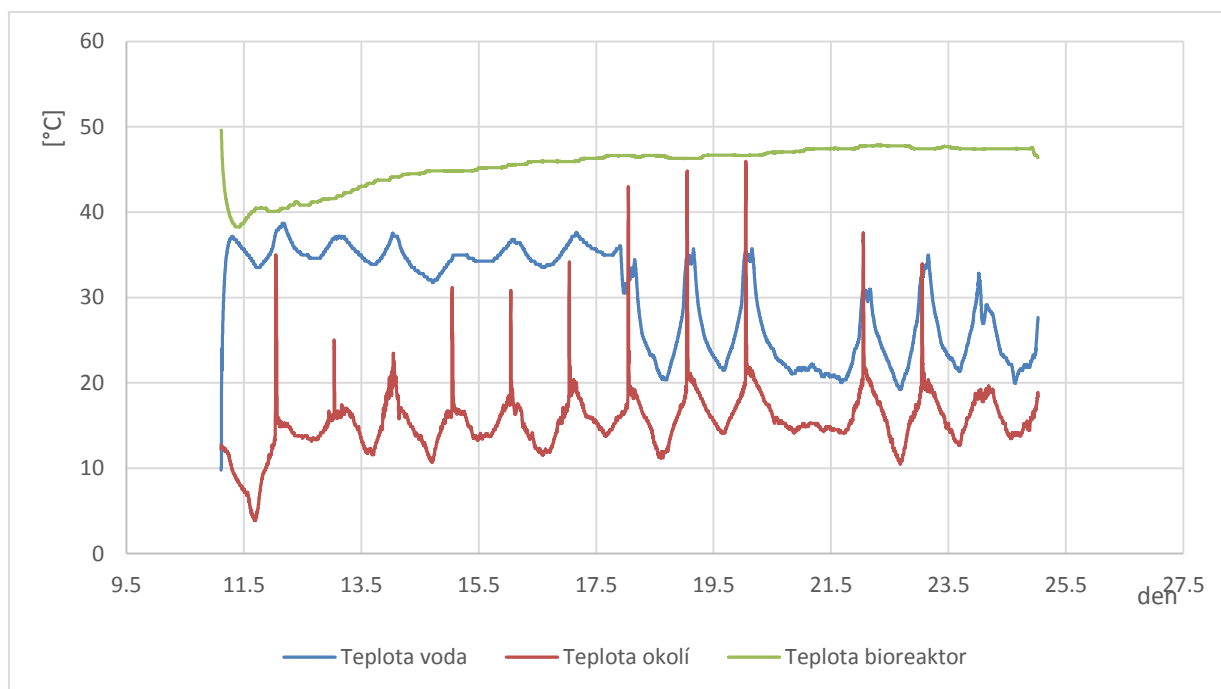


Obrázek 5-11: Tepelná trubice

Tepelná trubice se následně umístila do reaktoru, celý systém se zaizoloval a do nádoby bylo vloženo čidlo na měření teploty.



Obrázek 5-12: Izolovaná tepelná trubice v reaktoru



Obrázek 5-13: Průběh teploty vody ohříváné pomocí tepelné trubice

Z průběhů teplot lze konstatovat, že průběh teploty ohřívané vody tepelnou trubicí kopíruje průběh teploty okolí. Změna chování, která nastala od 17.5. je způsobena odizolováním trubice, tedy zvýšeným odvodem tepla z látky v nádobě.

5.4.1 Výpočet výkonu tepelné trubice

Pro výpočet tepla Q potřebného k ohřátí určitého množství vody z počáteční teploty ϑ_0 na výslednou teplotu ϑ , v našem případě z počáteční teploty vody $\vartheta_0 = 9,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ na výslednou teplotu $\vartheta = 37,13\text{ }^{\circ}\text{C}$, použijeme vzorec:

$$Q = m \cdot c \cdot \Delta\vartheta \quad (\text{J; kg, J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}, \text{K}) \quad (5.9)$$

kde m je hmotnost vody

c měrné teplo vody $c = 4186\text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

