



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

KOMBINOVANÁ VÝROBA TEPLA A BIOPLYNU POMOCÍ BIOREAKTORU

COMBINED HEAT AND BIOGAS PRODUCTION USING A BIOREACTOR

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. David Novák

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

BRNO 2018



Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor **Elektroenergetika**
Ústav elektroenergetiky

Student: Bc. David Novák

ID: 154818

Ročník: 2

Akademický rok: 2017/18

NÁZEV TÉMATU:

Kombinovaná výroba tepla a bioplynu pomocí bioreaktoru

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

1. Teoretický úvod do procesu kompostování a výroby tepla
2. Současný stav techniky v oblasti malých bioplynových stanic
3. Návrh fermentoru a testování vzorků vsázky
4. Realizace bioreaktoru s fermentorem pro kombinovanou výrobu tepla a bioplynu
5. Vyhodnocení funkčnosti a naměřených dat z provozu

DOPORUČENÁ LITERATURA:

Literatura je stanovena dle pokynů vedoucího práce.

Termín zadání: 5.2.2018

Termín odevzdání: 21.5.2018

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

Konzultant:

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

UPOZORNĚNÍ:

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové 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 práce:

NOVÁK, D. *Kombinovaná výroba tepla a bioplynu pomocí bioreaktoru*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2018. 71 s. Vedoucí diplomové práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

Rád bych na tomto místě poděkoval svému vedoucímu panu docentovi Petru Baxantovi za vedení, odbornou pomoc, cenné rady, připomínky a trpělivost při vypracování méj diplomové práce.

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma *Kombinovaná výroba tepla a bioplynu pomocí bioreaktoru* jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové 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 diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové 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: 21.05.2018

.....

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá systémem bioreaktoru a jeho využitím k výrobě tepla a bioplynu. Bioreaktor využívá procesu kompostování a metanogení fermentace, které lidstvo zná už možná i stovky let ale i tak je kombinace těchto procesů poměrně neprozkoumaná oblast. V teoretické části práce jsou rozebrány stávající možnosti využití tepla vznikajícího v kompostu a dále je zde pak popsána používaná technologie malých bioplynových stanic a dalších malých systémů na výrobu bioplynu.

Navazuje praktická část práce, kdy bylo úkolem navrhnout bioreaktor pracující i za nízkých teplot během zimy. Součástí řešení je prvotní návrh a vyzkoušení základní testovací konstrukce bioreaktoru následované realizací pokročilejšího a komplexnějšího systému zahrnujícího i ovládací a měřicí centrum realizované pomocí mikrokontroleru.

KLÍČOVÁ SLOVA: kompostování; anaerobní fermentace; bioplyn; bioplynová stanice; bioreaktor

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the bioreactor system and its use for the production of heat and biogas. The bioreactor uses the composting and metanogation process of fermentation that humanity has known for hundreds of years, but the combination of these processes is a relatively unexplored area. The theoretical part of the thesis analyzes the existing possibilities of utilization of the heat generated in the compost, and also describes the used technology of small biogas stations and other small systems for biogas production.

It follows the practical part of the work, when it was the task to design a bioreactor working at low temperatures during the winter. Part of the solution is the initial design and testing of the basic test structure of the bioreactor, followed by the implementation of a more advanced and more complex system, including a control and measuring center realized by a microcontroller.

KEY WORDS: composting; anaerobic fermentation; biogas; biogas plant; bioreactor

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	8
SEZNAM TABULEK	10
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	11
1 ÚVOD	12
2 KOMPOSTOVÁNÍ.....	14
2.1 TECHNIKY KOMPOSTOVÁNÍ	14
2.1.1 KOMPOSTOVÁNÍ NA VOLNÉ PLOŠE	14
2.1.2 KOMPOSTOVÁNÍ V UZAVŘENÝCH NEBO POLOUZAVŘENÝCH ZAŘÍZENÍCH	15
2.1.3 KOMPOSTOVÁNÍ VE VACÍCH	16
2.2 MOŽNOSTI VYUŽITÍ TEPLA PŘI KOMPOSTOVÁNÍ.....	17
3 ANAEROBNÍ FERMENTACE	19
3.1 VZNIK BIOPLYNU.....	19
3.2 CHEMICKÉ SLOŽENÍ BIOPLYNU	21
3.3 FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ PROCES FERMENTACE	22
4 POUŽÍVANÉ SUBSTRÁTY	24
4.1 ZEMĚDĚLSTVÍ	24
4.1.1 STATKOVÁ HNOJIVA	24
4.1.2 CÍLENĚ PĚSTOVANÉ PLODINY	24
4.2 DÁLE ZPRACUJÍCÍ ZEMĚDĚLSKÝ PRŮMYSL.....	25
4.3 BIOLOGICKY ROZLOŽITELNÝ KOMUNÁLNÍ ODPAD	26
4.4 ODPADY Z ÚDRŽBY ZELENĚ.....	26
5 BIOPLYNOVÉ STANICE	27
5.1 ROZDĚLENÍ BIOPLYNOVÝCH STANIC.....	27
5.2 PRINCIP BIOPLYNOVÉ STANICE.....	27
5.3 TECHNOLOGIE BIOPLYNOVÝCH STANIC.....	29
5.3.1 PODÍL SUŠINY V SUBSTRÁTU	29
5.3.2 POČET PROCESNÍCH STUPŇŮ.....	30
5.3.3 PROCESNÍ TEPLOTA.....	30
5.3.4 ZPŮSOB DÁVKOVÁNÍ SUBSTRÁTŮ.....	31
5.4 PŘÍKLADY BIOPLYNOVÝCH STANIC A TECHNOLOGIÍ	32
5.4.1 BIOPLYNOVÁ STANICE TŘEBOŇ.....	32
5.4.2 BIOPLYNOVÁ STANICE VYSOKÉ MÝTO	32
5.4.3 SYSTÉM HOME BIOGAS	33
6 VYUŽITÍ BIOPLYNU.....	34
6.1 KOGENERACE.....	34
6.2 DALŠÍ MOŽNOSTI VYUŽITÍ BIOPLYNU	36
7 NÁVRH A REALIZACE TESTOVACÍ KONSTRUKCE SYTĚMU BIOREAKTORU	37

7.1 PŘEDCHOZÍ SYSTÉM	37
7.2 NÁVRH TESTOVACÍ KONSTRUKCE BIOREAKTORU.....	37
7.3 REALIZACE TESTOVACÍ KONSTRUKCE.....	38
7.4 VYHODNOCENÍ POKUSU.....	41
8 NÁVRH A REALIZACE FUNKČNÍHO PROTOTYPU.....	45
8.1 NÁVRH PROTOTYPU	45
8.1.1 VÝBĚR KOMPONENT	48
8.2 REALIZACE PROTOTYPU.....	54
8.2.1 PROGRAM ARDUINO	54
8.2.2 REALIZACE SYSTÉMU.....	61
9 NÁVRHY NA VYLEPŠENÍ.....	64
10 ZÁVĚR.....	66
POUŽITÁ LITERATURA	68
PŘÍLOHY	71

SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obrázek 1 Vývoj hrubé výroby z OZE [18]</i>	13
<i>Obrázek 2 Vývoj výroby elektrické energie z bioplynu [18]</i>	13
<i>Obrázek 3 Trojúhelníkový (vlevo) a lichoběžníkový profil kompostovací hromady[8]</i>	15
<i>Obrázek 4 Bioreaktor od firmy Entec[8]</i>	16
<i>Obrázek 5 Příklad uspořádání pro vodní tepelný oběh[15]</i>	17
<i>Obrázek 6 Základ biomiliře (vlevo) a konečná podoba reaktoru (vpravo) [17]</i>	18
<i>Obrázek 7 Schéma vzniku bioplynu [4]</i>	21
<i>Obrázek 8 Schéma postupu při získávání bioplynu [1]</i>	27
<i>Obrázek 9 Schéma zemědělské bioplynové stanice [1]</i>	28
<i>Obrázek 10 Kontejnerová metoda suché fermentace [6]</i>	30
<i>Obrázek 11 Schéma průtokové metody[1]</i>	31
<i>Obrázek 12 Bioplynová stanice Třeboň [8]</i>	32
<i>Obrázek 13 Principiální schéma systému HomeBiogas[12]</i>	33
<i>Obrázek 14 Systém HomeBiogas [12]</i>	33
<i>Obrázek 15 Mikroplynová turbína od firmy G.A.S. Energietechnologie GmbH [1]</i>	35
<i>Obrázek 16 Schéma předchozího bioreaktoru [20]</i>	37
<i>Obrázek 17 Schéma testovací konstrukce bioreaktoru</i>	37
<i>Obrázek 18 Vyprázdňený kompost</i>	38
<i>Obrázek 19 Znovu naplněný kompost</i>	39
<i>Obrázek 20 Připravená vsázka a vnitřní nádoba fermentoru</i>	39
<i>Obrázek 21 Částečně složený bioreaktor</i>	40
<i>Obrázek 22 Detail na vnitřní výměník tepla bioreaktoru</i>	40
<i>Obrázek 23 Kompletní bioreaktor i s opláštěním z balíků slámy</i>	41
<i>Obrázek 24 Průběh teploty v kompostu vzhledem k teplotě okolí</i>	42
<i>Obrázek 25 Rozdělaný fermentor po pokusu</i>	43
<i>Obrázek 26 Řez vsázkou</i>	43
<i>Obrázek 27 Použitá vsázka</i>	44
<i>Obrázek 28 Schéma upravené původní koncepce</i>	45
<i>Obrázek 29 Fermentor ve vaku [25]</i>	46
<i>Obrázek 30 Hranatý fermentor</i>	46
<i>Obrázek 31 Elektrické schéma</i>	47
<i>Obrázek 32 Detailní zapojení Arduina a jeho příslušenství</i>	47

<i>Obrázek 33 Vybraný kompresor [21]</i>	48
<i>Obrázek 34 Upravený kompresor</i>	48
<i>Obrázek 35 1. tlakový rozdílový snímač [22]</i>	49
<i>Obrázek 36 2. tlakový rozdílový snímač [23]</i>	49
<i>Obrázek 37 Analogový snímač teploty [24]</i>	49
<i>Obrázek 38 Zdroj NDR-120-12 [26]</i>	50
<i>Obrázek 39 Mikrokontrolér Arduino UNO [27]</i>	51
<i>Obrázek 40 Modul relé 5 V[27]</i>	52
<i>Obrázek 41 Čtečka SD karet [27]</i>	52
<i>Obrázek 42 Držák na Arduino na DIN lištu [27]</i>	52
<i>Obrázek 43 Příklad výpisu logu na kartu</i>	57
<i>Obrázek 44 Schéma měření teploty</i>	57
<i>Obrázek 45 Závislost napětí U_2 na teplotě pro různé odpory R_1</i>	59
<i>Obrázek 46 Teplotní závislost čidla změřená a teoreticky vypočtená</i>	60
<i>Obrázek 47 Zapojený rozvaděč</i>	61
<i>Obrázek 48 Příprava vsázky</i>	62
<i>Obrázek 49 Vnitřek fermentoru</i>	62
<i>Obrázek 50 Rozbitý kompresor</i>	63
<i>Obrázek 51 Vzduchová pumpa [30]</i>	64
<i>Obrázek 52 Vakuová pumpa [29]</i>	64
<i>Obrázek 53 Tepelný výměník [31]</i>	65
<i>Obrázek 54 čtečka micro SD karet [27]</i>	65

SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1 Přibližné složení bioplynu dle různých použitých substrátů</i>	22
<i>Tabulka 2 Přehled látek a jejich škodlivých koncentrací pro bioreaktor [1]</i>	23
<i>Tabulka 3 Výtěžek plynu a obsah metanu statkových hnojiv [1]</i>	24
<i>Tabulka 4 Biologický rozložitelný komunální odpad [7]</i>	26
<i>Tabulka 5 Srovnání tlakových senzorů</i>	50
<i>Tabulka 6 Srovnání zdrojů 12 V</i>	50
<i>Tabulka 7 Srovnání relé 12 V</i>	51
<i>Tabulka 8 Srovnání mikrokontrolerů Arduino</i>	51
<i>Tabulka 9 Zatížitelnost slaněných vodičů [28]</i>	53
<i>Tabulka 10 Přehled použitých komponent</i>	53
<i>Tabulka 11 Teplotní závislost odporu čidla a výstupního napětí při použití různých odporů R_1</i> ..	58
<i>Tabulka 12 Experimentálně změřená teplotní závislost daného snímače</i>	59

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

OZE	Obnovitelné zdroje energie	
C	Uhlík	
N	Dusík	
H ₂	Vodík	
H ₂ S	Sulfan	
O ₂	kyslík	
CH ₄	Metan	
CO ₂	oxid uhličitý	
NH ₃	Amoniak	
BRKO	biologicky rozložitelný komunální odpad	
BPS	Bioplynová stanice	
ČOV	čistička odpadních vod	
t	teplota	(°C)
PT 1000	Odporový snímač teploty	
Ppm	jedna miliontina celku	
Arduino IDE	Integrované programovací prostředí Arduino	
Wiring	Programovací jazyk Arduino	
U ₂	Napětí na snímači teploty	(V)
ΔU	Rozdíl na napětí mezi horní a spodní mezí	(V)
DIN lišta	Průmyslová lišta sloužící k upevnění přístrojů	

1 ÚVOD

Klimatické změny na Zemi nutí lidstvo zamyslet se nad dopadem své činnosti na ekosystém. Klimatické změny jsou pravděpodobně způsobeny takzvaným skleníkovým efektem, kdy za přispění takzvaných skleníkových plynů (oxid uhličitý, metan a další) dochází k soustavnému oteplování Země a celkovým změnám v ekosystémech.

První snahy o boj proti globálnímu oteplování se rozjely v osmdesátých letech minulého století. Politicky to však byl velmi velký oříšek. Boj proti klimatickým změnám se totiž ukázal jako finančně velmi nákladný. Důležitou mezinárodní smlouvou je v této oblasti Kjótský protokol z roku 1997. Tato smlouva zavazovala vyspělé státy, které se nejvíce podílejí na vypouštění skleníkových plynů, aby svoje emise snižovaly. Reálný dopad Kjótského protokolu je sporný hlavně s ohledem na skutečnost, že USA jako jedna ze zemí s nejvyššími emisemi, tuto smlouvu neratifikovala.

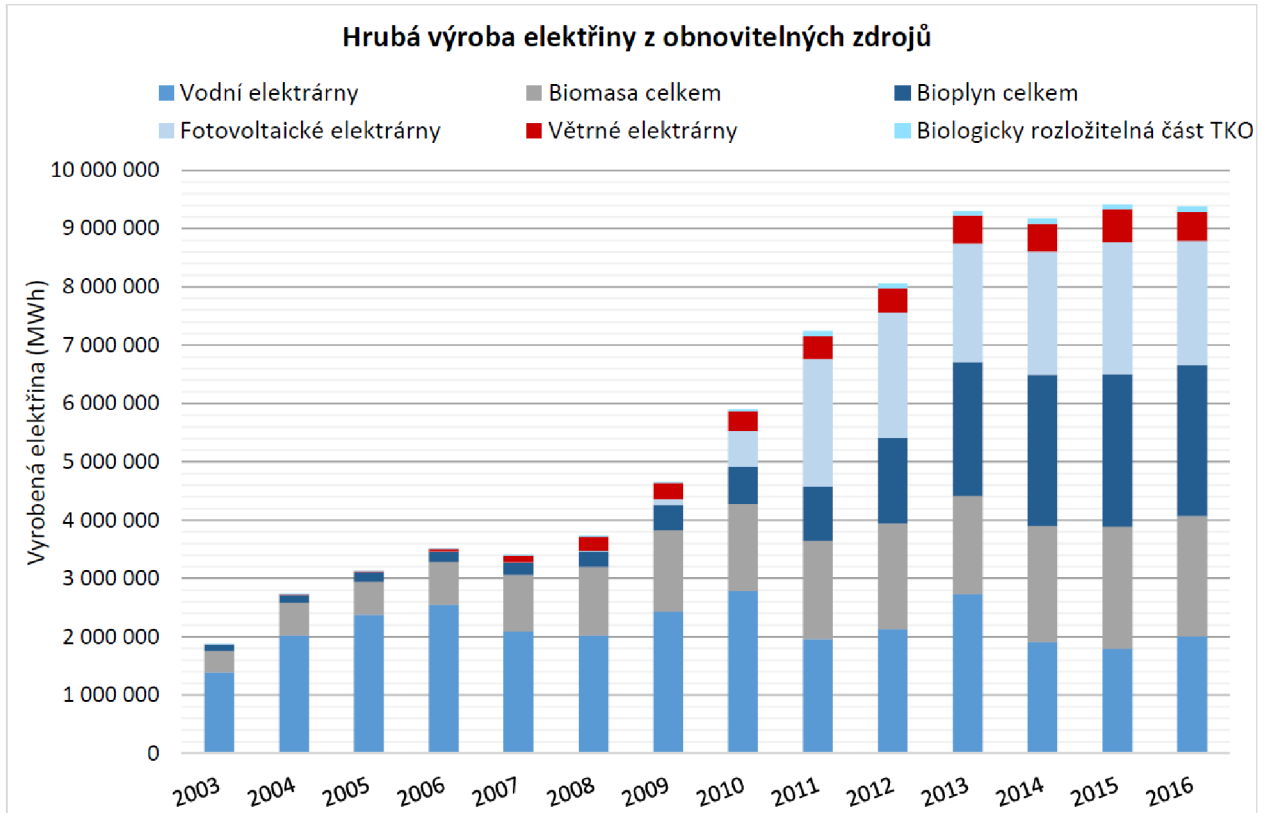
Na Kjótský protokol navazuje tzv. Pařížská dohoda z roku 2015, která má za cíl další omezení vypouštění skleníkových plynů. Smlouva byla podepsána všemi hlavními znečišťovateli v čele s USA, Čínou nebo Indií. Nicméně po nástupu Donalda Trumpa do funkce amerického prezidenta USA od této smlouvy odstoupila.

V rámci energetiky probíhá boj proti změnám klimatu odklonem od spalování fosilních paliv (uhlí) a podporou čistějších obnovitelných zdrojů energie (OZE). Obnovitelné zdroje energie, jak už název napovídá, mají schopnost se obnovovat za určitých podmínek, jsou tedy teoreticky nevyčerpatelné.

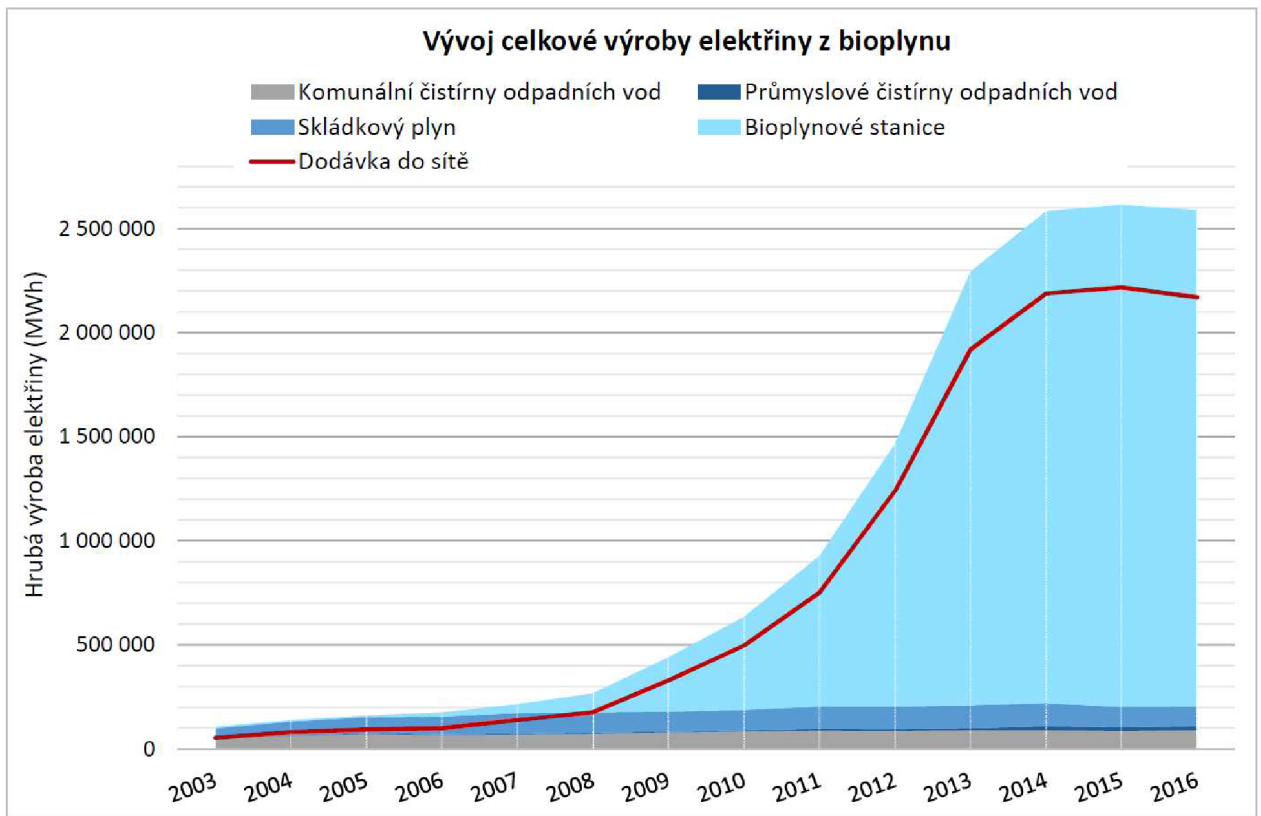
Obnovitelné zdroje se dělí:

- Využití působení Slunce na Zemi
 - Sluneční záření
 - Energie větru
 - Biomasa
 - Energie vody a moří
- Využití geotermální energie Země
- Využití slapových jevů – energie přílivu a odlivu

V České republice byl v roce 2016 podíl OZE na hrubé výrobě elektřiny 11,3 %. Podíl na konečné spotřebě elektrické energie byl podle mezinárodní srovnávací metodiky přibližně 15 %. Vývoj výroby z OZE je znázorněn na obrázku 1. Na obrázku 2 je znázorněn vývoj a rozložení výroby elektrické energie z bioplynu [18][19].