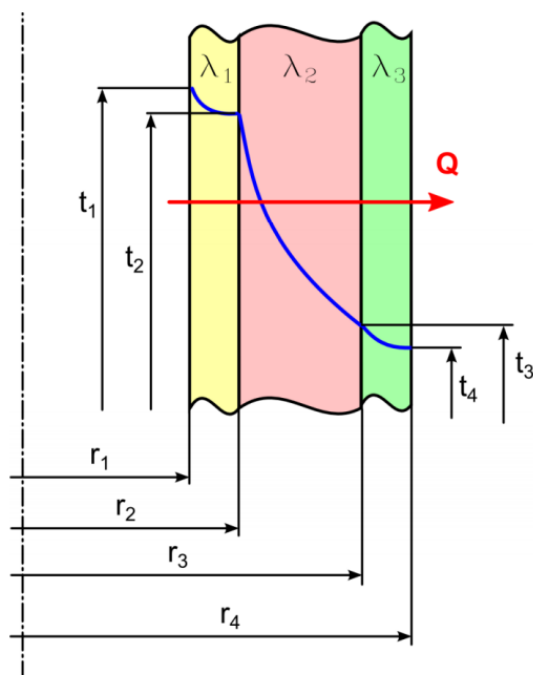
$\Delta\vartheta$ rozdíl teplot

$$Q = 1 \cdot 4186 \cdot (37,13 - 9,8) = 114,4\text{ kJ}$$

I když je nádoba velmi dobře izolovaná, vznikají i tak nezanedbatelné tepelné ztráty. Při výpočtu budou zanedbány ztráty víkem a dnem nádoby vzhledem k jejich velmi silné izolaci.

Vztah pro výpočet tepelných ztrát válcovou stěnou:

$$P_{\Delta} = \frac{2 \cdot \pi \cdot l \cdot (\Delta T)}{\sum \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r_{out,i}}{r_{in,i}}} \quad (\text{W}) \quad (5.10)$$



Obrázek 5-14: Grafické znázornění pro výpočet válcovou plochou

kde r_1 = poloměr vnitřní strany vnitřní stěny

λ_1 = součinitel tepelné vodivosti PVC = $0,25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

t_1 = teplota na vnitřní stěně nádoby

r_2 = poloměr vnější strany vnitřní stěny

λ_2 = součinitel tepelné vodivosti pěnového polyuretanu = $0,05 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

r_3 = poloměr vnitřní strany vnější vrstvy

λ_3 = součinitel tepelné vodivosti vnější izolace = $0,045 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$

t_4 = teplota okolí

Vzhledem k tomu, že nádoba má nepravidelný tvar, výpočet proběhne pro poloměr válce $r_1 = 4,5 \text{ cm}$ a $r_2 = 2 \text{ cm}$. Tloušťka vnitřní izolace = $0,5 \text{ mm}$, tloušťka izolace uprostřed = 10 mm , tloušťka vnější izolace = 10 mm . Měření probíhalo každou minutu. Potřebný čas pro ohřev z teploty $\vartheta_0 = 9,8 \text{ }^\circ\text{C}$ na teplotu $\vartheta = 37,13 \text{ }^\circ\text{C}$ činil 270 minut.

Vztah pro výpočet celkového odvedeného tepla:

$$Q_{r1} = \sum_{i=1}^n P_{\Delta i} \cdot 60 \quad (\text{J}) \quad (5.11)$$

$$Q_{r2} = \sum_{i=1}^n P_{\Delta i} \cdot 60 \quad (\text{J}) \quad (5.12)$$

kde n je počet naměřených hodnot $n = 270$

$P_{\Delta i}$ jsou dílčí ztráty

Výkon tepelné trubice se vypočítá podle vzorce:

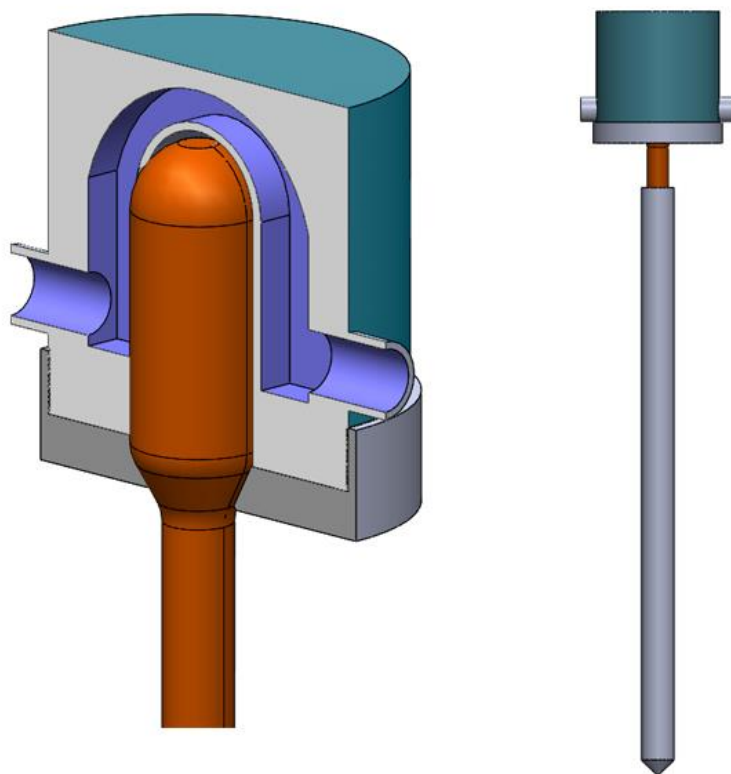
$$P = \frac{Q_c}{t} = \frac{Q + Q_{r1} + Q_{r2}}{t} \quad (5.13)$$

$$P = \frac{114400 + 22133 + 15962}{(270 \cdot 60)} = 9,41 \text{ W}$$

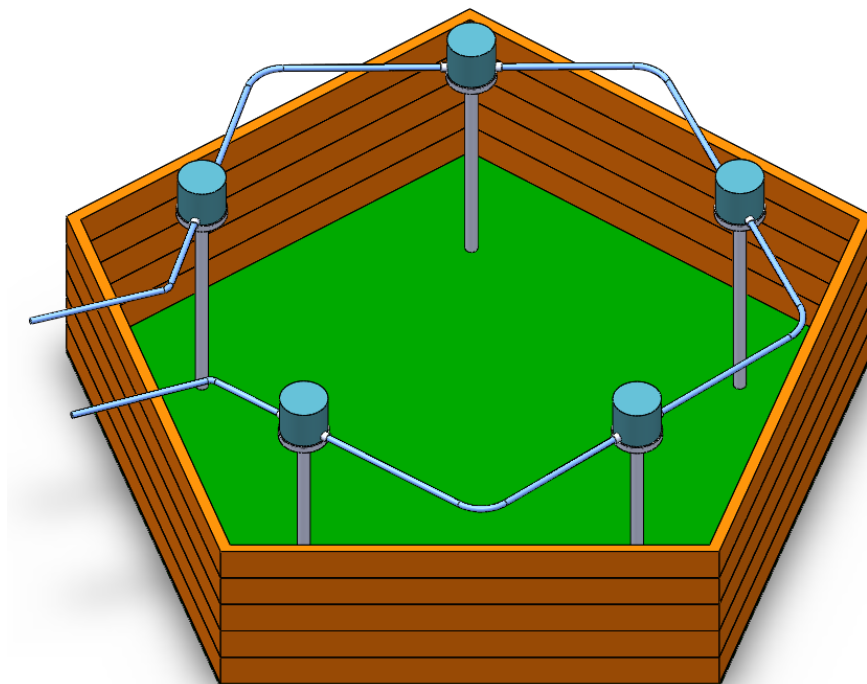
5.4.2 Grafický návrh využití

Teplo z tepelných trubice se musí nějakým způsobem odvádět, ideálním řešením se může jevit například propojení trubice hadicemi s teplonosnou látkou viz Obrázek 5-16.

Princip zařízení spočívá ve válcové nádobě, uvnitř které je dutina, přes kterou proudí teplonosná látka. Nádoba má ve vnitřní části otvor, který těsně dosedá na vrchní část tepelné trubice a teplo může být odvedeno. Spodní část nádoby má po obvodu závit, na které se může našroubovat víko bránící nádobě v nechtěném pohybu.