Obrázek 1 Vývoj hrubé výroby z OZE [18]



Obrázek 2 Vývoj výroby elektrické energie z bioplynu [18]

2 KOMPOSTOVÁNÍ

Kompostování využívá biodegradační proces rozpadu biologického materiálu na humusové složky. Tento proces zajišťují převážně aerobní mikroorganismy. Proto je dostatečný přístup vzduchu velmi důležitý.

Průběh kompostování má 3 fáze:

1. Rozkladná, mineralizace

V této fázi se materiál biologicky stabilizuje. Rozkladem hmoty dochází k rychlému nárůstu teploty. V jádru kompostu teplota dosáhne hodnot zhruba 60 °C (někdy i více). Po krátké prodlevě následuje pokles teploty. Dochází tak k hygienizaci kompostu, protože při takto vysokých teplotách jsou vyhubeny hnilobné bakterie. Navíc dochází i k eliminaci plevelu.

Tuto fázi zajišťují termofilní mikroorganismy, jako například: Koky, tyčinkové bakterie, spirochéty, termofilní mykobakterie a plísně a další. Tyto organismy rozkládají složitější organické sloučeniny na jednodušší sloučeniny. energii berou ze štěpení chemických vazeb kompostované hmoty.

Zároveň probíhají další chemické reakce. Na začátku se odbourávají cukry, škroby a bílkoviny. Poté přichází na řadu celulóza a další součásti dřevní hmoty. Konečné produkty reakcí jsou voda, oxid uhličitý a nitrátový iont. Při přebytku dusíku se může uvolňovat amoniak. Při reakcích dochází k poklesu pH.

Objem hmoty rychle klesá. Celková hmotnost materiálu v první fázi klesá zhruba asi až o 30%

2. Přeměnná

Teplota klesá ze 40 °C až na 25 °C. Termofilní bakterie jsou nahrazeny jinými mikroorganismy. Kompost dále ztrácí na hmotnosti, v této fázi je to zhruba dalších 10 %. Kompost se začíná barvit do hněda a lze ho již využít jako hnojivo.

3. Fáze dozrávání kompostu

V poslední fázi dochází k vytvoření vazeb mezi anorganickými a organickými látkami. Dochází ke stabilizaci. Teplota kompostu se již blíží teplotě okolí. Pokles hmotnosti se téměř zastavuje [8].

2.1 Techniky kompostování

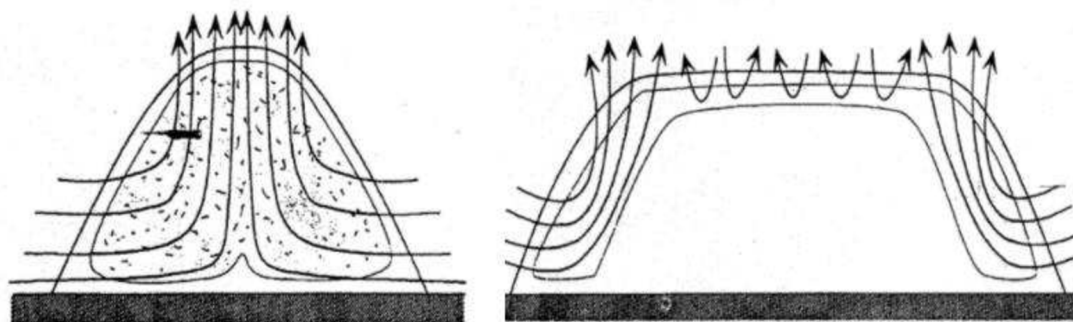
2.1.1 Kompostování na volné ploše

Tento způsob je v dnešní době nejméně finančně nákladný, a proto je ve většině případů nejvhodnější. Kompost se zakládá vrstvením vhodného kompostovacího materiálu do pásových hromad trojúhelníkového nebo lichoběžníkového tvaru. Velikost je omezena rozlohou stanovišť.

Komposty musí splňovat některá další kritéria jako je zajištění přístupu pracovní techniky, nesmí dojít k ohrožení spodních i povrchových vod tzn. zajistit hlavně odvod srážkových vod a splachů z kompostu, minimální spád kompostovací plochy 2 %.

Trojúhelníkové profily bývají široké v rozmezí 2,5 až 4 metry a vysoké 1 až 2,2 v závislosti na kompostovaném materiálu. Tento profil bývá využíván pro kompostování menšího množství surovin. Velkou výhodou použití trojúhelníkového profilu je, že nedochází k přehřívání kompostu díky lepšímu přirozenému provětrávání. Nevýhodou je zejména ztížená možnost použití netuhého odpadu typicky kejdy.

Lichoběžníkové profily umožňují kompostování většího množství surovin. Šířka hromady bývá v rozmezích 3 až 6 metrů a výška 1,5 až 2,5 metrů. Tento profil umožňuje podélné navážení traktorovými přívěsy a úpravu hromady nakládači. Výhodou tohoto systému je efektivnější využití plochy, lepší udržení teploty při zahájení kompostování a lepší aplikace tekuté složky. Nevýhodou je horší provětrávání. Průřez trojúhelníkového a lichoběžníkového profilu je na obrázku 3.



Obrázek 3 Trojúhelníkový (vlevo) a lichoběžníkový profil kompostovací hromady [8]

Jednorázově je lze možné kompostovat v polní kompostárně například na okraji pozemku, kde se následně kompost využije, pokud dodržíme všechny podmínky. Při větší produkci (uvádí se 500 t/rok) se kompost vyrábí ve stacionárních kompostárnách, kde nehrozí žádné úniky do spodních vod [8].

2.1.2 Kompostování v uzavřených nebo polouzavřených zařízeních

Důvod kompostování v těchto speciálních zařízeních je intenzifikace rozkladné fáze kompostovacího procesu a tím zkrácení celého procesu kompostování. V první fázi je díky provzdušnění dosaženo vyšší teploty a tím dochází k urychlení i dalších fází. Nevýhodou technologie je vysoká investiční náročnost [8].

Kompostovací žlaby

Pro kompostování se použijí podlouhlé žlaby, které se zaplní kompostem. Pro podporu rozkladu je možné použít ventilační jednotky pro zlepšení přístupu kyslíku.

Před začátkem kompostování je kompostovaná hmota homogenizována dle potřeb, poté je zavezena do daného žlabu a poté dle potřeb může být provzdušňována nebo vlhčena.

Během kompostování dochází ke ztrátě objemu a hmotnosti, proto bývají jednotlivé žlaby slučovány [8]

Kompostovací boxy

Boxy z monolitických desek bývají 10 až 12 metrů dlouhé, 3 až 4 metry široké a 2,5 až 3 vysoké. Jedná se o polouzavřená zařízení. Boxy bývají umístěny pod střechou z důvodu regulace vlhkosti.

Celé zařízení je osazeno zavlažovacím zařízením a ventilátory, které vhánějí vzduch do kompostu a zajišťují tak provzdušnění kompostu. U boxů bývá jeřábová dráha pro jeřáb, který se stará o plnou automatizaci procesu kompostování. Délka procesu bývá 2 až 4 měsíce [8].

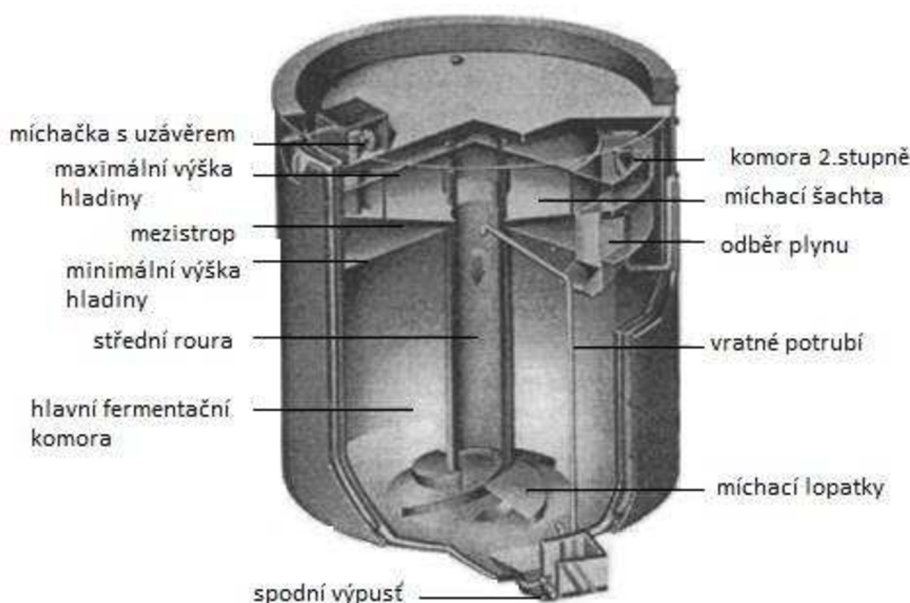
Rotační biostabilizátory

Reaktor tvoří uzavřený systém, kde dochází k převalování materiálu v pomalu se otáčejícím bubnu za přístupu vzduchu. Proces trvá pouze několik dnů. Rotační kompostéry se vyrábějí od malých objemů pro domácí užití až po vysoko objemové průmyslové zařízení [8].

Věžové a tunelové bioreaktory

Bioreaktory jsou buď takzvané věžové válcové nádoby o průměru 8 až 10 cm a výšce 7 metrů, kde provzdušňování zajišťuje válcová fréza pohybující se okolo osy věže, nebo tunelové s obdélníkovým průřezem, kde provzdušnění zajišťuje pohyblivé dno. Oba typy pracují v kontinuálním režimu.

Příklad věžového bioreaktoru je na obrázku 4 [8].



Obrázek 4 Bioreaktor od firmy Entec[8]

2.1.3 Kompostování ve vácích

Řádně připravený materiál (musí se zde dbát na správné složení a poměry C/N z důvodu nemožnosti změny substrátu během procesu) je plněn do kompostovacích vaků kde zůstane po celou dobu procesu. Do vaků je zaváděná též perforovaná hadice, která slouží k přivádění vzduchu pro zajištění optimálního průběhu procesu. Po uzrání kompostu je vak rozříznut a materiál připraven k použití. Proces kompostování ve vaku trvá přibližně 8 až 12 týdnů.

Tato technologie je investičně výhodná, protože výrazně zkracuje dobu zrání kompostu. Kompostování ve vaku je rozšířené v USA, v Evropě se tato technologie rozšiřuje v zemích Skandinávie a také ve Velké Británii [8].

2.2 Možnosti využití tepla při kompostování

Kompost má z hlediska využití své energie dvě možnosti uplatnění.

První z nich je **spalování**. Přímé spalování je nevhodné, protože kompost obsahuje vysoký podíl vody. Proto je nutné kompost vysušit, což je ale energeticky náročnější, a navíc proces spalování není ekologický.

Ekologičtějším řešením je využití tepla, které vzniká při procesu kompostování. Existují dvě základní metody získání tepla z kompostu, liší se použitým médiem. První z nich je **přenos tepla pomocí vody**. Tato metoda využívá princip tepelného výměníku. V kompostu je zabudován tepelný výměník, typicky stočená hadice nebo případně speciálně konstruované výměníky pro danou aplikaci. Ve výměníku proudí voda, které je předáváno teplo. Teplá voda je pak dále využívána v závislosti na její teplotě a množství (například vytápění hospodářských budov nebo skleníků). Toto řešení je konstrukčně velmi jednoduché, a proto je z možných řešení nejrozšířenější.

Hlavním problémem tohoto řešení je, že odváděním tepla z kompostu se může brzdit nebo dokonce zastavit reakce bakterií v důsledku velkého poklesu teploty kompostu. Na toto se musí myslet při návrhu systému (velikosti kompostu) a v průběhu reakce se musí hlídat teplota kompostu. Dalším problémem je ztížená manipulace s kompostem. Jak již bylo řečeno, kompost potřebuje prokysličovat, aby reakce probíhala rovnoměrně a rychleji. Se zabudovanými trubkami je možnost překopávání kompostu výrazně ztížena. Problémem v domácích podmínkách může být i fakt, že je potřeba poměrně velké množství materiálu (uvádí se, že minimální objem kompostu by měl být 4 m³, ideálně je to ale více, a to v závislosti na množství požadovaného tepla) [13][15][14].



Obrázek 5 Příklad uspořádání pro vodní tepelný oběh[15]

Na tomto principu pracuje projekt realizovaný v Moravské Třebové místními Technickými službami ve spolupráci se studentem Jakubem Stejskalem v roce 2015. Tento projekt navazuje na dlouholetou práci francouzského agronoma Jain Paina z let 1928 až 1981, který je považován za hlavního propagátora a inovátora v této oblasti.

V České Třebové byl postaven první český biomilír neboli kompostový reaktor. Použitý kompost je tvořen směsí dřevní drtě s příměsí hlíny a organických zbytků (traviny, listová zeleň atd.) Vysoký podíl dřevní štěpky zajišťuje dlouhodobý tepelný výkon, a navíc zabraňuje v zapáchání kompostu.

Bylo vypočítáno, že ideální velikost biomilíře je 70 až 120 m³ v závislosti na našich klimatických podmínkách, aby byl zajištěn optimální chod i v zimních měsících. Udává se, že kompost o objemu 100 m³ a hmotnosti 50 tun dokáže vyvíjet teplotu 50 °C po dobu jednoho roku.

Cílem projektu je vyhodnotit použitelnost a ekonomickou výhodnost této metody [16][17].



Obrázek 6 Základ biomilíře (vlevo) a konečná podoba reaktoru (vpravo) [17]

Druhým možným systémem je **přenos tepla pomocí vzduchu**. Tento systém už je technicky složitější. Tato metoda požaduje využití uzavřených boxů, bioreaktorů nebo biomilírů. Ze spodu reaktoru bude nuceně vháněn vzduch, který se bude průchodem kompostem ohřívat. V horní části reaktoru bude odběr teplého vzduchu, který bude přímo použitý k vytápění objektu.

Výhodou tohoto systému je výrazné provzdušňování kompostu, což zlepšuje a urychluje proces kompostování a zvyšuje množství využitelného tepla. Jelikož je teplý vzduch využitý přímo, odpadají i ztráty na výměnících. Nevýhodou je větší technická náročnost [13][14].

3 ANAEROBNÍ FERMENTACE

3.1 Vznik bioplynu

Bioplyn vzniká při poměrně složitém biochemickém procesu za pomoci mnoha skupin mikroorganismů. Majoritní část těchto mikroorganismů přežívá pouze v bezkyslíkaté atmosféře. Při procesu vzniku bioplynu se však nelze vyhnout kontaktu s kyslíkem, proto navazují symbiózu s organismy spotřebovávající kyslík. Některé bakterie dokáží žít v kyslíkaté atmosféře ale i bez ní. Pokud není množství kyslíku příliš vysoké, ostatní bakterie ho dokáží spotřebovat dříve, než dojde k poškození metanogenních skupin bakterií. V přírodě se tento proces vyskytuje na mnoha místech. Nachází se například v rašeliništích, na dně jezer nebo v bachoru přežvýkavců. Výsledný plyn je směs dominantních látek metanu a oxidu uhličitého s minoritními, například H_2 , N_2 , H_2S .

Podle místa vzniku rozlišujeme:

1) Zemní plyn

Vznikl anaerobním rozkladem biomasy nahromaděné v průběhu velmi dlouhé době. Energeticky je nejhodnotnější, protože obsahuje 98 % metanu.

2) Důlní plyn

Původ vzniku má velmi podobný jako zemní plyn. Jeho využití je velmi problematické. Pro svoji výbušnost bývá příčinou tragických důlních nehod.

3) Kalový plyn

Vzniká anaerobním rozkladem organických usazenin ve vodních nádržích. Vyskytuje se mimo jiné i v čistírnách odpadních vod, rýžovištích nebo rašeliništích. Chemické složení je velmi rozdílné kvůli velmi rozdílným podmínkám při generaci plynu.

4) Skládkový plyn

Za vhodných podmínek vzniká na skládkách komunálního odpadu. Úniky plynu mohou být nebezpečné, proto se zachycený plyn energeticky využije nebo se musí zlikvidovat bezpečnostním hořákem.

5) Bioplyn

V technické praxi se ustálilo použití názvu bioplyn pro plynou směs vzniklou anaerobní fermentací vlhkých organických látek v umělých technologických zařízeních.

Proces vzniku bioplynu se v různé literatuře nazývá různě – anaerobní fermentace, anaerobní digesce, metanová fermentace, metanové kvašení, bioganisifikace apod. Všechny mají stejný význam [2][3].

Proces anaerobní fermentace se skládá z několika dílčích na sebe navazujících fází.

1) Hydrolýza

V první fázi anaerobní bakterie přemění složité sloučeniny materiálu (bílkoviny, tuky, celulózu, polysacharidy) na jednodušší sloučeniny (aminokyseliny, monosacharidy, mastné kyseliny)

2) Acidogeneze

V druhé fázi dochází k dalšímu rozkladu materiálu. Vzhledem k výsledným produktům se této fázi říká kyselá. Vznikají zde mastné kyseliny (octová, propionová a máselná). Dále pak v této fázi vzniká oxid uhličitý a vodík.

3) Acetogeneze

Ve třetí fázi vznikají prekurzory. Bakterie přemění produkty minulé fáze na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. Vysoký obsah vodíku je ale škodlivý pro acetogenní bakterie. Z toho důvodu je nezbytná blízká spolupráce těchto bakterií s bakteriemi metanogeneze.

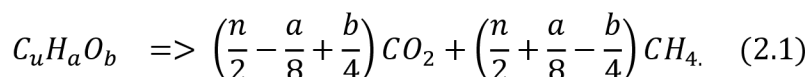
4) Metanogeneze

V poslední fázi vzniká metan. Metanogenní bakterie rozkládají jedno uhlikaté látky (metanol, kyselina mravenčí, kysličník uhelnatý), vodík a kyselinu octovou. Bývají zpravidla limitujícím faktorem celého procesu. Existují dvě skupiny metanogenních bakterií – hydrogenotrofní a acetotrofní.

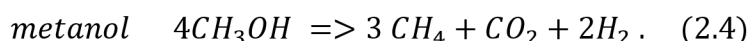
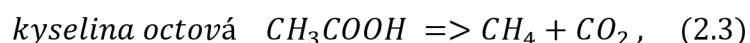
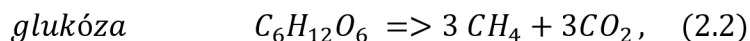
Hydrogenotrofní bakterie produkují metan z oxidu uhličitého a vodíku. Rychle rostoucí bakterie působí jako samoregulátor. Odstraňují vodík, který je smrtící pro acetogenní bakterie. Z tohoto důvodu jsou nepostradatelné.

Acetotrofní bakterie produkují směs metanu a oxidu uhličitého z kyseliny octové. Udržují pH celého procesu.

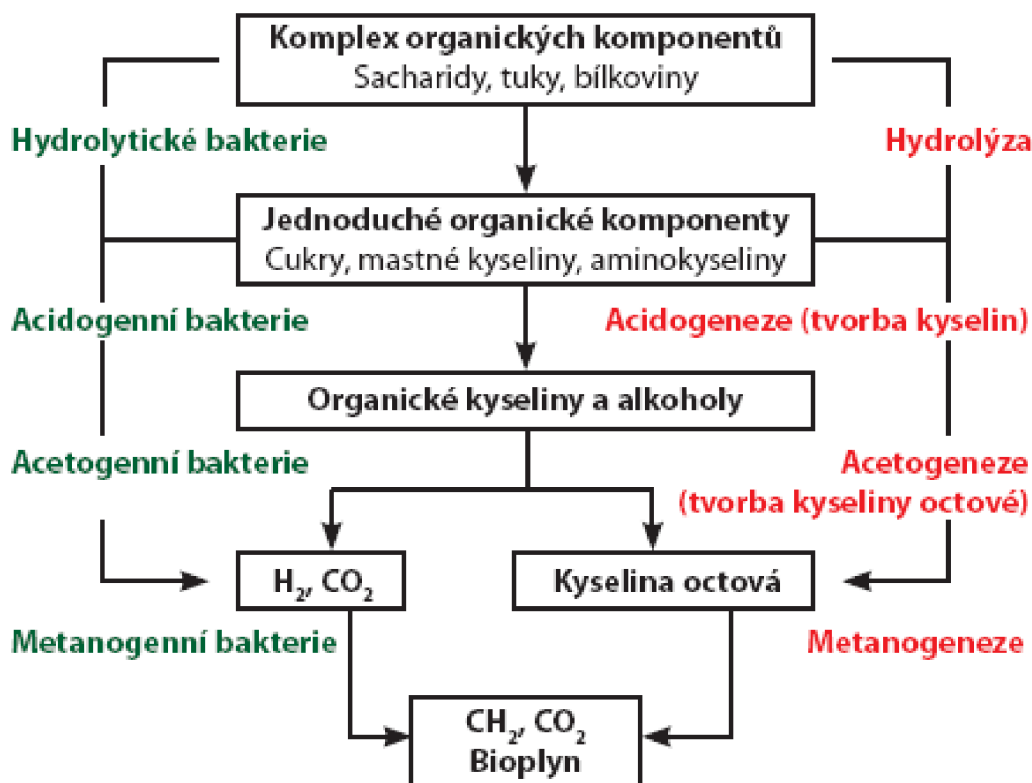
Rozklad uhlovodanů:



Zjednodušený popis metanového kvašení:



Při anaerobní procesu se odbourává velký podíl organické složky ze substrátu, materiál se na rozdíl od aerobního procesu sám téměř nezahřívá. Na druhou stranu získáváme kýžený bioplyn. Zjednodušené schéma vzniku bioplynu je na obrázku 7 [2][3].



Obrázek 7 Schéma vzniku bioplynu [4]

3.2 Chemické složení bioplynu

Přesné chemické složení bioplynu je závislé na mnoha faktorech, především na složení vstupního substrátu. Bioplyn tvoří z většiny metan (50 % až 75%) a oxid uhličitý (50 %-25%). Tyto dvě složky jsou bezbarvé a bez zápachu. Dále se ve směsi vyskytují minoritně zastoupené plyny jako N₂, O₂ a další nežádoucí příměsi.

Pokud je koncentrace oxidu uhličitého vysoká, proces anaerobní fermentace neprobíhá ideálně. Přítomnost kyslíku signalizuje netěsnost systému. Tato skutečnost může být velmi nebezpečná, protože směs kyslíku a metanu je značně výbušná. Ve směsi se může vyskytovat též vodík. Ten signalizuje narušení rovnováhy mezi průběhem acidogenní a metanogenní fáze. Toto je většinou způsobeno nadměrným zatížením surového materiálu. Stopy oxidu uhelnatého mohou signalizovat vznik lokálních ložisek požáru při suché anaerobní fermentaci. V neposlední řadě směs může obsahovat sulfan H₂S. Jeho obsah je velmi závislý na použitém substrátu. Bioplyn může obsahovat i stopy argonu, amoniaku a oxidu dusného. Přibližné složení bioplynu různých obecných substrátů je v tabulce 1[2].

Tabulka 1 Přibližné složení bioplynu dle různých použitých substrátů

Látka [% obj.]	Kuchyňský odpad	Odpad z čistírný odpadních vod	Zemědělský odpad
CH ₄	50-60	60-75	60-75
CO ₂	34-38	33-19	33-19
N	0-5	1-0	1-0
O ₂	0-1	<0,5	<0,5
H ₂ O	0-10	0-10	0-10
H ₂	0-1	0-1	0-1
NH ₃	0-1	0-1	0-1
H ₂ S [mg/m ³]	100-900	1000-4000	3000-10000

3.3 Faktory ovlivňující proces fermentace

Teplota

Teplota je základní fyzikální veličina pro popis stavu látky, proto je jasné, že bude mít velmi velký vliv na chemické reakce včetně procesu tvorby bioplynu. Obecně se dá říct, že čím vyšší teplota, tím rychleji reakce probíhá. Nicméně každá skupina bakterií má jiné teplotní optimum. Rozdělují se do tří základních skupin:

- 1) **Psychrofilní** (do 25 °C)
Při těchto teplotách není nutné vyhřívat substrát. Na druhou stranu velká nevýhoda je, že rychlost rozkladu je velmi pomalá.
- 2) **Mezofilní** (32 °C až 42 °C)
Tato skupina tvoří největší skupinu metanových bakterií. Většina používaných zařízení pracuje právě v tomto rozmezí.
- 3) **Termofilní** (50 °C až 57 °C)
Tyto teploty se využívá k hygienizaci substrátu, ke zničení škodlivých zárodků. Díky vysoké teplotě je rychlost rozkladu a výtěžnost plynu velmi vysoká. Na druhou stranu velmi vzrůstají náklady na ohřev substrátu. Navíc je substrát v těchto teplotách citlivý na změny teploty nebo na nepravidelnosti v dodávkách substrátu.

Jak již bylo řečeno, tak při anaerobní fermentaci nevzniká téměř žádné teplo. Proto je nutné pro mezofilní a termofilní způsob provozu vybavit fermentor externím vytápěním a je nutné ho velmi dobře tepelně izolovat pro dosažení teplotního optima [1].

Hodnota pH

Stejně jako u teploty je i optimální hodnota pH rozdílná pro různé skupiny bakterií. Hydrolyzují a kyselinotvorné bakterie mají svoje optimum mezi hodnotami pH 4,5 až 6,3. Nicméně tyto bakterie jsou odolné i při vyšším pH, pouze mírně poklesne jejich aktivita a produkce. Bakterie vytvářející kyselinu octovou a metan potřebují pH vyšší než první skupina bakterií. Jejich optimum je mezi hodnotami 6,8 až 7,5. Pracují tedy s neutrální pH. Metanové bakterie jsou velmi citlivé na nízké pH. Za normálních okolností se hodnota pH nastaví v systému samovolně prostřednictvím alkalických a kyselých produktů látkové výměny anaerobního procesu.

Pokud ale hodnota pH poklesne, jsou metanové bakterie inhibovány ve své látkové výměně. Metanogenní rozklad přestane fungovat dostatečně rychle a dochází k nárůstu množství kyselin z acidogeneze, čímž se situace ještě zhorší, protože hodnota pH velmi výrazně klesá a metanové bakterie zastavují svoji činnost. Z tohoto důvodu je nutné pravidelné sledování hodnoty pH a v případě poklesu je nutné snížit dodávku substrátu, aby bylo možné snížení množství kyselin v systému [1].

Kvalita substrátu

Pro správnou funkci bakterií procesu fermentace jsou mimo jiné potřebné i stopové prvky a živiny jako železo, nikl, kobalt, selen, molybden a wolfram. Přítomnost těchto prvků je důležitá pro růst a vlastní existenci bakterií. Množství vytvořeného metanu je závislé na podílech proteinů, tuků a uhlohydrátů.

Stabilita procesu je závislá na poměru uhlíku a dusíku obsaženého v substrátu. Pokud je podíl uhlíku příliš vysoký, nedochází k jeho plnému využití. Není využit celý jeho potenciál. Pokud je naopak příliš velký podíl dusíku, dochází ke vzniku většího množství amoniaku, který může omezovat růst bakterií a zpomalovat tak celý proces a při vysokých koncentracích může zapříčinit až zhroucení celého procesu [1][2].

Přítomnost nežádoucích látek

Proces anaerobní fermentace může být narušen z mnoha důvodů a mnohými nežádoucími látkami. Tyto nežádoucí látky mohou zpomalovat průběh procesu nebo dokonce mít až devastující vliv na bakteriální kolonie ve fermentoru. Rozlišujeme nežádoucí látky, které se dostávají do procesu s přidávkou substrátu a nežádoucí látky, které vznikly jako meziprodukty jednotlivých kroků fermentace. Přehled látek a jejich škodlivých koncentrací je v tabulce 2 [1][2].

Tabulka 2 Přehled látek a jejich škodlivých koncentrací pro bioreaktor [1]

Látka	Koncentrace
Sodík	Mezi 6–30 g/lit (v adaptovaných kulturách až k 60 g/lit)
Draslík	Od 3 g/lit
Vápník	Od 2,8 g/lit CaCl ₂
Hořčík	Od 2,4 g/lit MgCl ₂
Čpavek	2,7-10
Síra	Od 50 g/lit H ₂ S, 100 mg/S ²⁻ , 160 mg/lit NaS (v adaptovaných kulturách až k 600 mg/lit Na ₂ S a 1000 mg/lit H ₂ S)
Těžké kovy	Jako volné ionty: Od 10 mg/lit Ni, od 40 mg/lit Cu, od 130 mg/lit Cr, od 340 /lit Pb, od 400 mg/lit Zn V karbonátech: Od 160 mg/lit Zn, od 170 mg/lit Cu, od 180 mg/lit Cd, od 530 mg/lit Cr ³⁺ , od 1750 mg/lit Fe. Těžké kovy mohou být přes sulfidy vysráženy a neutralizovány
Mastné kyseliny	Iso-mléčná kyselina brzdí proces již od 50 mg/lit

4 POUŽÍVANÉ SUBSTRÁTY

Jako substrát pro anaerobní fermentaci lze použít téměř jakýkoliv druh biomasy. Za biomasu je možné považovat substanci biologického původu, která zahrnuje rostlinou biomasu (fytomasu), živočišnou biomasu, vedlejší organické produkty a organické odpady. Bioplyn lze získat téměř ze všech druhů biomasy s výjimkou fytomasy s převládajícím podílem celulózy a ligninu.

V dalších kapitolách se budou rozebírat některé nejpoužívanější substráty pro bioplynové stanice.

4.1 Zemědělství

4.1.1 Statková hnojiva

Stavy hospodářských zvířat v české republice vytrvale klesají, nicméně statková hnojiva tvoří významnou část substrátů pro bioplynové stanice. Výhodou použití kejdy (hovězí i prasečí) je nízký obsah sušiny a díky tomu se může dobře kombinovat s ostatními substráty. Slamnatý hnůj se musí naředit, aby mohl být pumpovatelný. Přibližný výtěžek plynu ze statkových hnojiv je v tabulce 3.

Tabulka 3 Výtěžek plynu a obsah metanu statkových hnojiv [1]

Substrát	Výnos plynu		Obsah metanu (objem. %)
	(m ³ /T substrátu)	(m ³ /t org. Sušiny)	
kejda skotu	20-30	200-500	60
kejda prasat	20-35	300-700	60-70
hnůj skotu	40-50	210-300	60
hnůj prasat	55-65	270-450	60
hnůj slepic	70-90	250-450	60

4.1.2 Cíleně pěstované plodiny

Kukuřice

Velká výhoda kukuřice jsou vysoké výnosy energie na hektar, proto se této suroviny velmi hojně využívá. Je běžné a doporučené kombinovat kukuřičnou siláž s dalšími druhy substrátů, především s kejdou, protože proces fermentace je poté mnohem stabilnější a výnos metanu je vyšší [1].

Žitná siláž z celých rostlin (GPS)

Tato skupina zahrnuje siláž triticales a siláž z celých rostlin. Tyto rostliny jsou velmi nenáročné na pěstování a mohou být tak pěstované na horších půdách a v chladnějších oblastech. Pro představu, výnosy žita činní asi 5-6 tun z hektaru a poměr zrn ku slámě je 1:1,6. To znamená, že celkový výnos čerstvé hmoty může být 13 až 15 tun [1].

Řepa

Krmná i cukrová řepa má poměrně velmi vysoké výnosy hmoty, nicméně nevýhodou jsou její nároky na půdu a podnebí. Řepa potřebuje mírné podnebí a hlubokou ornou humózní půdu. Na kvalitě půdy jsou pak závislé výnosy, které se pohybují mezi 50 a 60 tunami hmoty z jednoho hektaru [1].

Problém s řepou je ten, že plodnice musí být dobře očištěny od zeminy, protože ta by se jinak hromadila na dně fermentoru. Stejně tak kameny. Řepa je sklizena sezonně, proto je potřeba uskladnění pro celoroční dávkování [1].

Travní siláž

Pěstování a sklizeň trávy patří k základním zemědělským činnostem, proto je produkce siláže dobře technologicky zvládnutá. V závislosti na klimatických podmínkách probíhá sklizeň dvakrát až čtyřikrát do roka. Travní siláž je jedna ze základních substrátů pro zemědělské bioplynové stanice [1][2].

4.2 Dále zpracující zemědělský průmysl

Výroba piva

Při výrobě piva vzniká mnoho vedlejších produktů. Nejvýznamnější je mláto. Uvádí se, že na každý hektolitr piva vznikne přibližně 19 kg mláta a 4 kg dalších odpadních produktů [1][2].

Výroba alkoholu

Při výrobě alkoholu vzniká velké množství vedlejších produktů, takzvaných výpalků. Uvádí se, že na každý litr alkoholu asi 12-ti násobné množství výpalků. Tato surovina se v současné době používá hlavně jako krmivo pro dobytek. Skladování je jednoduché, nicméně při delším skladování může být materiál napaden plísní a houbami, a proto se doporučuje silážování. Výpalky vykazují obvykle nízké koncentrace škodlivin [1][2].

Výroba škrobu

Při výrobě škrobu vzniká organický odpad v podobě tzv. bramborové zdrtky (dřeň). Tato hmota se skládá hlavně ze slupek, buněčných stěn a nerozpuštěných škrobových buněk. Z každé tuny zpracovaných brambor vzniká asi 240 kg drti. Obvykle se tyto zbytky používají jako krmivo pro dobytek [1][2].

Výroba cukru

Při zpracování cukrové řepy vzniká velké množství vedlejších produktů. Jsou to za prvé tzv. vyslazené řízky, které odpadávají po extrakci cukerných krystalů, za druhé je to melasa, která vzniká při oddělování cukerných krystalů od zahuštěného cukerného sirupu.

Jedná se o dobře fermentovatelný materiál. Nicméně obsah draslíku a chlóru bývá poměrně vysoký a může působit jako brzda fermentačního procesu. Navíc obsahují velké množství sušiny, a proto se používá pouze spíše jako přídavek do fermentoru. Melasa se používá hlavně jako krmivo pro zvířectvo [1][2].

Vedlejší produkty ze zpracování ovoce

Při zpracování vinné révy a ovoce na víno vznikají tzv. výlisky, které jsou sice přednostně využívané jako surovina pro výrobu alkoholu, nicméně se dají použít i jako substrát do bioplynových reaktorů. Na hektolitr vína/ovocné šťávy připadá zhruba 25 kg výlisků [1].

4.3 Biologicky rozložitelný komunální odpad

Jedná se o skupinu odpadu, do které patří separované odpady z domácnosti (zbytky z kuchyní, údržba zahrad, ...), odpady z údržby obce (travní seč, prořezy stromů, ...) a odpady z činnosti živnostníků, restaurací a jídelen. Někdy se do této skupiny zahrnuje i odpad z jatek. Tento odpad se souhrnně označuje jako BRKO (biologicky rozložitelný komunální odpad) a je zpracováván v bioplynových stanic označovaných jako komunální. V těchto zařízeních se dále zpracovávají i další průmyslové odpady, například z potravinářského a zpracovatelského průmyslu. Přehled BRKO s vyjádřeným podílem biologicky rozložitelné složky je v tabulce 4.

Tabulka 4 *Biologický rozložitelný komunální odpad* [7]

Kat. číslo odpadu	Název	Podíl biologicky roz. složky (% hm.)
20 01 01	Papír a/nebo lepenka	100
20 01 08	Biologicky roz. Odpad z kuchyní a jídelen	100
20 01 10	Oděvy	60
20 01 11	Textilní materiál	50
20 01 38	Dřevo ostatní	100
20 02 01	Biologicky rozložitelný odpad	100
20 03 01	Směsný komunální odpad	54
20 03 02	Odpad z tržišť	80
20 03 07	Objemný odpad	50

V rámci přípravy projektů na sběr bioodpadu se počítá obvykle s měrnou produkcí bioodpadu cca 100 kg/os/rok v zástavbě rodinných domů a cca 25 kg/os/rok na sídlištích. Kvalita tohoto odpadu velmi kolísá, což provoz bioplynových stanic znesnadňuje. Zvláště nebezpečné pro provoz fermentoru je kromě obsahu těžkých kovů i velká koncentrace dusíku, který ve větších koncentracích působí jako brzda procesu fermentace. Velké mechanické nečistoty musí být strojně odstraněny před zpracováním ve stanici.

Provoz komunálních bioplynových stanic se řídí podle zákonů o nakládání s odpady [7].

4.4 Odpady z údržby zeleně

Díky péči společnosti o parkové plochy, městskou zeleň nebo travnaté okraje silnic vzniká množství využitelného biologického odpadu. Kvůli sezonnosti se tento odpad silážuje pro možnost použití po celý rok. Před zpracováním je materiál zbaven větví a kamenů. Hygienizace není většinou nutná.

Tento materiál je velmi dobře zfermentovatelný, nicméně kvůli vysokému obsahu sušiny nelze použít jako majoritní složka pro fermentování [1][2][3].

5 BIOPLYNOVÉ STANICE

5.1 Rozdělení bioplynových stanic

Bioplynové stanice se v základu dělí podle zpracovávaného materiálu na:

1. Zemědělské

Zpracovávají vstupy zemědělské prvovýroby, což jsou především statková hnojiva a energetické plodiny (typicky kukuřice). V ČR jsou zdaleka nejrozšířenější.

2. Průmyslové

Využívají především rizikové vstup, jako jsou kaly z čistíček odpadních vod, krev z jatek apod.

3. Komunální

Zpracovávají komunální bioodpady a odpady z domácností

A dále to jsou speciální stanice

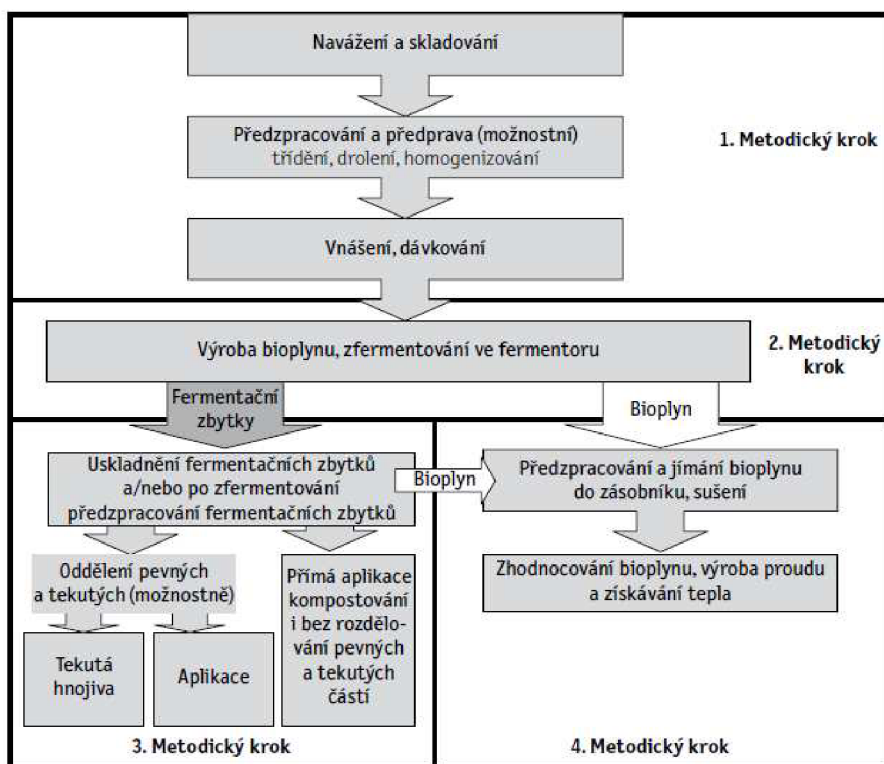
4. Mikro BPS pro domácí užití

Malé bioplynové reaktory zásobující teplem nebo bioplynem jeden nebo maximálně několik málo objektů. Jejich rozšíření je velmi malé a jedná se až na výjimky spíše o podomácky vyrobené zařízení.

5. Experimentální

Slouží k výzkumu a vývoji nových technologií a technologických postupů v oblasti BPS. V poslední době jde hlavně o výzkum ohledně metody suché fermentace [8].

5.2 Princip bioplynové stanice



Obrázek 8 Schéma postupu při získávání bioplynu [1]

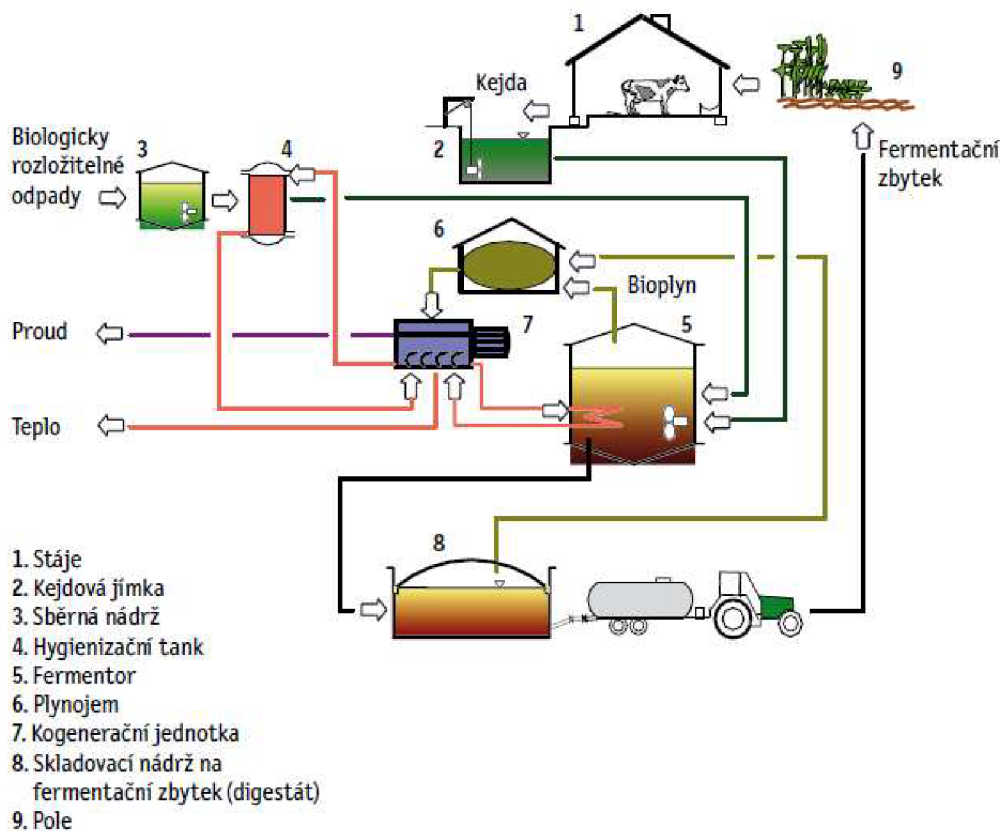
Technologie bioplynové stanice se dá rozdělit do čtyř na sobě závislých stupňů:

1. Navážení, uskladnění, předzpracování, dávkování
2. Výroba bioplynu – fermentace
3. Úprava a uskladnění fermentačních zbytků
4. Jímání, úprava a zhodnocení bioplynu

Schématický přehled jednotlivých kroků je na obrázku 8.