Obrázek 5-16: Návrh teplotnosné části



Obrázek 5-15: Celkový návrh odvodu tepla

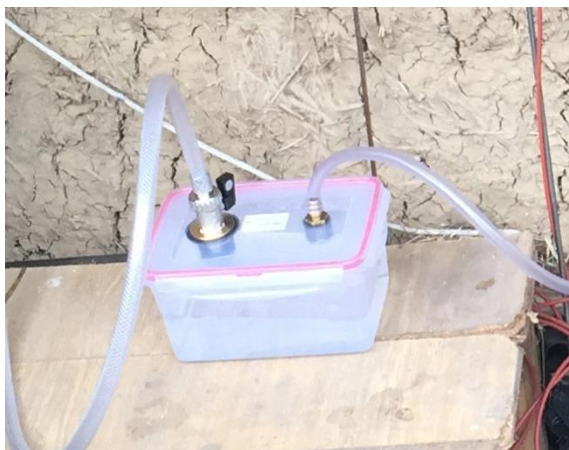
5.5 Jímání bioplynu

Další možností, jak využít teplo z bioreaktoru je ohřev fermentoru na produkci bioplynu. Celý systém musí být hermeticky uzavřený, aby se zabránilo vniknutí vzduchu do nádrže s plynem, v našem případě balónu. Jako fermentor byl zvolen sud s hermeticky uzavíratelným víkem. Do víka od sudu byla přidána průchodka, na kterou byl našroubován výstup na hadici.



Obrázek 5-17: Uzávěr fermentoru

Další součástí je vodní uzávěr. Jedná se o zařízení, které umožňuje sledovat proudící bioplyn a v případě potřeby uzavřít systém tak, aby se do fermentoru nedostal nežádoucí vzduch. Zde se jedná o hermeticky uzavíratelný box, se dvěma průchodkami, přičemž jedna je uzavíratelná.



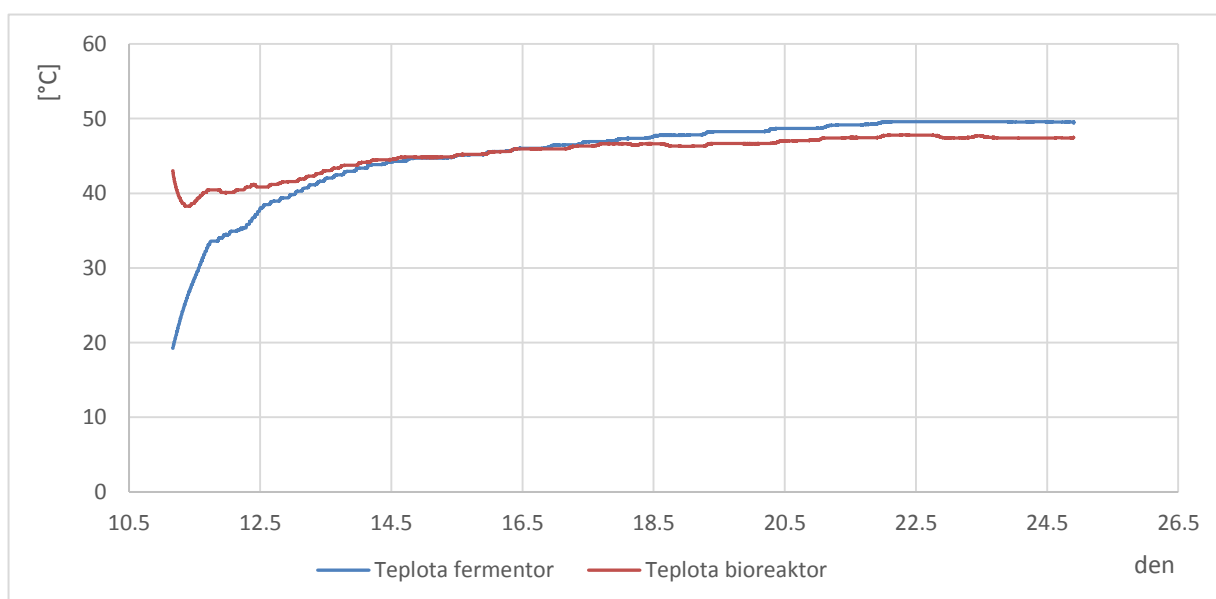
Obrázek 5-18: Vodní uzávěr

Bioplyn se ukládá do nafukovacího balónu spojeného s vodním uzávěrem.