Technologie stanice je závislá především na používaných substrátech. Podle množství substrátu se dimenzují velikosti veškeré technologie a kvalita určuje techniku postupu. Podle složení samotného substrátu bývá nutné oddělit rušivé látky, přidáním vody snížit obsah sušiny a zajistit tím pumpovatelnost nebo v některých případech hygienizovat substrát vysokou teplotou. Toto se děje v první fázi. V další fázi se substrát přesune do fermentoru, kde dochází k samotné anaerobní fermentaci. Vznikající bioplyn je poté upravován a uskladňován. Jeho zhodnocení probíhá ve většině případů v kogenerační jednotce, kde se zároveň vyrábí elektřina a teplo. Fermentační zbytky jsou uskladněny v uzavřených nádobách nebo případně v otevřených kontejnerech. Tyto zbytky se používají jako tekuté hnojivo.

Schéma jednostupňové zemědělské stanice na obrázku 9 [1].



Obrázek 9 Schéma zemědělské bioplynové stanice [1]

5.3 Technologie bioplynových stanic

5.3.1 Podíl sušiny v substrátu

Metoda mokré fermentace

U této metody je využíván jak pevný, tak i tekutý substrát. Nicméně reakční směs musí být tekutá a je promíchávána. U zemědělských bioplynových stanic tato metody výrazně převládá.

U této metody se majoritně používají dva druhy reaktorů – reaktory s pístovým tokem materiálu anebo s ideálně míchané směšovací reaktory, případně dále speciální dvoukomorové fermentory [1].

Reaktory s pístovým tokem

Stanice s reaktory s pístovým tokem jsou obvykle vybaveny reaktory s menším průměrem využívající výtlačný efekt přiváděného substrátu, který vyvolá pístový tok skrze fermentor. Proměšování je realizováno pomocí speciálně konstruovaným vedením proudění. Toto řešení je vhodné pro substráty s vysokým obsahem sušiny za předpokladu dobré přizpůsobení míchací a dopravní techniky. Výhodou je kompaktní provedení, nákladová výhodnost, oddělení procesních stupňů a zamezení plísňových usazenin [1].

Ideálně míchané reaktory

Velmi používané v zemědělské výrobě bioplynu jsou plně míchané reaktory ve stojaté stavební formě. Fermentor se skládá z jedné nádrže s betonovým dnem a ocelovými zdmi. Na celou nádrž je nasazeno vzduchotěsné víko.

Tato metoda je vhodná pro čerpatelné substráty s malým obsahem sušiny. Zařízení pracuje v polo plynulém nebo plynulém režimu. Mezi přednosti patří nákladová výhodnost pro objemově velká zařízení nebo možnost proměnného provozu. Nevýhodou bývá náročné zastřešení celého velkoobjemového systému [1].

Suchá fermentace

Tato metoda je vhodná tam, kde převládá materiál s vysokým podílem sušiny. Suchá fermentace má velmi slibné vyhlídky do budoucna, protože má několik zásadních výhod, nicméně technologie pro suchou fermentaci jsou stále v procesu vývoje.

Předností technologie je hlavně nízká náročnost na dodávku energie, protože manipulace s použitým materiálem je jednoduchá a také odpadájí náklady na výhřev. Údržba je nenákladná. Modulární výstavba této technologie umožňuje dobré přizpůsobení pro dané podmínky.

Nevýhodou je nutnost realizace více fermentorů pro stabilitu dodávek bioplynu. Materiálem není možné míchat, a proto vznikají místa s nízkou výtěžností. Suchá fermentace vyžaduje použití většího množství takzvaného očkovacího materiálu pro podporu fermentačního procesu [1].

Kontejnerová metoda

Jak už název napovídá, tato metoda využívá kontejnerů jako nádob pro fermentor. Proces začíná ohříváním substrátu přidanými (naočkovanými) bakteriemi za přístupu vzduchu. Na tuto fázi volně navazuje kompostovací proces, který ohřeje celý objem kontejneru na provozní teplotu. Poté je zamezeno přístupu vzduchu. Po jeho vyčerpání se rozbíhá proces anaerobní fermentace [1].

Velmi podobné řešení využívají boxové fermentory viz obrázek 10.



Obrázek 10 Kontejnerová metoda suché fermentace [6]

Další možné aplikace suché fermentace jsou hadicové fermentory, tunelové fermentory a pístové fermentory.

5.3.2 Počet procesních stupňů

Existují jednostupňové až tři stupňové systémy. U zemědělských bioplynových stanic se vyskytují z většiny jednostupňové systémy, v menší míře dvojstupňové. Jednostupňové bioplynové stanice nepracují s oddělováním procesních fází. U více stupňových systémů se naopak jednotlivé fáze fermentace oddělují do více nádrží [1][2].

5.3.3 Procesní teplota

Jak bylo řečeno v předchozí kapitole, existují 3 druhy stanic dle provozní teploty – Psychrofilní (do 25 °C), Mezofilní (32 °C až 42 °C), Termofilní (50 °C až 57 °C). Teplota se optimalizuje vzhledem k použitému substrátu. 85 % bioplynových stanic pracuje v mezofilní oblasti. Termofilní bioplynové stanice bývají kombinované s jedním mezofilním procesním stupněm. Psychrofilní bioplynové stanice se téměř nevyskytují [1][2].

5.3.4 Způsob dávkování substrátů

U bioplynových stanic se používají 3 druhy dávkování – kontinuální, semikontinuální a diskontinuální.

Kontinuální dávkování

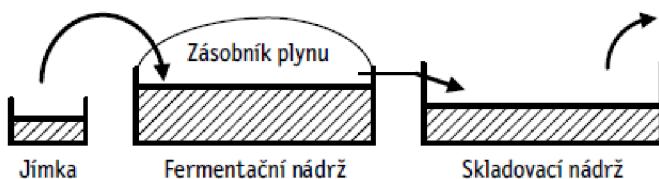
Používá se při plnění fermentoru, které zpracovávají tekutý obsah s velmi nízkým obsahem sušiny [1][2].

Semikontinuální

Při tomto způsobu dávkování se do reaktoru automaticky dávkuje menší množství substrátu v průběhu celého dne v celku odpovídající denní dávce. Reaktor zůstává neustále naplněn.

Většina stanic se semikontinuálním způsobem dávkování používá průtokovou metodu dávkování, kdy je substrát pumpován z jednoho zásobníku v daných intervalech do fermentační nádrže. Na druhé straně je přebytečný materiál vytlačen do skladu fermentačních zbytků.

Tato metoda poskytuje stejnoměrnou produkci plynů a vysoké využití fermentačního prostoru. Schéma průtokové metody je na obrázku 11.



Obrázek 11 Schéma průtokové metody[1]

Dále se používá zásobníková metoda. U této metody je uskladňovací nádrž a fermentor sloučen do jedné nádrže. Tato metoda se používá velmi málo. Výjimečně se může použít i kombinace těchto dvou metod – průtokově zásobníková metoda, kombinující výhody i nevýhody obou řešení [1][2].

Diskontinuální

Při diskontinuálním plnění je fermentor kompletně naplněn a poté vzduchotěsně uzavřen. Substrát zůstane v nádrži až do konce cyklu procesu fermentace bez žádných přísad. Po uplynutí dané doby procesu se fermentor vyprázdňuje od zbytků a znovu naplní novým substrátem. Tento způsob plnění se vyznačuje nerovnoměrnou produkcí a kvalitou plynu. Doba fermentace se reguluje velikostí nádrže.

Postup výměny nádrží pracuje na principu střídání dvou nádrží. Jedna nádrž je naplňována postupně substrátem z jímky a ve druhé probíhá proces fermentace. Jakmile se první nádrž naplní, je druhá nádrž vyprázdněna a zaujímá místo první nádrže, tedy začíná se znovu naplňovat novým substrátem. V systému může být zařazeno více nádrží pro rovnoměrnější produkci bioplynu [1][2].

5.4 Příklady bioplynových stanic a technologií

5.4.1 Bioplynová stanice Třeboň

BPS Třeboň je nejstarší bioplynová stanice v ČR. V provozu je od roku 1974. Instalovaný výkon byl až do roku 2009 175 kWe a 226 kWtep. V roce 2009 došlo k rozšíření, kdy byl postaven první český bioplynovod a byla postavena nová kogenerační jednotka s instalovaným výkonem 844 kWe a 840 kWtep.

Projekt byl realizovaný tak, že v areálu bioplynky za městem byly postaveny nové 3 fermentační nádrže. Bioplyn z nich je transportován plynovodem do areálu městských lázní Aurora, kde se nachází nová kogenerační jednotka. Délka plynovodu je 4300 m.

Kogenerační jednotka pokrývá spotřebu tepla celého objektu, bazénu a blízkých obytných staveb. Jednotka je dobře odhlučněna, úroveň hluku je pouze na úrovni 35 dB. Systém je vybaven dvěma akumulacími nádržemi.

Primárním palivem pro tuto stanici je kukuřičná senáž (15 500 t/rok), travní senáž (4 300 t/rok) a prasečí kejda (3 000 tun/rok). Stanice za rok vyprodukuje za rok 6 620 MWh elektrické energie netto a 16 000 až 19 000 GJ tepelné energie [8].



Obrázek 12 Bioplynová stanice Třeboň [8]

5.4.2 Bioplynová stanice Vysoké Mýto

BPS Vysoké Mýto byla vybudována v roce 2008. Výstavba byla finančně podpořena z fondů EU. Stanice zpracovává širokou škálu bioodpadů – kaly z ČOV, jateční odpady, odpady z kuchyní a jídelen, travní a zemědělských odpadů a separovaný bioodpady od obyvatel. Množství zpracovaných odpadů je 4 650 t za rok

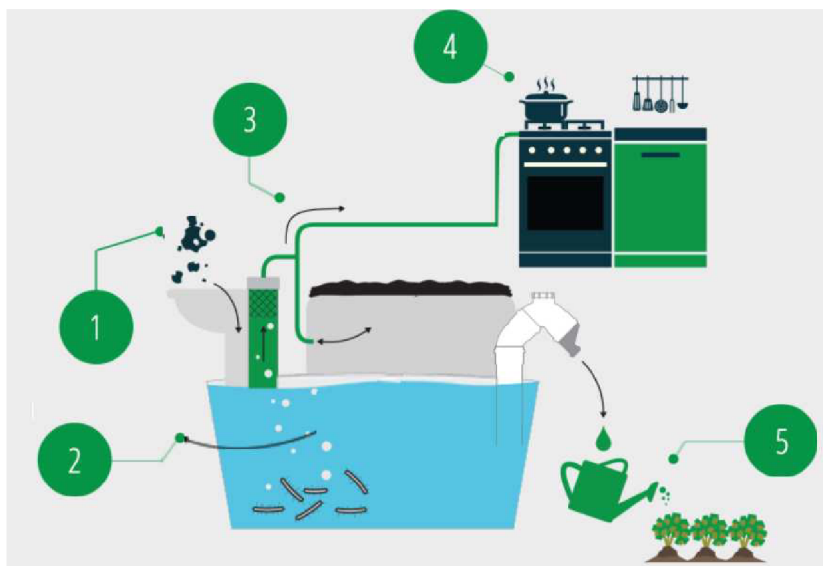
Stanice se skládá z hlavní budovy, kde se nachází dvojice příjmových objektů. První slouží příjmu, drcení a hygienizaci odpadů. Ve vedlejší místnosti se nachází příjem ostatních surovin s podzemní jímkou. Celá budova je vybavena biofiltry [10].

5.4.3 Systém HomeBiogas

Systém HomeBiogas je jedno z prvních komerčně prodávaných zařízení, které slouží jako mikro bioplynová stanice, to znamená, že z biologického odpadu z domácnosti produkuje bioplyn a hnojivo. Systém pochází od stejnojmenné Izraelské společnosti z města Beit Yanai a vývoj byl financován pomocí crowdfundingové kampaně na známém serveru Kick starter.

Systém funguje následovně:

1. Do systému vhodíte jakýkoliv biologický odpad z domácnosti. Systém je koncipovaný na příjem až 6 litrů odpadu za jeden den.
2. Anaerobní bakterie ve vodní lázni rozkládají hmotu a produkují bioplyn
3. Bioplyn je čištěn a jímán v zásobníku pro další použití
4. Ze zásobníku je pak možné využívat bioplyn jako palivo pro vaření. Systém zajišťuje produkci plynu až na 2 hodiny vaření.
5. V neposlední řadě zařízení produkuje kvalitní hnojivo



Obrázek 13 Principiální schéma systému HomeBiogas [12]

Nevýhodou systému je nutnost provozu pouze v teplých podnebních pásmech z důvodu udržení optimální teploty pro anaerobní bakterie, což vylučuje použití v ČR. Také cena je stále ještě poměrně vysoká [12].



Obrázek 14 Systém HomeBiogas [12]

6 VYUŽITÍ BIOPLYNU

6.1 Kogenerace

Pojem kogenerace zahrnuje současnou výrobu tepla a elektrické energie. Nejčastěji jsou používané kogenerační jednotky se spalovacími motory spojené s generátorem. Používají se jak asynchronní generátory zejména u malých zařízení, tak i synchronní generátory u standartních nebo velkých jednotek.

Celková účinnost zařízení je u kogenerační jednotky definovaná jako součet účinnosti tepelné a elektrické. U běžných zařízení se pohybuje v rozmezí 80 až 90 %. Tyto čísla se ale vztahují k provozu na plný výkon, který nebývá u kogeneračních jednotek příliš častý. Reálná účinnost při běžném provozu bývá menší.

V kogeneračních jednotkách využívající spalovací motor může být produkováno teplo na různých teplotních úrovních. Nejvýhodnější odvod tepla je při použití vodního chlazení spalovacího motoru. K vyvedení tepla se obvykle používají deskové výměníky. Jelikož teplota výfukových plynů dosahuje hodnot 450 až 550 °C, je výhodné získávat tepelnou energii i z nich. K tomuto účelu se používají trubkové výměníky vzduch-voda. Odběr tepla musí být v relativní blízkosti, jinak se odběr stává nerentabilní [1].

Plynový Ottův motor

Tento motor je speciálně vyvinut pro plynový pohon a pracují podle Ottova principu. Ottův motor bývá provozován s co nejmenšími emisemi oxidů dusíku, to znamená spalování chudé směsi s malým obsahem paliva a přebytkem vzduchu. Součástí bývá turbodmychadlo pro zvýšení plnicího tlaku vzduchu. Obsah metanu v bioplynu nesmí poklesnout pod 45 %, jinak dochází k problémům s chodem motoru. Tyto motory mohou být poháněné i jinými druhy plynu (typicky zemní plyn při najíždění bioplynové stanice). Výkony Ottových motorů mohou dosáhnout až jednotky megawatt o největších aplikací.

Předností těchto motorů jsou nízké emise a vysoká celková účinnost (vyšší než u vznětových motorů). Nevýhodou bývají mírně vyšší náklady jak na provoz, tak i náklady investiční. U malých motorů bývá též nižší účinnost [1].

Vznětový motor se zápalným paprskem

Vznětové motory pracují s Dieslovým principem. Bioplyn se přimíchává přes mísič se spalovaným vzduchem a zapalován je vznětovým palivem (typicky běžná nafta). I tyto motory pracují s chudou směsí. Regulací přiváděného množství vznětového paliva a plynu se reguluje výkon motoru. Motor může běžet pouze na naftu či olej.

Výkon těchto motorů bývá až 350 kW. Výhodou je cenová dostupnost standartních motorů. Výhodou je též fakt, že ve spodním výkonnostním pásmu mají vznětové motory vyšší elektrickou účinnost než Ottovy motory. Nevýhodou bývá časté zanesení vstřikovacích trysek spalinami (karbonizace). Nevýhodou je též nutnost používání dodatečného paliva a horší emisní parametry [1].

Stirlingův motor

Stirlingův motor je druhem tepelného motoru. Píst je zde uváděn do pohybu na rozdíl od spalovacích motorů roztahováním uzavřeného plynu, který se roztahuje díky přivodu energie nebo tepla z vnějšího zdroje. Hlavní výhodou tedy je, že motor může pracovat s nejrůznějšími zdroji tepelné energie.

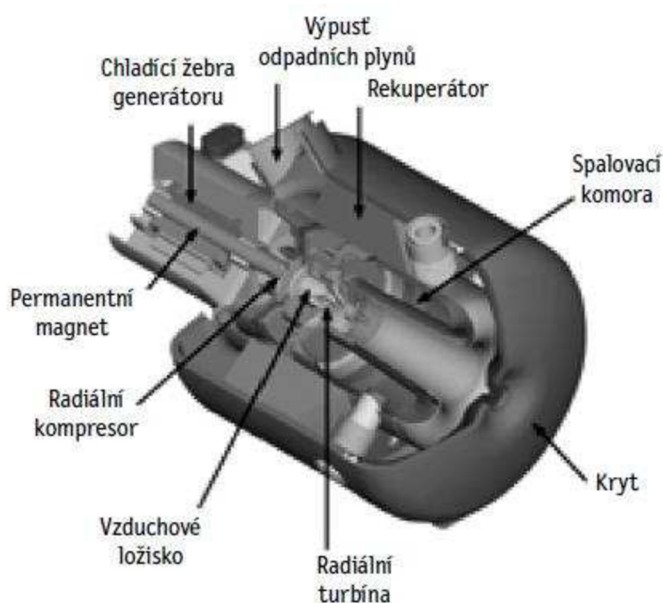
Tepelný motor využívá faktu, že plyn při změně teploty mění i svůj tlak a tím vykoná práci. Pokud se pracovní plyn pravidelně a opakovaně pohybuje mezi prostorem s konstantně vysokou teplotou a prostorem s nižší teplotou, je dosaženo plynulého provozu. Nevýhodou je špatná regulovatelnost motoru a malá pohotovost k provozu. Nevýhodou je i nutnost mít velký chladič a pro dosažení vysoké účinnosti je nezbytné pracovat s vysokými tlaky.

Výkony Stirlingových motorů bývají pod 50 kWel. Termická účinnost se pohybuje v rozmezí 25 až 33 %, elektrická v rozmezí 18 až 22 %. Výhodou může být fakt, že díky tomu, že spalování plynu nedochází přímo ve válci, může být použit plyn s nízkým obsahem metanu. Nicméně tato technologie je u bioplynových stanic využívána zatím velmi málo [1].

Mikroplynové turbíny

Pracovní látkou spalovacích turbín jsou spaliny vzniklé spalováním paliva ve spalovací komoře. Turbíny jsou osazeny kompresory, které vhánějí do spalovací komory stlačený vzduch a s jeho pomocí dochází ke spalování paliva. Spaliny průchodem turbínou odevzdávají lopatkám turbíny svojí kinetickou energii. Zbývající energii je poháněn generátor, který vyrábí elektrickou energii.

Výkony turbín bývají do 200 kW. Výhodou plynových turbín bývá vysoká životnost při použití kvalitního plynu (bez nežádoucích příměsí, vysoký obsah metanu). Nevýhodou je poměrně nízká účinnost kolem 80 % a mírně vyšší investiční náklady. Rozšíření této technologie je zatím malé, ale plynové turbíny mají poměrně vysoký potenciál. Příklad plynové turbíny je na obrázku 15 [1].



Obrázek 15 Mikroplynová turbína od firmy G.A.S. Energietechnologie GmbH [1]

6.2 Další možnosti využití bioplynu

Trigenerace

Stálé využívání tepla z kogeneračních jednotek je obtížné a těžce dosažitelné. Nicméně pro ekonomiku stanice je využití generovaného tepla důležité. Toto částečně řeší takzvaná trigenerace, kdy je kromě elektrické energie a tepla produkován ještě chlad. Chlad je získáván z odpadního tepla pomocí tzv. sorpčním postupem. Na tomto principu fungují třeba moderní chladničky.

Zásadní nevýhodou trigenerace jsou pořizovací náklady a také fakt, že se chlad v našich zeměpisných šířkách nedá uplatnit po celý rok [1].

Přímé spalování

Přímé spalování se v dnešní době uplatňuje například u menších ČOV nebo u domácích mikro bioplynů určených pro výrobu bioplynu na vaření.

Pro přímé spalování se používají atmosférické hořáky, které pracují pouze s okolním vzduchem, a dmyhadlové hořáky u kterých se vzduch přivádí dmyhadlem pod tlakem. Bioplyn může být též použit jako příměs do paliva.

Tento způsob užití bioplynu není ale široce podporován, protože nevyužívá celý potenciál bioplynu [1].

Napojení do sítě zemního plynu

Tento způsob využití nabízí perspektivní možnost využití bioplynu do budoucna, kdy by už nebylo potřeba produkovat bioplyn pouze v místě spotřeby ale ve vhodnějších lokalitách.

Bioplyn musí splňovat přísné normy, aby mohl napájet síť zemního plynu. Bioplyn musí být sušen, čištěn od nežádoucích příměsí, zbaven oxidu uhličitého. Další podmínka je tlak v síti zemního plynu.

V současné době není tato metoda zatím příliš ekonomicky realizovatelná, nicméně o realizaci se pokouší ve Švédsku, Nizozemí a Německu [1].

Pohonné hmoty pro automobily

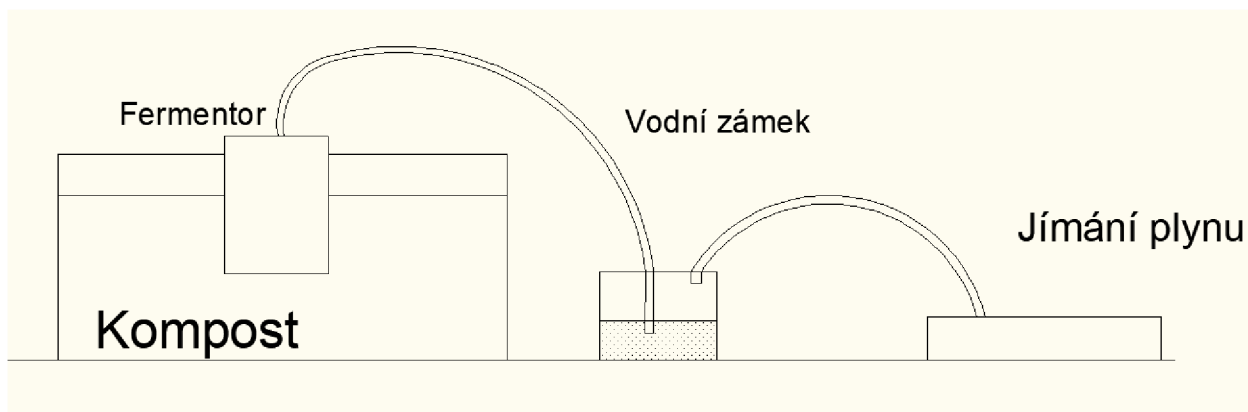
Pro použití v dopravních prostředcích musí být plyn upraven tak, aby ho mohli spalovat dnes používané motory. To znamená vysušení plynu, odstranění oxidu uhličitého a dalších nežádoucích příměsí, hlavně pak sulfanu. Bioplyn tak musí splňovat podobné požadavky jako při napájení sítě zemního plynu.

Základní problém je ekonomika provozu a nutnost výrazného stlačení pro dopravní prostředky. Realizované projekty se pak nachází pouze ve Švédsku a Švýcarsku [1].

7 NÁVRH A REALIZACE TESTOVACÍ KONSTRUKCE SYTÉMU BIOREAKTORU

7.1 Předchozí systém

Tato práce navazuje na práce kolegů z let minulých. Systém bioreaktoru byl koncipován velmi jednoduše. Fermentor v podobě sudu o objemu 50 l naplněný vsázkou byl zahrabán do kompostu, který mu dodával potřebné teplo. Vznikající plyn byl přes vodní uzávěr vháněn do míče, kde byl ukládán pro pozdější využití. Schéma systému je na obrázku 16.

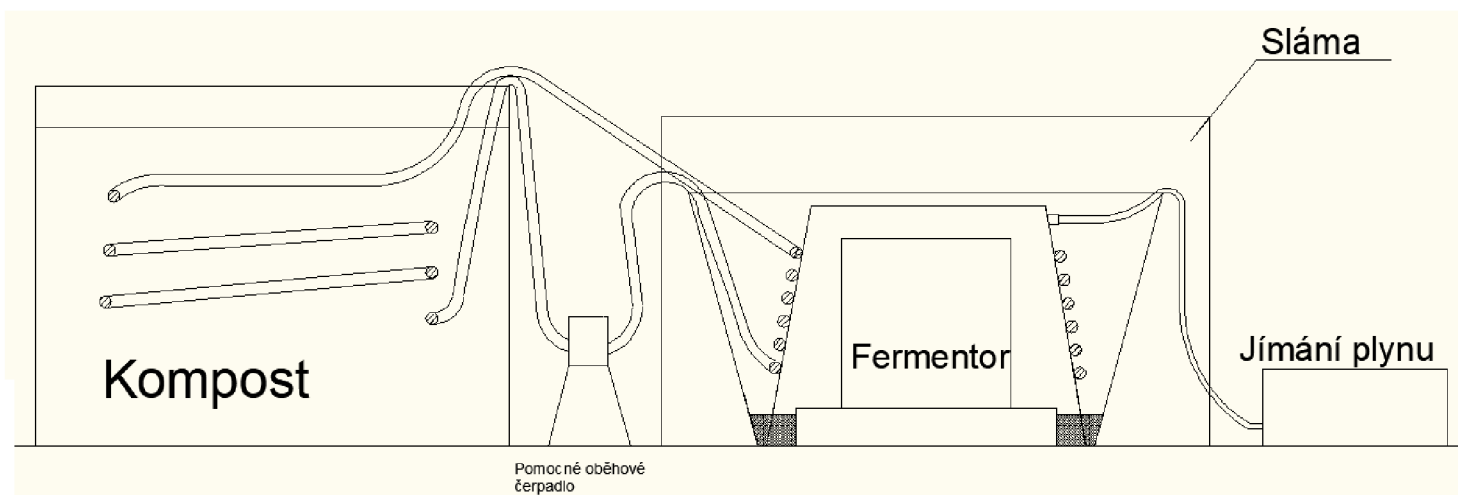


Obrázek 16 Schéma předchozího bioreaktoru [20]

V takto navrženém systému vznikal bioplyn, nicméně řešení to nebylo ideální a úkolem této práce je využít poznatku z předchozích pokusů a navrhnout řešení lepší [20].

7.2 Návrh testovací konstrukce bioreaktoru

Výchozí kritérium návrhu byla cena, která měla být co nejvýhodnější vzhledem k tomu, že se jedná o testovací prototyp. Návrh testovací konstrukce trval poměrně dlouho. Bylo to zapříčiněno i tím, že tato oblast je poměrně málo probádaná a popsána. Nakonec bylo rozhodnuto, že se fermentor oddělí od kompostu. Výhodou bude snadnější manipulace a možnost lépe izolovat fermentor pomocí balíků slámy. Návrh testovací konstrukce bioreaktoru je na obrázku 17.



Obrázek 17 Schéma testovací konstrukce bioreaktoru

V čerstvém kompostu je zahrabána stočená hadice, ve které bude proudit voda, kterou bude zahřívat vzniklé teplo. Voda bude proudit do fermentoru, kde bude hadice omotána kolem samotné nádoby fermentoru a předávat teplo. Proudění vody bude realizováno samotížkou. Pokud by se při realizaci ukázalo, že to nebude optimální, bude přidáno pomocné čerpadlo.

Fermentor je realizován pomocí dvou nádrží na vodu (450 l a 200 l), které do se vzájemně zapadnou. Anaerobní fermentace probíhá bez přístupu vzduchu. To znamená, že je nutné fermentor izolovat a k tomu slouží vodní uzávěr na dně větší nádrže. Samotná fermentace probíhá v kovovém sudě o objemu 75 l. Do sudu byly pro naše potřeby udělány malé díry, aby vsázka byla lépe provzdušněná a materiál mohl lépe „dýchat“. Celý fermentor poté bude opatřen přídatnou izolací z balíků slámy.

Proces fermentace bude realizován jako suchý. Plyn se bude jímat přechodně do prázdného balonu.

7.3 Realizace testovací konstrukce

Realizace probíhala na zahradě pana docenta Baxanta na podzim roku 2017. Celý proces se ukázal jako časově dost náročný, protože bylo nejprve potřeba vyprázdnit starý kompost a poté založit nový. To znamenalo hodiny práce se sháněním materiálu vhodného do kompostu a poté s navážením materiálu do kompostu. Až poté mohly být realizované další věci.



Obrázek 18 Vyprázdněný kompost



Obrázek 19 Znovu naplněný kompost

Při naplňování kompostu, respektive při pokládání hadice do kompostu a jejím následném zahrabování došlo k prvnímu problému této realizace. Při pokládce nebyla z důvodu úspory peněz použita vhodná hadice (byla použita běžná zahradní hadice), proto po zahrabání hadice do kompostu se ukázalo, že je hadice neprůchozí. Z časových důvodů už bohužel nebylo možné kompost znovu zdlouhavě překopávat a použít vhodnější hadici nebo jinou konstrukci výměníků. (Protože jak je vidět na obrázku 19, realizace se protáhla až do zimy). Proto bylo rozhodnuto, že experiment bude probíhat bez přihřívání fermentoru teplem z kompostu.



Obrázek 20 Připravená vsázka a vnitřní nádoba fermentoru

Fermentor byl naplněn směsí s majoritním podílem štěpky, dále tam pak byl minoritní podíl zbytků lusků a jiné zeleně. Cíl bylo dodržet podíl C/N na úrovni zhruba 25/1. Vsázka a vnitřní nádoba fermentoru je na obrázku 20. Celý fermentor byl izolován od země pomocí palety vyplněné slámou, jak můžete vidět na obrázku 21.



Obrázek 21 Částečně složený bioreaktor



Obrázek 22 Detail na vnitřní výměník tepla bioreaktoru



Obrázek 23 Kompletní bioreaktor i s opláštěním z balíků slámy

Na obrázku 23 můžete vidět konečnou realizaci. Celý fermentor byl důkladně obložen balíky slámy pro vylepšení izolace a snížení úniků tepla. Celá sestava byla nakonec zakryta střechou z plachty na dřevěné konstrukci.

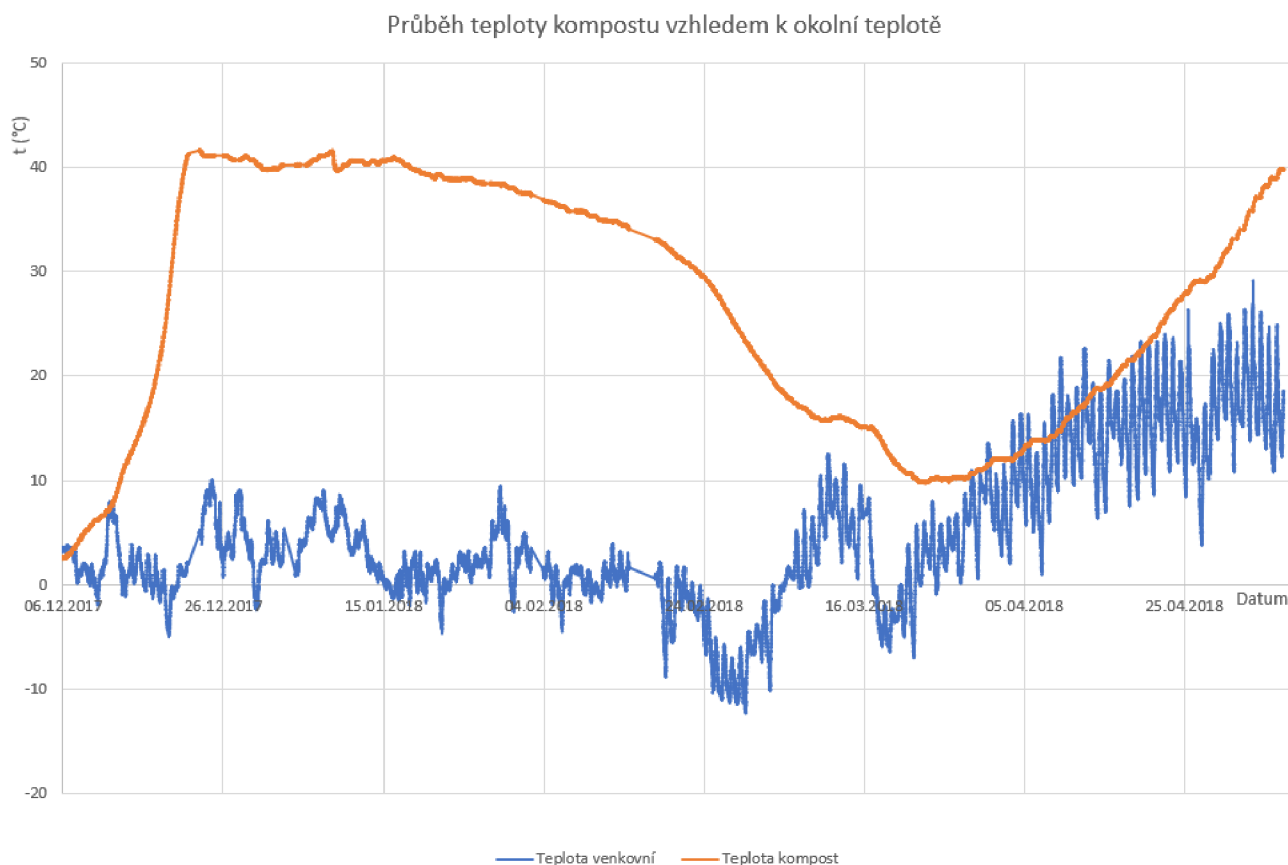
Realizace byla časově velmi náročná a počasí se začalo postupně zhoršovat, takže bohužel nebylo možné dokončit celý bioreaktor tak, jak bylo původně zamýšleno. Nebylo doděláno jímání bioplynu, proto nemáme bohužel žádné údaje o množství vzniklého bioplynu a jak už bylo zmíněno, nepovedla se realizace systému přenosu tepla z kompostu k fermentoru. Nicméně byl realizován kompost, kde se bude měřit průběh teploty, ze které se vyhodnotí funkčnost kompostovacího procesu. Dále pak byl naplněn fermentor. Do fermentoru bylo též vloženo čidlo teploty a bude sledován průběh teploty, z kterého se dá odvodit průběh generování plynu. Teploty budou měřeny pomocí centrálního systému pana Baxanta.

7.4 Vyhodnocení pokusu

Při vyhodnocení pokusu na jaře 2018 došlo k objevení velkého problému. Původně byly do kompostu zahrabány dvě čidla teploty a do fermentoru jedno. Poté co se rozhodlo o tom, že nebude realizovatelný přenos tepla z kompostu do fermentoru a tím pádem poklesla důležitost kompostu, bylo rozhodnuto o odpojení jednoho čidla z kompostu. Systém pana Baxanta má omezený počet připojitelných čidel a uvolněné místo v systému mohlo být použité na další čidla z jiných projektů. Při přepojování ale došlo k omylu. Ve změti kabelů a špatné komunikace bylo odpojeno číslo z fermentoru.

Byl to velký problém, protože průběh teploty z kompostu se blížil teoretickému průběhu teploty z fermentoru. V klasickém kompostu roste teplota během procesu rozkladu až k 70 °C, ale v mém kompostu se teplota držela pouze okolo 40 °C, což je typická teplota pro metanogenní fermentaci. Proto to vypadalo, že měření probíhá správně. K rozpoznání došlo až při detailnějším rozboru naměřených dat.

Nicméně naměřená data z čidla v kompostu jsou v pořádku a závislost je vynesena na obrázku 24. Průběh odpovídá teoretickému předpokladu, kdy na začátku procesu teplota letí strmě vzhůru, tam vydrží nějakou dobu a pak začne pomalu klesat. Jak již bylo ale řečeno, maximální teplota kompostu vystoupila jen lehce přes 40 °C. Toto může být způsobeno nedostatečnou homogenizací použitého materiálu, který se primárně skládal z nahraného listí. Na druhou stranu tato teplota vydržela v kompostu poměrně dlouhou dobu. Zajímavé ale je, že při venkovním oteplení začala teplota kompostu opět růst. Očividně proces nebyl ještě zcela dokončen a ještě nějaká energie v kompostu zůstala.



Obrázek 24 Průběh teploty v kompostu vzhledem k teplotě okolí

Na obrázku 25 je vidět, že vsázka ve fermentoru příliš nezetlela, je pouze pokrytá bílou plísní. Na dalším obrázku (26) je vidět řez fermentačním sudem. Zhruba ve prostředku je místo, kde nedošlo téměř k žádnému rozkladu materiálu. Na obrázku 27 je pak vidět použitá vsázka. Je vidět, že materiál zespoda fermentoru (na obrázku nahoře) je černý, to znamená, že proces rozkladu zde postoupil více. Celkově je ale vidět, že ve vsázce téměř neproběhl proces rozkladu. Jak již bylo řečeno, průběhy teplot nejsou k dispozici, nicméně vzhledem k dalším pokusům se dá odhadnout, že teplota ve fermentoru byla příliš nízká. Další roli mohla sehrát i nedostatečná homogenizace materiálu.



Obrázek 25 Rozdělaný fermentor po pokusu



Obrázek 26 Řez vsázkou



Obrázek 27 Použitá vsázka

8 NÁVRH A REALIZACE FUNKČNÍHO PROTOTYPU

8.1 Návrh prototypu

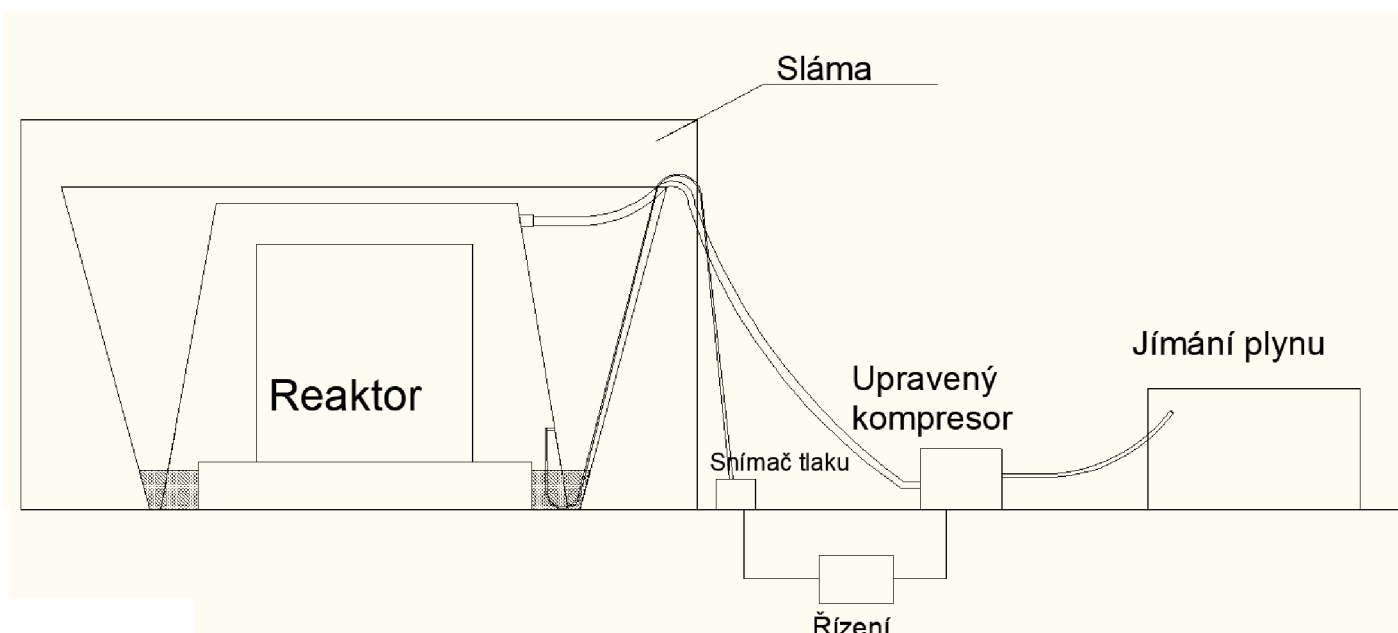
Návrh prototypu vychází ze zkušeností nabytých z testovací realizace.

Ze špatně naměřených dat jsme se domnívali, že fermentor pracuje bez přídavného vytápění. Z tohoto důvodu bylo rozhodnuto, že vzhledem k časové náročnosti, a protože druhá realizace bude probíhat za mnohem příznivějších teplot, že přídavné ohřívání není potřeba realizovat.

Další aspekt řešení bylo to, vyzkoušet nový přístup k odvodu plynu z fermentoru. Komerční zařízení pracují s přetlakem ve fermentoru. V našem zařízení bude vyzkoušen nový přístup, a to aktivní odsávání vzniklého plynu. Tato koncepce by měla přispět k lepší produkci plynu.

Z výše zmíněných poznatku vzešly tyto koncepční návrhy

1) Upravená původní koncepce



Obrázek 28 Schéma upravené původní koncepce

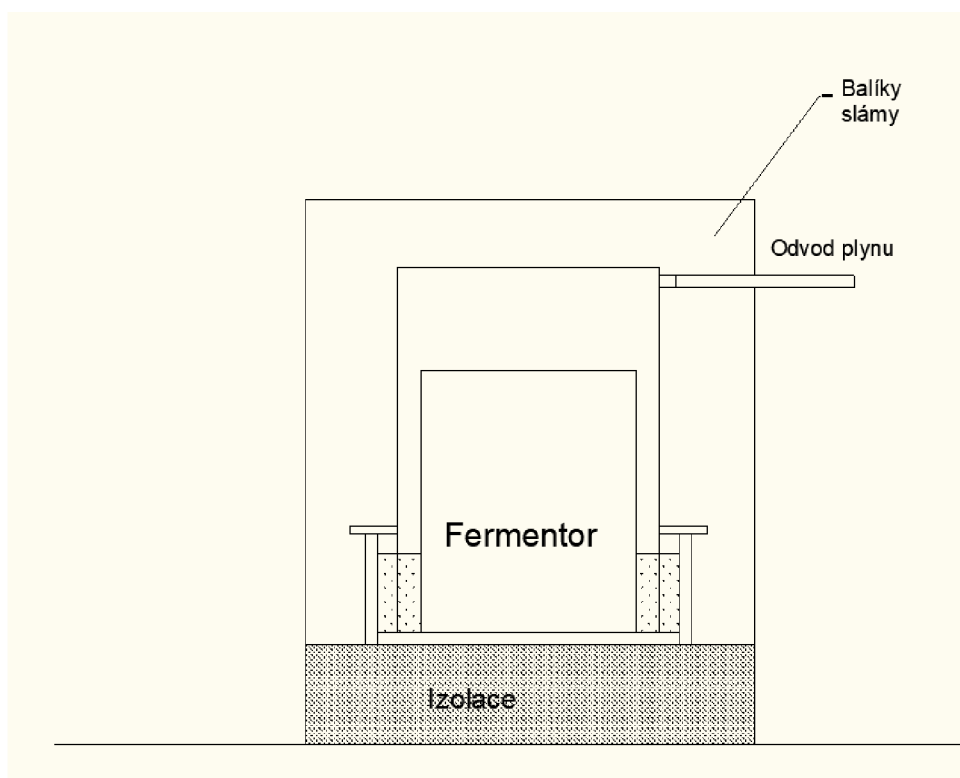
2) Systém uzavřeného vaku

Systém by byl založen na neprodyšně uzavřeném vaku naplněném vsázkou. Vypadal by podobně jako na obrázku 29.