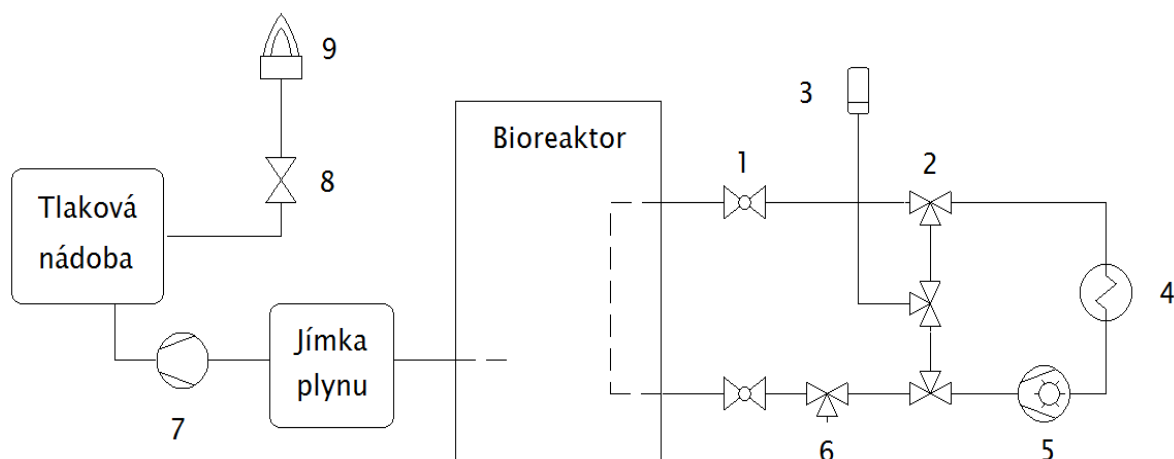


Obrázek 5-19: Balón na jímání bioplynu

Požadavek spočíval ve vyhřívání fermentoru, ukládání bioplynu a následném zužitkování bioplynu. Fermentor byl naplněn zbytky citrusových plodů a slámou. V prvních dnech od uzavření vznikalo velké množství plynu, který byl odzkoušen se zjištěním, že se nejedná o bioplyn, ale o plynou směs s vysokým obsahem oxidu uhličitého. Plyn, původně zamýšlený k výhřevu se tedy choval spíše jako hasící plyn. Na výstup z fermentoru byl připojen nový balón a uskladoval se nový plyn. Objem vzniklého plynu se postupně utlumoval, až fermentor neprodukoval již žádný plyn. Nově vzniklý plyn, na rozdíl od předchozího, hořel průhledným plamenem, zde se tedy jednalo již o plynou směs s vyšším obsahem metanu. Důvod slabé a následně ukončené produkce plynu bude nejspíše ve špatném poměru C:N, kdy ve fermentoru byl příliš vysoký podíl dusíku a fermentor se postupně „udusil“.