Obrázek 29 Fermentor ve vaku [25]

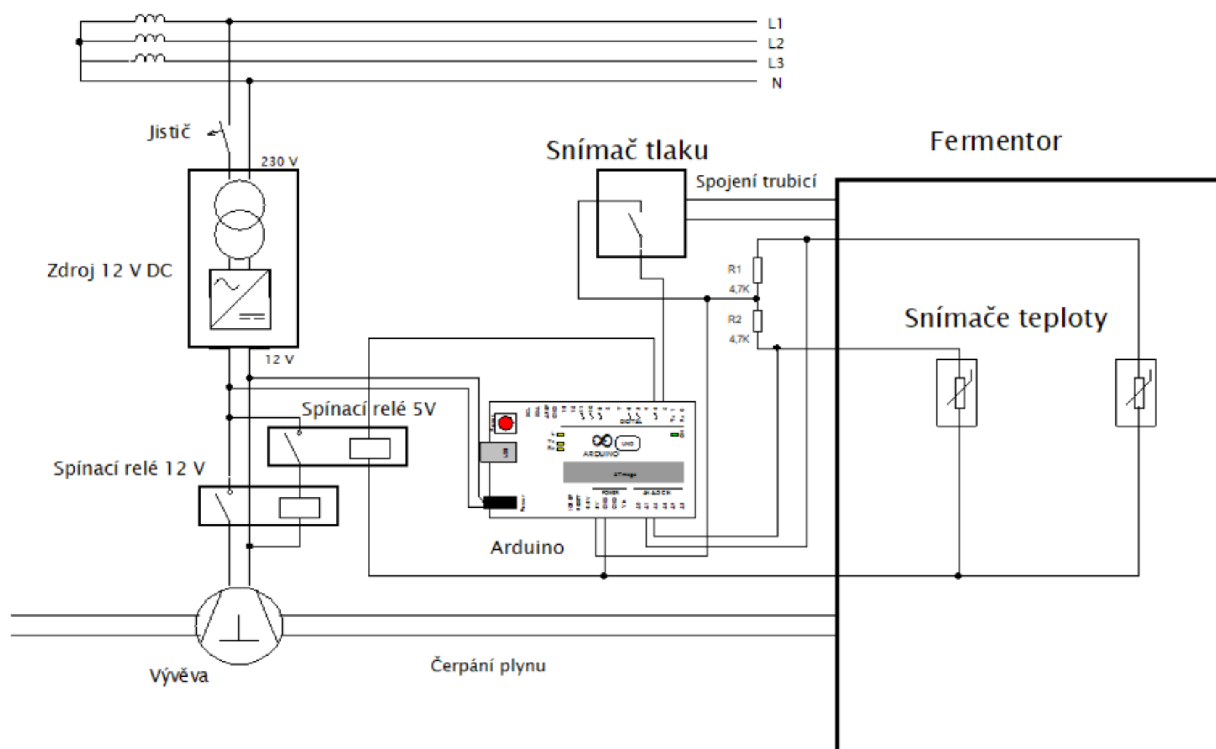
3) Původní koncepce s použitím obdélníkového půdorysu fermentoru



Obrázek 30 Hranatý fermentor

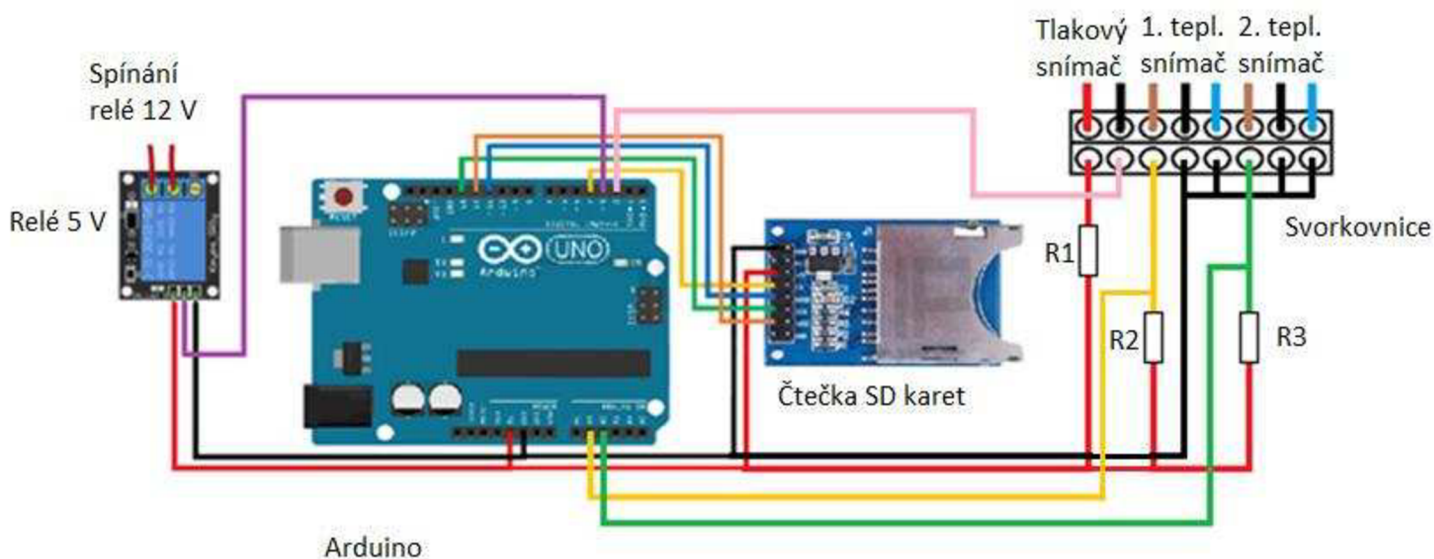
Uzavřený vak byl vyloučen kvůli problematickému shánění vhodného vaku a celkově problematické realizaci. Hranatý fermentor představoval zajímavou alternativu, protože obdélníkový půdorys nabízí lepší možnosti na obestavění a zároveň lepší využití vnitřního prostoru. Plus by byla použita pouze jedná velká nádrž. Nicméně nakonec bylo rozhodnuto, že výhody hranatého uspořádání nejsou tak zásadní a toto řešení nepřevyšuje výrazně již vyzkoušenou koncepci. Proto bylo rozhodnuto, že bude rozpracována upravená koncepce původní testovací konstrukce.

Elektrické schéma



Obrázek 31 Elektrické schéma

Zapojení Arduino



Obrázek 32 Detailní zapojení Arduino a jeho příslušenství

Poznámka k obrázku 32: barevné značení spojovacích kabelů neodpovídá přesně reálnému zapojení na přípravku

Hodnoty odporů: $R_1 = 10 \text{ k}\Omega$, $R_2 = R_3 = 4,7 \text{ k}\Omega$

8.1.1 Výběr komponent

Kompresor

Provedení	Pístový kompresor
Oblast využití	Exteriér
Typ pohonu	Elektrína
Jmenovitý počáteční výkon	1 W - 80 W
Max. pracovní tlak	1 bar - 18 bar
Plnicí výkon	11 l/min
Mazání olejem	Ne
Délka kabelu	2,7 m
Hmotnost	0,713 kg
Síťové napětí	1 V - 12 V
Cena	235Kč



Obrázek 33 Vybraný kompresor [21]

Očekává se spíše menší produkce plynu, proto byl vybrán kompresor s malým výkonem. Kompresor musel být předělán na vývěvu. Upravený kompresor je na obrázku 34.



Obrázek 34 Upravený kompresor

Senzor tlaku

Pro naše potřeby bylo potřeba vybrat rozdílový tlakový spínač s nastavitelným rozsahem v oblasti zhruba 1000 Pa. Na výběr byly tyto možnosti:

1. Rozdílový tlakový spínač řady PS



Rozsah- 100 až 1500 Pa

Membrána-silikon

Provozní teplota -20 °C až +60 °C

Životnost – více než 1 000 000 cyklů

Obrázek 35 1. tlakový rozdílový snímač [22]

2. Rozdílový tlakový spínač



Rozsah- 100 až 1000 Pa

Membrána-silikon

Obrázek 36 2. tlakový rozdílový snímač [23]

3. Analogový snímač řady SP



vysoká citlivost

odolnost proti přetížení

uživatelské softwarové nastavení

analogové, digitální a dvoustavové výstupy

krytí IP65

možnost vybavení displejem

Obrázek 37 Analogový snímač teploty [24]

Analogový snímač umí na rozdíl od spínačů měřit hodnotu tlaku. Toho by se dalo využít při zkoumání průběhu generování plynu.

Tabulka 5 Srovnání tlakových senzorů

	Tlakový rozsah		Přesnost		Maximální spínaný proud	Cena
	min	max.	spodní limit	vrchní limit		
1	100 Pa	1500 Pa	±10 Pa	±50 Pa	3 A	520 Kč
2	100 Pa	1000 Pa	± 5 %		5 A	853 Kč
3	100 Pa	2000 PA	± 1 %		x	5 500 Kč

Analogový přístroj byl zavrhnut z důvodů vysoké ceny. Mezi rozdílovými snímači se rozhodovalo podle maximálního spínaného proudu. Náš kompresor bude odebírat v maximu až 8,5 A. Tuto podmínku nesplnil ani jeden přístroj. Bude tedy nutné spínat kompresor přes přidané relé. Nakonec byl zvolen první snímač pro svojí nižší cenu.

Je nutné ještě dodat, že spínač není certifikovaný pro použití s výbušnými plyny. Nicméně pro náš pokus byl i tak nakonec zvolen.

Zdroj 12 V

Kompresor je poháněn stejnosměrným napětím 12 V. Z tohoto důvodu je nutné zařadit do rozváděče zdroj 12 V, který je napájený 230 V AC ze sítě.

Naším požadavkům napětí 12 V a výkonu 100 W vyhovovaly následující zdroje:

Tabulka 6 Srovnání zdrojů 12 V

Název	DR-120-12	EDR-120-12	NDR-120-12	SDR-120-12
Napětí DC (V)	12			
Výkon (W)	100			
Cena (Kč)	787	494	544	1006
Šířka (mm)	65,5	40	40	40
Prac. Teplota (°C)	-10 až 60	-20 až 60	-20 až 70	-25 až 70
Účinnost (%)	80	85	85,5	89
Ochrana	proti přetížení, přehřátí a zkratu			
Další fce	signalizace výstupního napětí			
Poznámky			Slim	

Poslední zdroj má sice nejvyšší účinnost, ale je dvojnásobně drahý oproti ostatním zdrojům. První zdroj má vyšší cenu, nižší účinnost, a navíc je širší než zbývající zdroje, takže ten také nebude použit. Ze zbývajících dvou byl vybrán zdroj NDR-120-12, který je jen o pár desítek korun dražší ale nabízí vyšší účinnost a vyšší rozsah teplot, což může ukazovat na lepší použité komponenty.



Obrázek 38 Zdroj NDR-120-12 [26]

Jistič

Byl použit standartní jednopólový jistič o jmenovitém proudu 10 A.

Relé 12 V

Požadavky na relé byly následující: spínaný proud 10 A, spínané napětí 12 V DC, ovládací napětí cívky relé 12 V DC, montáž na DIN lištu.

Tyto podmínky splnily následující relé:

Tabulka 7 Srovnání relé 12 V

Typ	G2R-1-S-12DC	G2R-1-SD-12DC	G2R-1-SN-12DC
Cena (Kč)	66	109	88
Jmenovité napětí DC (V)	12	12	12
Zatížitelnost (A)/(V) DC	10/30	10/31	10/32
Maximální proud (A)	10	10	10
Spínaný výkon (W)	300	300	300
Doba sepnutí (ms)	15	15	15
Doba rozepnutí (ms)	5	20	5
Typ relé	Elektromagnetické		
Konfigurace kontaktů	SPDT		
Montáž	patice		
Pracovní teplota (°C)	-40 až 70		

Nakonec bylo vybráno relé G2R-1-SN-12DC. Pro možnost montáže na DIN lištu je potřeba zapojit relé do patice.

Arduino a jeho příslušenství

Arduino je programovatelný mikrokontroler. Zároveň je i modulární, což znamená, že se k němu dají připojovat různé periférie a nastavby.

Pro naše potřeby přicházely do úvahy následující dva typy Arduino:

Tabulka 8 Srovnání mikrokontrolerů Arduino

Typ	Počet analog. vstupů	Počet dig. vstupů	Cena (Kč)
Uno	6	14	280
Mega	16	54	457

Vzhledem k rozsahu projektu nebylo potřeba využít Arduino Mega, proto bylo zvoleno Arduino Uno.



Obrázek 39 Mikrokontrolér Arduino UNO [27]

Zvolené příslušenství:**Relé 5 V**

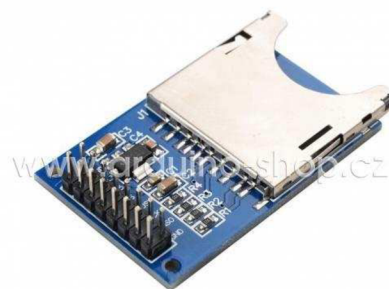
Bude sloužit ke spínání většího 12 V relé. Pro funkčnost by stačilo použít pouze relé 12 V, nicméně použitím relé 5 V zavedeme do Arduina informaci o spínání kompresoru, s kterou budeme dále pracovat.



Obrázek 40 Modul relé 5 V [27]

Čtečka SD karet

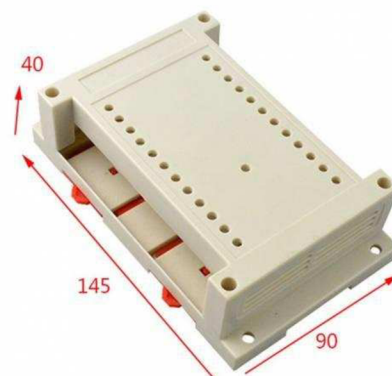
Čtečka bude sloužit k zápisu naměřených dat na SD kartu.



Obrázek 41 Čtečka SD karet [27]

Držák Arduina na DIN lištu

Bude sloužit k připevnění Arduina a jeho příslušenství na DIN lištu.



Obrázek 42 Držák na Arduino na DIN lištu [27]

Dimenzování kabelů

Pro rozvody v rozváděči byly použity slané vodiče. Dimenzované byly pomocí tabulky 9 a předpokládaného zatížení. Na DC straně budou kabely zatěžovány zhruba 10 A. Na AC straně budou zhruba 2 A. Návrh počítá s rezervou.

Pro silové kabely byl zvolen průřez $1,5 \text{ mm}^2$ a pro nesilové pomocné kabely průřez 1 mm^2 .

Rozváděč byl projektován tak, aby byl rozpojitelný a v určité míře modulární. Proto pro přívod byl použit kabel se zástrčkou. Pro výstup 12 V byl použit kabel s napojenou autozásuvkou na konci připojitelnou na auto zástrčku kompresoru.

Pro připojení senzoru tlaku byl použit dvoužilový kabel s průřezem žíly 1 mm^2 .

Tabulka 9 Zátížitelnost slaných vodičů [28]

Průřez	(mm ²)	0,5	0,75	1	1,5	2,5
Maximální dovolený proud	(A)	7	9	11	15	20

Přehled použitých komponent

Tabulka 10 Přehled použitých komponent

Skupina	Přístroj	Cena (Kč)
Kompresor	Kompresor 12 V Klasik	235
Oběh plynu	Hadičnick	25
	Redukce 3/8 na 3/4	22
	Hadice 3/4	100
	Příslušenství na upínání	50
	Vývodka vzduchu 3/8	40
Rozvaděč	Zdroj 12 V : NDR-120-12	706
	Relé 12 V : G2R-1-SN-12DC	181
	Patice na relé 12 V	57
	Krabice rozváděče	350
	Jistič 10 A	75
	Kabely a příslušenství	100
Arduino	Arduino UNO klon	231
	Čtečka SD karet	50
	Modul relé 5 V	49
	Krabička na DIN lištu	106
	Propojovací kabely Arduino	57
	Příslušenství k plošnému spoji	45
Senzor tlaku	Diferenciální tlakový snímač	654
Nádrže	Nádrž 200 l	350
	Nádrž 450 l	1200
	Sud 75 l	100
Kompost	Hadice a příslušenství	500
Celkem		5283

V tabulce 10 je soupis použitých komponent. Nejsou tam zahrnuty některé použité věci jako například typicky balíky slámy použité na izolaci fermentoru, paleta na izolaci fermentoru od země, nebo stará pneumatika použitá k izolaci nádoby se vsázkou od vodního zámku. Tyto komponenty se těžko oceňují, a proto jsem je vyjmul z přehledu. Celková cena realizace mírně přesáhla 5000 Kč. Ceny jsou včetně DPH.

8.2 Realizace prototypu

8.2.1 Program Arduino

Řídicí systém Arduino je důležitou součástí řešení. Bude hlídat správnou úroveň podtlaku ve fermentoru s pomocí snímače tlaku. Dále pak bude zaznamenávat celkovou dobu sepnutí kompresoru, z které můžeme orientačně zjistit množství uloženého plynu. V neposlední řadě slouží i pro měření teploty ve fermentoru pomocí připojených čidel teploty. A asi nejdůležitějším úkolem řídicího systému je ukládání všech naměřených dat na SD kartu pomocí připojené čtečky SD karet.

Programování probíhá v integrovaném prostředí nazvaném Arduino IDE (integrated development environment) pomocí jazyku Wiring, který je založen na programovacím jazyce C a C++, nebo přímo použitím těchto programovacích jazyků.

V následující části bude nakopírován použitý program a budou vysvětleny jeho základní náležitosti.

```
#include <SPI.h>
#include <SD.h>
//zapisování
const int chipSelect = 4;
const long interval = 60000;
unsigned long previousMillis = 0;

//senzor a relé
int vstup=2;
int vystup=3;
int x=0;
int y=0;
int z=0;
//čas kompresoru
unsigned long cas_kompresoru=0;
unsigned long start=0;
unsigned long finish=0;
unsigned long rozdil=0;

//počet výpisů
int n=1;

float teplota;
```

První část programu slouží k definici použitých knihoven. Dále pak jsou tu definice použitých globálních proměnných včetně správného typu proměnné (základní proměnná je int, float je proměnná s desetinou tečkou, unsigned long je pouze kladná a díky tomu má největší rozsah 32 bitů).

```
void setup()

{

  //relé a senzor
  pinMode(vstup, INPUT);
  pinMode(vystup, OUTPUT);

  // Open serial communications and wait for port to open:
  Serial.begin(9600);
  while (!Serial) {
    ; // wait for serial port to connect. Needed for native USB port only
  }

  Serial.print("Initializing SD card...");

  // see if the card is present and can be initialized:
  if (!SD.begin(chipSelect)) {
    Serial.println("Card failed, or not present");
    // don't do anything more:
    return;
  }
  Serial.println("card initialized.");
}
|
}
```

Funkce void setup slouží k prvotnímu nastavení programu. Definují se tu vstupy a výstupy, dále pak se tu startuje sériová komunikace, která se dá využít ke zpětné komunikaci s PC pomocí definovaných hlášení (viz dále). Poté je tu ještě inicializovaná SD karta.

```
void loop()
{
  // senzor a relé
  x=digitalRead(vstup);
  digitalWrite(vystup,!x);
  digitalWrite(z,!x);

  if(!x==LOW && y==0)
  {
    start=millis();
    y=1;
  }

  if(!x==HIGH && y==1)
  {

    finish=millis();
    y=0;
    rozdil= finish-start;
    cas_kompresoru+=rozdil;
    rozdil=0;
  }
}
```