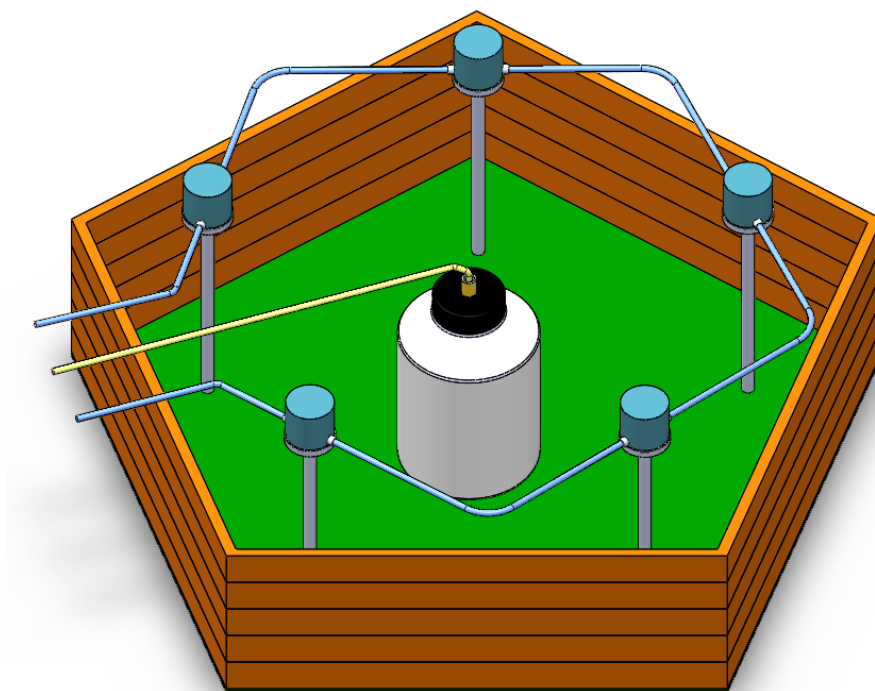
Obrázek 5-20: Průběh teploty fermentoru



Obrázek 5-21: Schéma návrhu jímání bioplynu

1 – kulový kohout, 2 – trojcestná armatura, 3 – expanzní nádoba, 4 – výměník, 5 – čerpadlo,
6 – napouštěcí kohout, 7 – kompresor, 8 – uzavírací ventil, 9 – hořák

Celý systém má 2 okruhy, první okruh je odvod tepla z reaktoru a druhý okruh je plynový. Čerpadlo spíná podle potřeby tak, aby se ve fermentoru udržovala optimální teplota. Teplonosná látka následně odvádí přebytečné teplo do výměníku. Vzniklý bioplyn se odvádí do jímky plynu, následně jej kompresor tlakuje do vzdušníku a přes ventil plyn putuje do hořáku.



Obrázek 5-22: Výsledný grafický návrh bioreaktoru s odvodem tepla a bioplynu

6 ZÁVĚR

Úvod bakalářské práce byl věnován teoretickým poznatkům z oblasti využívání biomasy pro energetické účely. Byl nastíněn způsob spalování biomasy, princip bioplynových stanic, využití odpadních zdrojů a v poslední řadě informace o kompostovacím procesu. Aktuálně velmi oblíbené bioplynové stanice jsou vhodnou alternativou k výrobě elektrické energie, jejich podíl na celkové výrobě bude pravděpodobně stále vyšší. Vzhledem k rychle se rozvíjejícím zdrojům alternativní energie není pochyb o tom, že využití biodegradačních procesů bude mít ve světě stále větší uplatnění.

Praktická část práce se zabývá vylepšením konstrukce již stávajícího bioreaktoru. Byl navržen nový pětiúhelníkový typ, který má určité výhody. Mezi výhody patří modulárnost, kdy je možné přidáním, nebo odebráním strany mnohoúhelníku jednoduše zvýšit, nebo snížit jeho objem. Další výhodou je dobrá manipulace s jednotlivými stranami bioreaktoru, možnost využít otevírání pomocí pantů a výhodou je i využití starých palet. Z výpočtů izolací vyplývá, že použití polystyrenové izolace sníží ztráty cca o 30 % vůči slaměné izolaci. Nezaizolovaný bioreaktor má vůči slaměné izolaci ztráty o cca 45 % vyšší. Odvedené teplo z bioreaktoru za měřené období činí 453 MJ a průměrný ztrátový výkon bioreaktoru je 129 W.

Dále se práce zabývá alternativním odvodem tepla z bioreaktoru. Původní hadicový systém disponoval značnými problémy. Velikou nevýhodou hadic je materiál, ze kterého jsou vyrobeny. V bioreaktoru dosahují teploty až 70 °C, takže musí být hadice z kvalitního materiálu, aby teplotu vydržely. Takový materiál je ve většině případů velmi pevný a špatně tvarovatelný. Další nevýhodou je absence jednoduchého vyjmutí z bioreaktoru. Aby se dala hadice vyjmout, musí se celý materiál z bioreaktoru vyházet. V případě poškození hadice je tedy její výměna velmi problematická. Dobrou alternativou se ukázala být tepelná trubice, její výhody spočívají v jednoduchém vyjmutí z reaktoru dle potřeby. Výkon dodávaný tepelnou trubicí vyšel podle měření přibližně na 10 W. Tato hodnota není nijak závratná, ovšem do bioreaktoru se můžou umístit více takových trubic. Při použití navrženého systému odvodu tepla, kdy se na ochlazovaný konec nasune výměník, který se následně hadicí spojí s dalším výměníkem jiné tepelné trubice, vznikne okruh. Pokud se do tohoto okruhu přidá čerpadlo a tepelný výměník, vznikne jednoduchý systém na odvod tepla. V případě potřeby většího výkonu se do bioreaktoru přidá další tepelná trubice, v případě požadavku na nižší výkon se z bioreaktoru tepelná trubice vyjme. I zde se tedy prokázala možnost využití tepelných trubic k vytápění.