Funkce void loop je opakující se smyčka. Zde se píše hlavní program, který běží stále dokola. V první části sleduji signál na vstupu od snímače tlaku a jeho negaci předávám na výstup. Dále je zde udělána dvojice podmínek, která slouží k zaznamenávání času sepnutí kompresoru. K tomuto účelu je využita funkce millis, která zaznamenává čas od startu programu.

```
unsigned long currentMillis = millis();
if (currentMillis - previousMillis >= interval) {
    previousMillis = currentMillis;

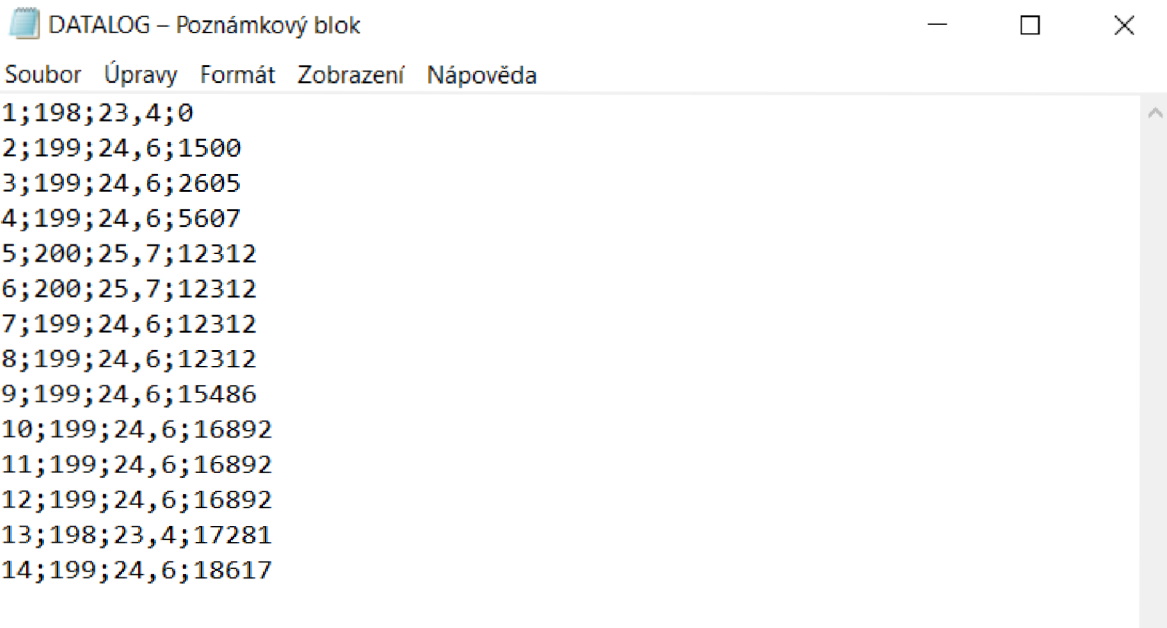
    String dataString = "";
    dataString +=n;
    n++;
    dataString += " ";
    int analogPin = 1; {
    int sensor = analogRead(analogPin);
    dataString += String(sensor);
    dataString += " ";

    teplota=1.1746*(sensor)-211.92;
    }
    dataString+=(teplota);
    dataString += " ";
    dataString+=(cas_kompresoru);

    File dataFile = SD.open("datalog.txt", FILE_WRITE);
    if (dataFile) {
        dataFile.println(dataString);
        dataFile.close();
        Serial.println(dataString);
    }
    else {
        Serial.println("error opening datalog.txt");
    }
}
}
```

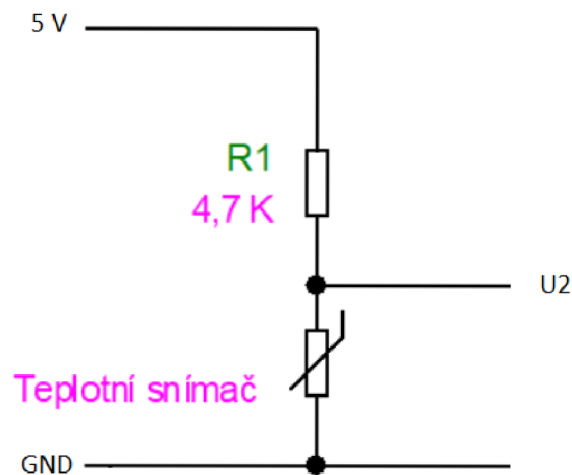
Tato část programu slouží k čtení teploty, vytvoření logu a jeho následnému uložení na SD kartu. V první části určuji pomocí proměnné “ interval “ časové intervaly, ve kterých se bude zapisovat teplota. Opět je zde využita funkce millis. Dále se pak vytváří samotný log, který se bude poději zapisovat. Log je ve formátu: číslo logu; analogová hodnota snímače teploty; přibližná hodnota teploty (viz dále); celkový čas běhu kompresoru. Nakonec se log zapíše na SD kartu. V případě problémů s SD kartou se vypíše hláška pomocí seriové komunikace.

Určení teploty probíhá následovně. Přibližná teplota je vypočtena podle experimentálně zjištěné závislosti daného snímače PT 1000. Snímač byl vystaven třem různým teplotám od 20 °C do 100 °C a byla zaznamenána hodnota napětí na vstupu Arduina. Získaná závislost se linearizovala a byla zjištěna její regresní rovnice. Pomocí této rovnice se pak přepočítává hodnota napětí na teplotu. Přibližná teplota slouží k porovnání k vypočtené teplotě. Obrázek 43 ukazuje zapsaný log na SD kartě.



Obrázek 43 Příklad výpisu logu na kartu

Měření teploty



Obrázek 44 Schéma měření teploty

Schéma měření teploty je na obrázku 44. Arduinem měříme úbytek napětí na teplotním snímači, který je zapojen v můstku s předřazeným odporem. To znamená, že se napětí dělí v závislosti na daných odporech, ale tato závislost není úplně lineární.

Použit bude snímač Pt 1000 s hodnotou ppm 6180. V tabulce 11 je uveden teplotní přepoččet při použití různých předřadných odporů R_1 .

Pod tabulkou jsou uvedeny příslušné výpočty. Na obrázku 45 je pak vynesena závislost napětí U_2 na teplotě s vyznačením hodnoty spolehlivosti, která udává na kolik přesně se daná závislost blíží vybrané regresní křivce (v našem případě přímka)

Tabulka 11 Teplotní závislost odporu čidla a výstupního napětí při použití různých odporů R_1

R_1 (Ω)		500	4 700	10 000
t	R_2	U_2	U_2	U_2
($^{\circ}\text{C}$)	(Ω)	(V)	(V)	(V)
20	969,1	3,298278	0,854721	0,441741
25	1000	3,333333	0,877193	0,454545
30	1030,9	3,366974	0,899422	0,467278
35	1061,8	3,399283	0,921413	0,47994
40	1092,7	3,430338	0,94317	0,492531
45	1123,6	3,460212	0,964695	0,505052
50	1154,5	3,488969	0,985994	0,517504
55	1185,4	3,516673	1,007068	0,529887
60	1216,3	3,543378	1,027923	0,542202
65	1247,2	3,569139	1,048561	0,554449
70	1278,1	3,594005	1,068985	0,566629
δU (V)				
		0,295727	0,214264	0,124888

Příklady výpočtu pro první řádek tabulky 11

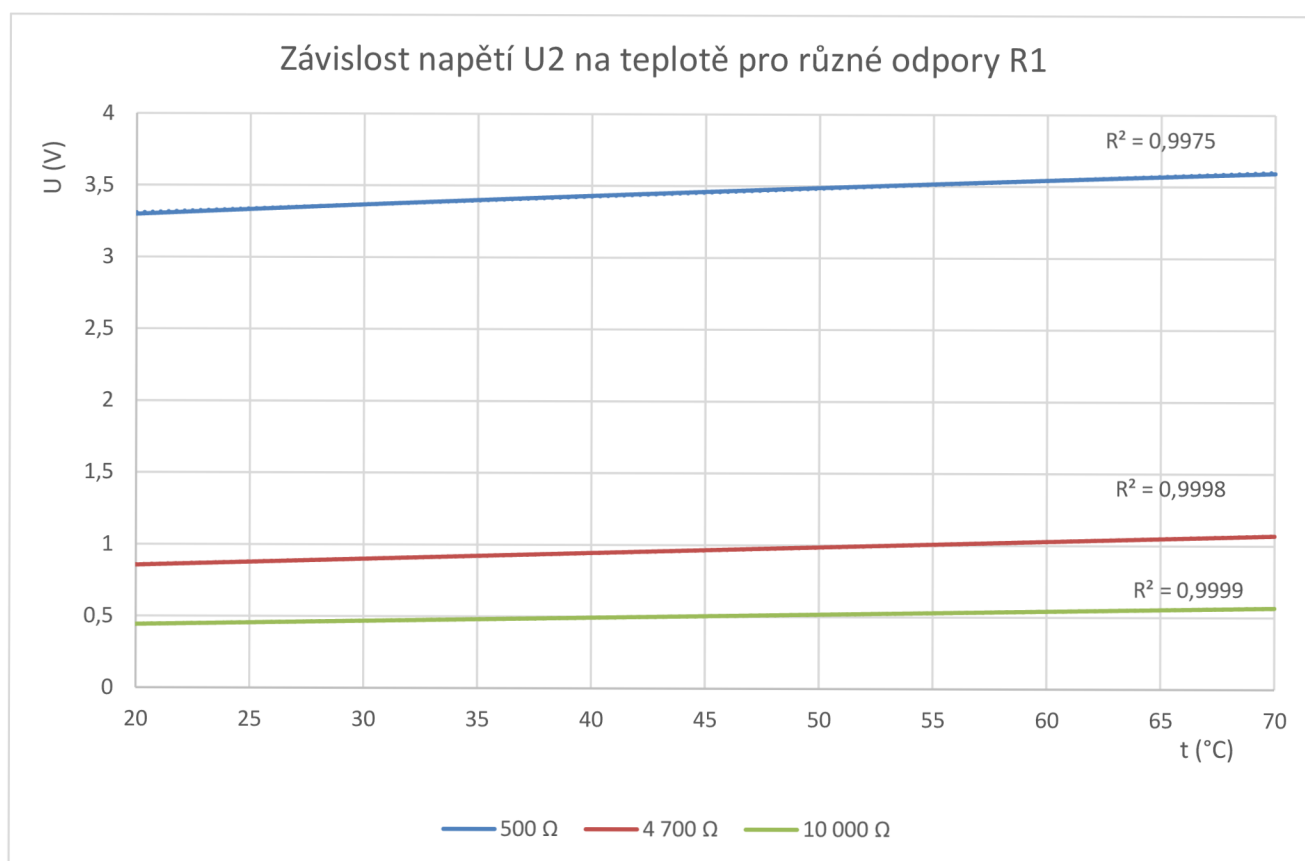
Parametry čidla: $R_{25^{\circ}\text{C}} = 1000 \Omega$

$$P_{\text{ppm}} = 6180$$

$$R_2 = R_{25^{\circ}\text{C}} \cdot (\delta t) \cdot \frac{\text{ppm}}{1 \cdot 10^6} = 1000 \cdot (20 - 25) \cdot \frac{6180}{1 \cdot 10^6} = 969,1 \Omega$$

$$U_2 = \frac{U_1}{R_1 + R_2} \cdot R_2 = \frac{5}{500 + 969,1} \cdot 969,1 = 3,2983 \text{ V}$$

$$\delta U = U_{270^{\circ}\text{C}} - U_{220^{\circ}\text{C}} = 3,5940 - 3,2983 = 0,2957 \text{ V}$$



Obrázek 45 Závislost napětí U_2 na teplotě pro různé odpory R_1

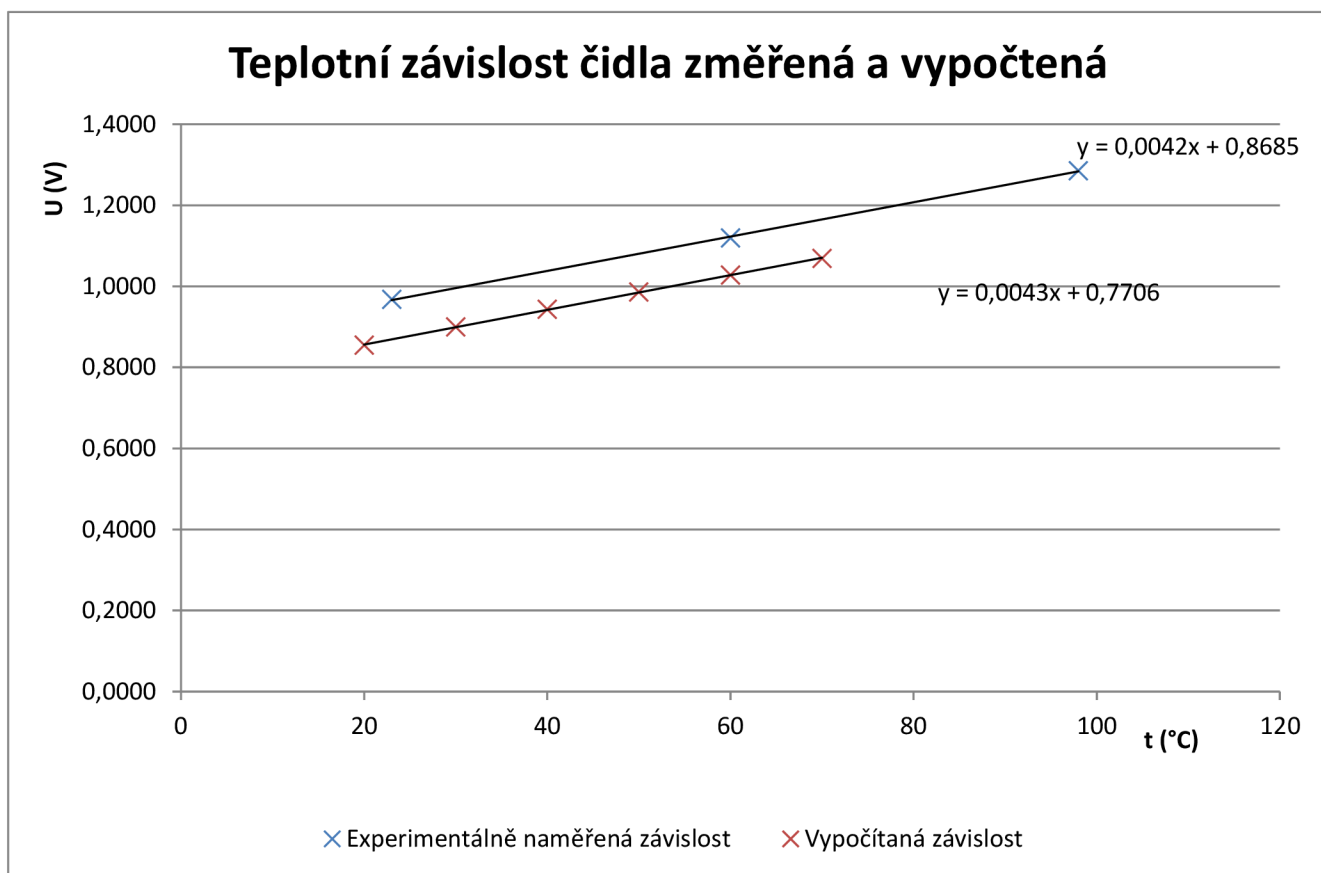
V grafu je vidět, že s rostoucím odporem roste linearita charakteristiky. Na druhou stranu v tabulce lze vidět, že hodnota δU reprezentují rozdíl napětí se kterým souvisí citlivost klesá. Proto je nutné zvolit kompromis v podobě velikosti odporu $R_1=4700 \Omega$.

Porovnání naměřené a vypočtené teplotní závislosti čidla PT 1000

Tabulka 12 Experimentálně změřená teplotní závislost daného snímače

t	analog. hodnota	U_2
(°C)	(-)	(V)
23	198	0,9677
60	229	1,1193
98	263	1,2854

Na obrázku 46 jsou vyneseny teplotní závislosti čidla pro naměřené hodnoty a pro vypočtené hodnoty. Směrnice křivky se liší až na čtvrtém desetinném místě. Jsou tedy téměř identické. Liší se ale posun křivky. Toto je pravděpodobně způsobeno nepřesnou hodnotou reálných odporů rezistoru R_2 i samotného čidla. V dalším průběhu měření teplot bude uvažován převod teploty pomocí reálného experimentu.



Obrázek 46 Teplotní závislost čidla změřená a teoreticky vypočtená

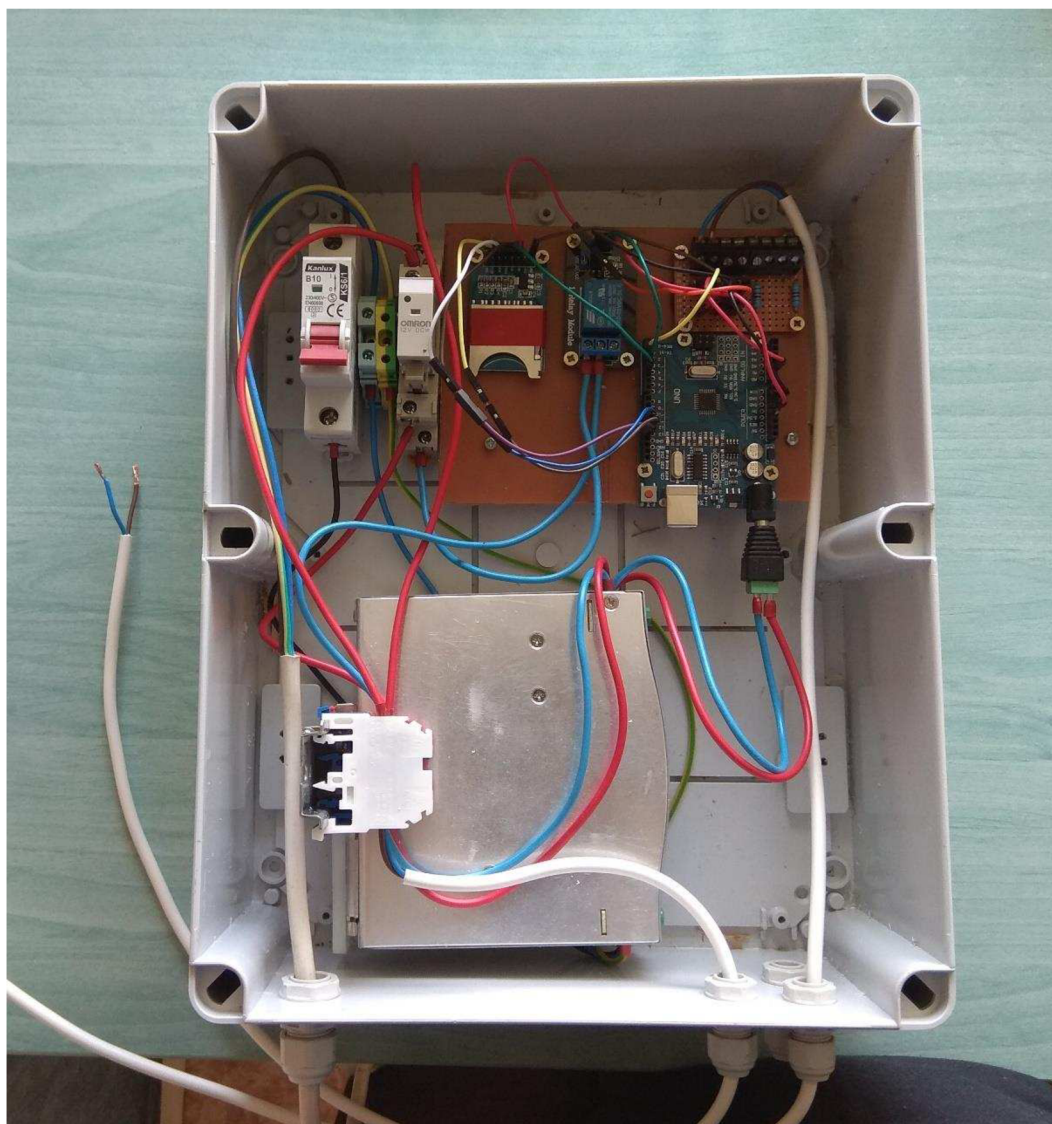
8.2.2 Realizace systému

Rozvaděč

Po nákupu všech součástek se vyskytl jeden drobný problém. Standartní krabice na rozvodnice byly buď příliš málo hluboké pro náš zdroj (hloubka zhruba 12 cm) nebo naopak byly zbytečně velké. Tento problém byl operativně vyřešen, kdy byla zakoupena krabice na rozvaděče s dvěma patry na DIN lišty, kdy vrchní DIN lišta byla instalována standardně ale spodní DIN lišta byla nainstalována kolmo na zadní stěnu tak, aby se zdroj vešel.

Dále pak v průběhu montáže bylo zjištěno, že zakoupený držák na Arduino nevyhovuje této instalaci zejména kvůli malé ploše, na kterou se nedaly vhodně umístit všechny projektované součásti Arduina. Proto došlo k úpravě, kdy byla vrchní část držáku vyměněna za montážní desku z plastu.

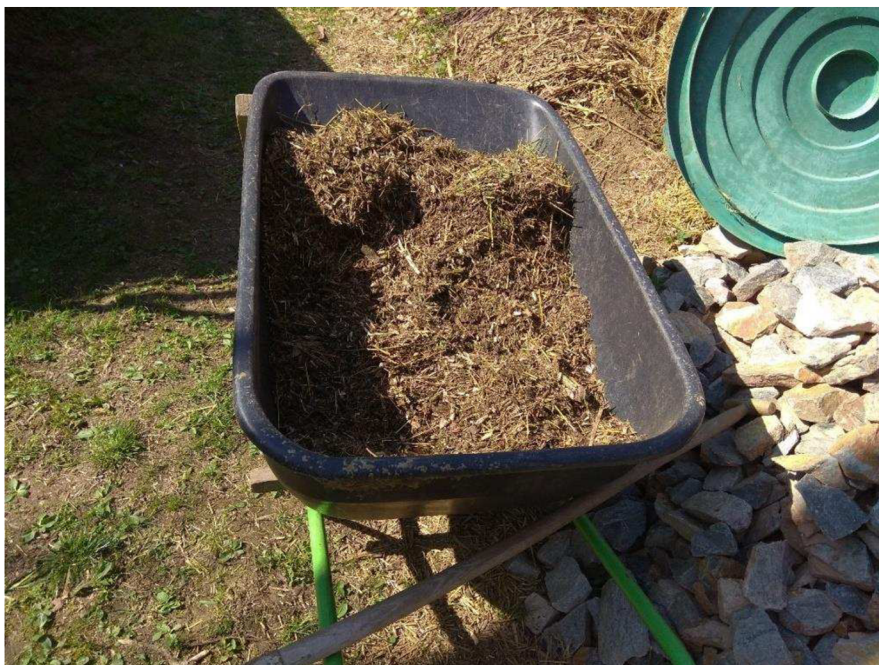
Konečná podoba rozvaděče je na obrázku 47.