V poslední řadě bylo součástí práce uvést do provozu zařízení na výrobu bioplynu. Jako fermentor posloužil hermeticky uzavíratelný sud, ze kterého přes vodní výměník proudil plyn do balónu. Celý systém byl vzduchotěsně uzavřen. V první chvíli to vypadalo nadějně, proudilo velké množství plynu do balónu, bohužel se ale jednalo o nehořlavou směs. Bioplyn vzniklý chvíli před samovolným zastavením procesů už hořel, bylo ho ale málo. Cíl výroby bioplynu tedy nebyl splněn z biologických důvodů, které by bylo potřebné v budoucnu vyřešit.

Na základě aktuálních poznatků by bylo vhodné pokračovat v rozvoji odvodu tepla z bioreaktoru pomocí tepelných trubic a rozšířit praktické znalosti o produkci bioplynu. Především se tedy jedná o regulační systém, který by monitoroval teplotu uvnitř bioreaktoru a na základě této teploty a optimální teploty ve fermentoru zapínal oběhové čerpadlo k vytápění.

7 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] MASTNÝ, Petr. *Obnovitelné zdroje elektrické energie*. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2011. ISBN 978-80-01-04937-2.
- [2] KOLÁŘ, LADISLAV, VANĚK, VÁCLAV, KUŽEL, STANISLAV: VYUŽITÍ ODPADŮ Z BIOPLYNOVÝCH STANIC. RACIONÁLNÍ POUŽITÍ HNOJIV - SBORNÍK Z KONFERENCE, ISBN 978-80-213-2006-2
- [3] LYČKA, ZDENĚK. MALÉ TEPLOVODNÍ KOTLE NA PEVNÁ PALIVA: SPALOVÁNÍ PEVNÝCH PALIV PO ROCE 2013. KRNOV: LING VYDAVATELSTVÍ, 2012. ISBN 978-80-904914-2-7.
- [4] TECHNOLOGIE KOMPOSTOVÁNÍ VSB.CZ [online]. [cit. 2016-12-28] Dostupné z: http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Technologie_kompostovani.html
- [5] ROČNÍ ZPRÁVA O PROVOZU ES ČR. ERU.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: http://www.eru.cz/documents/10540/462820/Rocni_zprava_provoz_ES_2014.pdf/933fc41a-ad79-4282-8d0f-01eb25a63812
- [6] Biomasa – využití, zpracování, výhody a nevýhody. *Oenergetice.cz* [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody/>
- [7] ALTERNATIVNÍ ZDROJE ENERGIE. kke.zcu.cz [online]. [cit. 2016-12-28] Dostupné z: http://kke.zcu.cz/export/sites/kke/about/projekty/enazp/projekty/18_Zaklady-ekologie_48-49/48_IUT/110_Alternativni-zdroje-energie---Schandl---P0-.pdf
- [8] BIOLYT (50-70). HOVAL.CO.UK [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://www.hoval.co.uk/products/biolyt-wood-pellet-boiler/biolyt-50-70>
- [9] KOTLE NA TUHÁ PALIVA. CHATAR-CHALUPAR.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <HTTP://WWW.CHATAR-CHALUPAR.CZ/KOTLE-NA-TUHA-PALIVA/>
- [10] ANAEROBNÍ TECHNOLOGIE. BIOPLYN.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: http://www.bioplyn.cz/at_popis.htm
- [11] MINERALOGICKO-CHEMICKÁ CHARAKTERISTIKA FERMENTAČNÍCH ZBYTKŮ PŘI VÝROBĚ BIOPLYNU A MOŽNOSTI JEJICH VYUŽITÍ PRO ZLEPŠENÍ VLASTNOSTI PŮD [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: http://eagri.cz/public/web/file/325087/MZE_fermentacni_zbytek_final_2013.pdf
- [12] PROCES BPS. POWER-ENERGO.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://www.power-energo.cz/admin/fotogal/i2-KMdxWVrLL-3858-proces-bps.jpg>
- [13] NOVÁ TECHNOLOGIE PRO VÝROBU ELEKTRICKÉ ENERGIE A TEPLA Z BIOMASY. TZB-INFO.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://www.tzb-info.cz/1247-nova-technologie-pro-vyrobu-elektricke-energie-a-tepla-z-biomasy>
- [14] KARAFIÁTOVÁ, KAMILA. [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: https://is.mendelu.cz/zp/portal_zp.pl?prehled=vyhledavani;podrobnosti_zp=30608;zp=30608;download_prace=1;lang=cz VEDOUcí PRÁCE BOŘIVOJ GRODA.
- [15] POJMY BIOPLYN, ANAEROBNÍ DIGESCE, SUBSTRÁT A JEHO PRODUKCE. AGROKRUT.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: http://agrokrut.cz/?page_id=114
- [16] OCHODEK, TADEÁŠ, JAN KOLONIČNÝ A PAVEL JANÁSEK. POTENCIÁL BIOMASY, DRUHY, BILANCE A VLASTNOSTI PALIV Z BIOMASY [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://www.biomasa-info.cz/cs/doc/prirucka1.pdf>

- [17] MELAR, JAROSLAV. POKROK VE VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY [ONLINE]. 2006 [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: [HTTP://BIOM.CZ/UPLOAD/6E01D6D4C4835EC93CDA508772F3BF6E/POKROK_VE_VYUZIVANI_BIOMASY_BP.PDF](http://biom.cz/upload/6E01D6D4C4835EC93CDA508772F3BF6E/POKROK_VE_VYUZIVANI_BIOMASY_BP.PDF) VEDOUCÍ PRÁCE MILAN VONDRUŠKA.
- [18] ZPRACOVÁNÍ KALŮ. VSB.CZ [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/>
- [19] DOHÁNYOS, MICHAL: EFEKTIVNÍ VYUŽITÍ A LIKVIDACE ČISTÍRENSKÝCH KALŮ. BIOM.CZ [ONLINE]. 2006-05-09 [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/efektivni-vyuziti-a-likvidace-cistirenskych-kalu>>. ISSN: 1801-2655.
- [20] POSPÍŠIL, LUKÁŠ: VÝZKUM „SUCHÉ“ ANAEROBNÍ FERMENTACE RŮZNÝCH DRUHŮ BIOMASY ZA ÚČELEM VÝROBY BIOPLYNU. BIOM.CZ [ONLINE]. 2011-10-24 [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>>. ISSN: 1801-2655.
- [21] PALEČEK, ROMAN: ZAŘÍZENÍ PRO MĚŘENÍ TEPLOT KOMPOSTU. BIOM.CZ [ONLINE]. 2011-06-13 [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zarizeni-pro-mereni-teplot-kompostu>>. ISSN: 1801-2655.
- [22] HOT COMPOST – COMPOSTING IN 18 DAYS. DEEPGREENPERMACULTURE.COM [ONLINE]. [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <https://deepgreenpermaculture.com/diy-instructions/hot-compost-composting-in-18-days/>
- [23] BIOMILÍŘ - VYTÁPĚNÍ KOMPOSTEM ANEB JEAN PAINOVA METODA. INNER-LIGHT.NING.COM [ONLINE]. 2006 [CIT. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z: <http://inner-light.ning.com/profiles/blogs/biomilir-vytapeni-kompostem-aneb-jean-painova-metoda>
- [24] Využití odpadních kalů .Vsb.cz [online]. [cit. 2016-12-28]. DOSTUPNÉ Z <http://hgf10.vsb.cz/546/ZpracovaniKalu/vyuziti.html>
- [25] The Jora Compost Tumbler. Joracomposters.com [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://www.joracomposters.com/about-our-composter.html>
- [26] Jak vybírat nový kotel na pevná paliva tzb-info.cz [online]. [cit. 2016-12-28]. Dostupné z: <http://vytapeni.tzb-info.cz/kotle-kamna-krby/9798-jak-vybirat-novy-kotel-na-pevna-paliva-1>
- [27] Apparent Thermal Conductivity of Mulch Materials Exposed to Forced Convection. *Digitalcommons.unl.edu* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <http://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1063&context=westcentrext>
- [28] Vlastnosti slaměných balíků - tepelná izolace. *Www.izolace-info.cz* [online]. [cit. 2017-06-05]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/aktuality/?nid=20877-vlastnosti-slamenych-baliku-tepelna-izolace.html#.WTWEL-vyhhH>

Příloha A

Vzhledem k velikému objemu naměřených dat budou data k dispozici na přiloženém CD ve formátu XLSX (formát pro Excel).