Obrázek 47 Zapojený rozvaděč

Fermentor

Z vyhodnocení pokusu probíhajícího přes zimu vyplynulo, že bude vsázku potřeba více homogenizovat. Proto byla použita směs (opět směs s převahou štěpky, dále pak čerstvé trávy, slámy a dalších zbytků) homogenizována pomocí sekačky na trávu, která směs zjemnila na menší částičky viz obrázek 48.



Obrázek 48 Příprava vsázky

Do fermentoru byl použit již vyzkoušený sud o objemu 75 l. Na obrázku 49 je sud již vložen do větší nádrže a opatřen teplotním čidlem a trubičkou senzoru tlaku. Fermentor byl poté vzduchotěsně uzavřen a izolován pomocí balíků slámy a připraven na ostrý provoz.



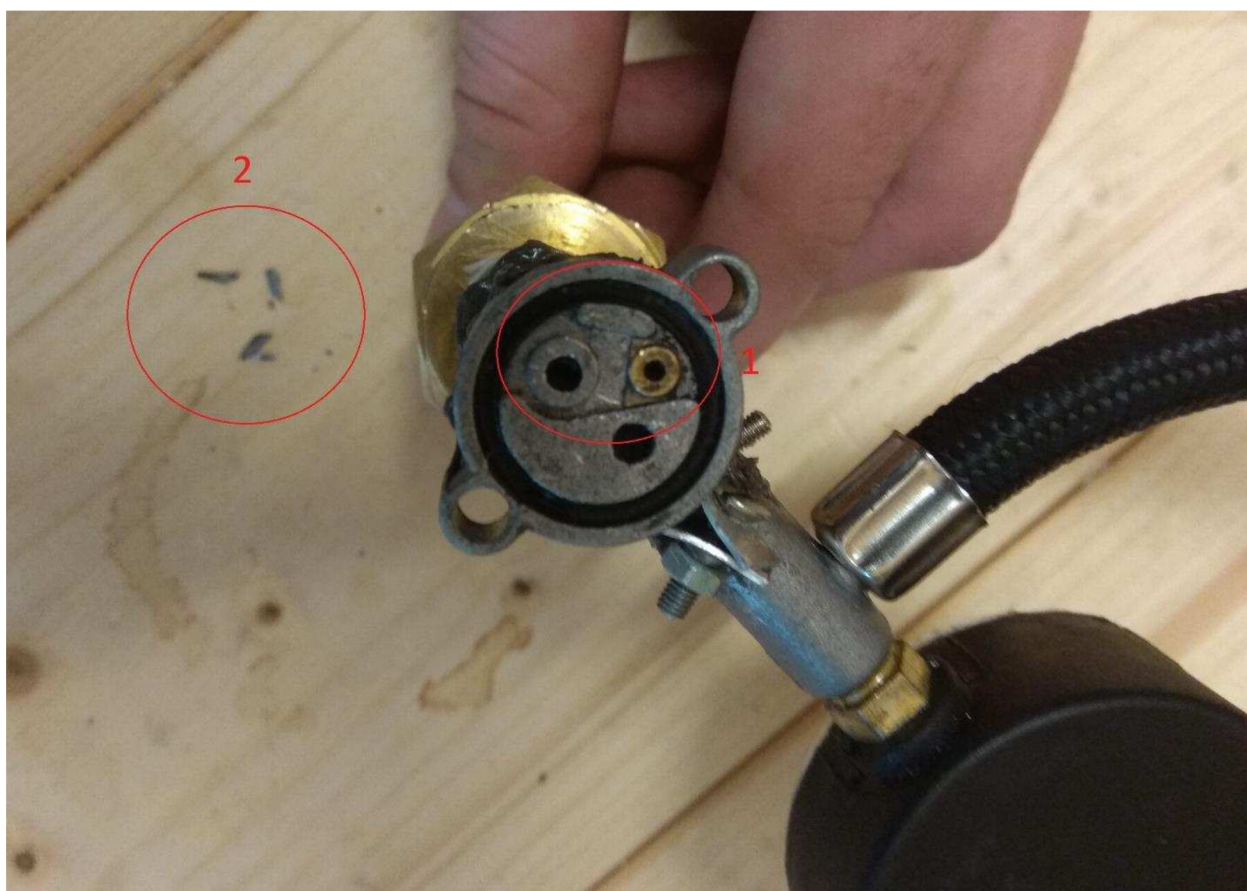
Obrázek 49 Vnitřek fermentoru

Konečná realizace a zkušební provoz

Během realizace se vyskytlo několik problémů. Prvním z řady byla nekvalitní čtečka SD karet použitá u Arduina. Provedení čtečky způsobovalo nejprve problémy s komunikací, později kvůli špatnému upevnění pouzdra karty došlo dokonce k destrukci zařízení. Řešením bylo pořízení nové čtečky přilepení pouzdra SD karty lepidlem.

Po realizaci při zkušební provozu se začaly projevovat problémy s kompresorem. Vlivem mechanického namáhání a vysoké teploty od pístu kompresoru došlo k utržení nástavce na přívod plynu od fermentoru na kompresoru. Řešením bylo masivní vyztužení připevnění nástavce.

Po vyřešení těchto problémů proběhl zkušební provoz. Tlakové číslo bylo ze začátku nastaveno na podtlak 200 a 300 Pa. Systém fungoval tak jak měl až na pravděpodobně malý únik vzduchu někde na cestě od fermentoru do jímání plynu v provizorním balonu. Kompresor spínal v pravidelných intervalech s pauzou zhruba 30 sekund a dobou sepnutí zhruba na 20 sekund. Nebylo možné, aby ve fermentoru vznikalo tolik plynu. Začaly se tedy hledat netěsnosti, ale bohužel už nebyla možnost odstranit tuto poslední překážku. Došlo totiž k destrukci v pístu kompresoru. Plíšek, který sloužil jako uzavírací ventil přívodu vzduchu se uvolnil a působením pístu došlo k totální destrukci. Na obrázku 50 můžete vidět chybějící plíšek přes přívodní díru (1) a zbytky plíšku (2). Zbytky plíšku poškodily celý píst, a proto již nebylo reálné kompresor opravit.



Obrázek 50 Rozbitý kompresor

9 NÁVRHY NA VYLEPŠENÍ

Kvůli časové náročnosti celého řešení a potýkání se s problémy během realizace již nebylo možné znovu rozběhnout celý systém a změřit nějaká data z provozu. Navržený koncept nicméně vykázal funkčnost až na pár nedostatků, které budou v této kapitole rozebrány.

Kompresor

Myšlenka cenově dostupného prototypu nebyla špatná, nicméně má svoje rezervy v některých použitých komponentách. Jeden z hlavních problémů celého řešení byl kompresor. Záměr předělat kompresor na vývěvu se neukázal jako nejlepší řešení. Jako řešení se nabízí koupit zařízení přímo dělané na podobné aplikace. Dělají se malé vývěvy na napájecí napětí 12 V, které by se hodili do zvolené koncepce.

1. Pumpa na vzduch



Napětí: 12 V
Elektrický příkon: 50 W
Sací výkon: 280 l/min

Obrázek 51 Vzduchová pumpa [30]

2. Vakuová pumpa



Napětí: 12 V
Elektrický příkon: 6 W
Sací výkon: 12 l/min

Obrázek 52 Vakuová pumpa [29]

První pumpa má až příliš veliký sací výkon. Pro naše potřeby je vhodnější druhá vývěva.

Tepelný výměník

Pro lepší přestup tepla by bylo vhodnější realizovat tepelné výměníky jako kovové s lepší tepelnou vodivostí než mají zahradní PVC hadice. Na druhou stranu je to řešení finančně výrazně náročnější.

Do fermentoru by se dal použít výměník z obrázku 53. Do kompostu by se zabudovala konstrukce podobná té z obrázku 6 z kapitoly 2.2.



Obrázek 53 Tepelný výměník [31]

Zesilovač pro měření teploty

Při měření teploty byl objeven problém s malou citlivostí. Rozdíly v naměřeném napětí pro rozdíly teplot v řádu desítek stupňů byly v řádu pouhých desetín voltů. To v kombinaci s Arduinem, které má vstupní rozlišení pouze 10 bitů (1024 hodnot) na rozsahu 0 až 5 V, způsobovalo velkou nepřesnost měření. Řešením je pořízení zesilovače, se kterým by se dal využít celý rozsah 0 až 5 V a přesnost měření by byla mnohem vyšší.

Čtečka SD karet Arduino

Provedení této čtečky je špatné. Pouzdro je měkké a při provozu může docházet k promačkávání pouzdra a k deformaci vnitřních kontaktů. Pak nastává problém s komunikací a zápisem dat na SD kartu. Navíc je samotné pouzdro nedostatečně upevněno a při první realizaci se dokonce stalo, že při vkládání karty došlo k utržení celého pouzdra a ke znehodnocení celé čtečky. Řešením může být použití čtečky micro SD, která má pouzdro menší a pravděpodobně by tak mohlo lépe odolávat mechanickým vlivům.



Obrázek 54 čtečka micro SD karet [27]

10 ZÁVĚR

Diplomová práce se zabývá rozбором problému, návrhem a realizací malého bioreaktoru pro domácí užití.

V první části práce jsou rozebrány teoretické poznatky z oblasti kompostování jako je popis samotného procesu kompostování, popis technologií používaných pro kompostování, a hlavně představení možností využití tepla vznikajícího během procesu kompostování. Využití tepla z kompostu je poměrně neprobádaná oblast, realizovaných větších projektů není moc. Následující kapitoly jsou věnované vzniku bioplynu, rozboru technologie bioplynových stanic a v nich používaných substrátů. Technologie bioplynových stanic je ve velkém měřítku zvládnutou věcí, nicméně v malém měřítku je to stejně jako u využití tepla z kompostu poměrně málo probádaná oblast.

Stěžejní část práce začíná kapitolou 7. Jak již bylo zmíněno, hlavním úkolem práce je návrh a realizace malého bioreaktoru, což je zařízení produkující teplo a bioplyn. Kapitola 7 obsahuje návrh a realizaci testovací konstrukce systému, které má za úkol generovat bioplyn i během zimních měsíců, kdy venkovní teplota může být hluboko pod bodem mrazu. Tato práce navazuje na práci mého předchůdce, proto je v kapitole 7.1 stručně představen předešlý systém, který bylo za úkol vylepšit. Kapitola 7.2 obsahuje samotný návrh systému. Návrh systému je poměrně ambiciózní, jak je vidět na obrázku 17. Na rozdíl od předešlého systému je nádoba fermentoru oddělena od kompostu a teplo do fermentoru bude dodáváno pomocí výměníků.

V kapitole 7.3 je pak popsána realizace projektu. Realizace byla časově velmi náročná. Se zhoršujícím se počasím bylo pracováno v časové tísní a to si vybralo svojí daň. Při pokládání hadice do kompostu došlo k jejímu zaškrncení a hadice byla neprůchozí. Dále pak nebylo doděláno jímání plynu. Nicméně fermentor i kompost byly naplněny a procesy v nich se rozjely. V kapitole 7.4 se nachází vyhodnocení pokusu, který skončil na jaře 2018. Až při detailním rozboru dat bylo zjištěno, že se neměří teplota ve fermentoru. Nicméně data z kompostu byly v pořádku a průběh teploty je na obrázku 24. Závislost kopíruje teoretickou křivku, kdy na začátku teplota stoupá prudce vzhůru, kde vydrží nějakou dobu a poté postupně klesá. Zajímavé ale je, že po oteplení na jaře se teplota začal znovu zvyšovat. Procesy v kompostu pravděpodobně nebyl ještě dokončeny a zůstala v něm nějaká energie. Všechna naměřená data jsou obsahem přílohy. Co se týká vyhodnocení průběhu fermentace, tak vsázka reagovala jen velmi málo. Vsázka byla pokryta bílou plísní, ale jinak téměř nezetlela. Data o teplotě nejsou bohužel k dispozici ale z dalších pokusů lze odhadnout, že teplota ve fermentoru byla příliš nízká. Fotky z vyhodnocení jsou na obrázcích 25, 26 a 27.

V kapitole 8 je popsán návrh a realizace funkčního prototypu. V kapitole 8.1 je popsán návrh samotného systému, který vychází ze zkušeností nabytých při vyhodnocení předchozího systému. Byly vypracovány tři možnosti realizace fermentoru. První z nich je mírně upravená koncepce předchozího řešení, dále je to fermentor ve vaku a třetí možností je použití hranatého fermentoru. Nakonec bylo zvoleno řešení první s mírně upravenou původní koncepcí. Dalším aspektem návrhu bylo zakomponování aktivního odsávání plynu. Komerční systémy pracují s přetlakem plynu. Z tohoto důvodu bylo nutné realizovat elektrickou část návrhu a návrh řídicího systému, které jsou také popsány v této kapitole. V kapitole 8.1.1 je popsán výběr jednotlivých elektrických komponent. Na konci kapitoly je vyčíslena cena realizace, která vyšla na zhruba 5300 Kč včetně DPH.

Následovala realizace systému, která je popsána v kapitole 8.2. V podkapitole 8.2.1 je popsán program mikrokontroleru Arduino a detailněji popsán systém měření teploty pomocí čidel PT 1000. V následující podkapitole je pak popsána samotná realizace systému. Při realizaci se narazilo opět na několik problémů. Prvním z nich byla nekvalitní čtečka SD karet, která byla velmi nespolehlivá a dokonce došlo k její destrukci během realizace. Nicméně po výměně za nový kus a vyztužení jejího obalu mohl být konečně realizován celý systém. Systém běžel tak jak má až na pravděpodobně menší netěsnost v systému odvodu vzduchu. Bohužel ale po nějaké době testovacího provozu došlo k destrukci kompresoru až tak, že nebylo možné jej opravit. Z časových důvodů už nebylo možné realizovat nápravu. V kapitole 9 jsou pak představena řešení na problémy a otázky vzniklé během realizace.

Kombinovaná výroba bioplynu a využívání tepla z kompostu v malém měřítku pro potřeby jednotlivců je pořád zatím poměrně neprobádaná oblast, která si ale podle mého názoru zaslouží větší pozornost. V mojí práci jsem navrhnul možná řešení problémů a i přesto, že systém nebyl realizovaný na 100 %, jednoznačně vykázal určitou funkčnost, na kterou můžou navázat moji následovníci.

POUŽITÁ LITERATURA

- [1] KRATOCHVÍLOVÁ, Ing. Zuzana, Ing. Jan HABART PH. D a Ing. Václav SLADKÝ CSC. *Průvodce výrobou a využitím bioplynu*. Praha: BIOM, 2009.
- [2] KÁRA CSC., Ing. Jaroslav, Ing. Zdeněk PATOREK CSC. a Ing. Evžen PŘIBYL. *Výroba a využití bioplynu v zemědělství*. Praha, 2007, 117.
- [3] MÉSZÁROS, G. *Návrh bioplynové stanice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2011. 69 s. Vedoucí diplomové práce Doc. Ing. Jiří Pospíšil, PH.D.
- [4] SCHAUMANN. *Tvorba bioplynu* [online]. [cit. 2017-10-04]. Dostupné z: <http://bioplyn.schaumann.cz/vyroba/vznik-bioplynu/>
- [5] The Biogas: Biogas composition. Biogas Renewable Energy [online]. 2009 [cit. 2017-10-4]. Dostupné z: http://www.biogas-renewableenergy.info/biogas_composition.html
- [6] KARAFIÁT, Zbyšek, VÍTĚZ, Tomáš, POSPÍŠIL, Lukáš: Bioplynové stanice na „suchou“ fermentaci – šance pro energetické využití biologicky rozložitelných odpadů (BRO). Biom.cz [online]. 2009-08-31 [cit. 2017-10-09]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-na-suchou-fermentaci-sance-pro-energeticky-vyuziti-biologicky-rozlozitelnych-odpadu-bro>>. ISSN: 1801-2655.
- [7] Kotoulová, Z., Váňa, J.: *Příručka pro nakládání s komunálním bioodpadem*. MŽP, Praha, 2001, 68 s.
- [8] ČERVENÁ, DIS, Ing. Kristýna, Ing. Barbora LYČKOVÁ, PH.D a Ing. Lucie KUČEROVÁ. *Biologické metody zpracování odpadů: Kompostování*[online]. Ostrava: VŠB -TU [cit. 2017-11-13]. Dostupné z: <http://hgf10.vsb.cz/546/bmzo/pages/Kompostovani.html>
- [9] MOLEK, Tomáš. *Bioplyn a bioplynové stanice v ČR. O energetice* [online]. 2015 [cit. 2017-11-10]. Dostupné z: <http://oenergetice.cz/technologie/bioplyn-a-bioplynovy-stance-v-cr/>
- [10] DVOŘÁČEK, Tomáš: *Bioplynové stanice na zpracování bioodpadů v České republice*. Biom.cz [online]. 2010-03-11 [cit. 2017-11-10]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovy-stance-na-zpracovani-bioodpadu-v-ceske-republice>>. ISSN: 1801-2655.
- [11] ČASOPIS AUTOPROFI. *Autobusy s alternativním pohonem Scania: Bioetanol i bioplyn* [online]. 2013 [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <http://www.auto.cz/autobusy-s-alternativnim-pohonem-scania-bioetanol-i-bioplyn-75721>
- [12] HomeBiogas System: How it works? [online]. [cit. 2017-11-15]. Dostupné z: <https://homebiogas.com/how-homebiogas-works/>
- [13] KUBĚNA, M. *Využití tepla při biodegradčních procesech jako potenciál úspory elektrické energie*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2016. 51 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Petr Baxant, Ph.D.

- [14] HODEK, Tomáš. Vytápění kompostem. Komposuj.cz [online]. 2013 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: http://www.komposuj.cz/aktuality/?tx_wecdiscussion%5Bsingle%5D=50
- [15] LIDA. Biomilíř – vytápění kompostem. Budoucnost jsi ty [online]. 2012 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://budoucnostjsity.cz/biomilir-vytapeni-kompostem/>
- [16] STEJSKAL, Jakub. Náš projekt. *Vytápění kompostem* [online]. 2015 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.vytapenikompostem.cz>
- [17] TECHNICKÉ SLUŽBY. První Český Biomilíř v Moravské Třebové. *Technické služby česká Třebová* [online]. 2014 [cit. 2017-12-22]. Dostupné z: <http://www.tsmt.cz/index.php/projekty-spoluprace/57-prvni-cesky-biomilir-v-moravske-trebove>
- [18] BUFGA, Ing. Aleš a Ing. Jana VEVERKOVÁ PH.D. *Obnovitelné zdroje energie: Obnovitelné zdroje energie v roce 2016* [online]. In: . Ministerstvo průmyslu a obchodu, Listopad 2017 [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: <http://oze.tzb-info.cz/16618-obnovitelne-zdroje-v-cr-v-roce-2016>
- [19] Kjótský protokol. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-01-06]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kjótský_protokol](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kj%C3%B3tsk%C3%BD_protokol)
- [20] 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..
- [21] Kompresor 12V Klasik [online]. In: . Brno: Hornbach, 2018 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.hornbach.cz/shop/Kompresor-12V-Klasik/8872836/artikl.html>
- [22] ZEFIN S.R.O. *PS 1500 diferenční manostat 100-1500Pa* [online]. In: . ZEFIN [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.zefin.cz/produkty/thermokon/diferencni-spinace-tlaku/ps-1500-diferencni-manostat--100-1500pa__s947x1928p.html/
- [23] BUREŠ BRNO. *Diferenční manostat H604 rozsah 100-1000Pa* [online]. In: . [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.marobchod.cz/huba-controls-snimace-tlaku-c45/diferencni-manostat-h604-i16/>
- [24] CRESSTO.CZ. *SP - inteligentní snímač nízkých tlaků* [online]. In: . Cressto, 2010 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <http://www.cressto.cz/snimace-tlaku/serie-sp-technicke-udaje?hledam=SPD512B2U+S>
- [25] Biogas station [online]. In: . [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.taringa.net/posts/ecologia/18085460/Biodigestor-casero.html>
- [26] TME. MEAN WELL NDR-120-12 [online]. In: . [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://www.tme.eu/cz/details/ndr-120-12/zdroje-na-listu-din/mean-well/>
- [27] ARDUINO SHOP. *Nabídka e-shop* [online]. In: . [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: <https://arduino-shop.cz/>
- [28] DDA. *Proudové zatížení pro flexibilní kabely; výtah z DIN VDE 0100* [online]. In: . kabelyvodice.cz [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: http://www.kabelyvodice.cz/technicka-podpora/tech_proud_zat.php
- [29] EBAY. DC 12V Mini Vacuum Pump Negative Pressure Suction Pump 12L/min 120kpa With Holde [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/DC-12V-Mini-Vacuum-Pump-Negative-Pressure-Suction-Pump-12L-min-120kpa-With-Holde-/132393227717?hash=item1ed34055c5>

- [30] EBAY. Powerful 280L/ min Electric Air Pump 12 V Boot pump Electropump Blower Pump US [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <https://www.ebay.com/itm/Powerful-280L-min-Electric-Air-Pump-12-V-Boot-pump-Electropump-Blower-Pump-US-/232562931775>
- [31] BALL BRNO. *Levné ekologické vytápění: Výměníky pro akumulční nádoby* [online]. In: . [cit. 2018-05-15]. Dostupné z: <http://www.ballbrno.cz/vymeniky-pro-akumulacni-nadoby>

PŘÍLOHY

Příloha CD

- Vzhledem k velkému objemu naměřených dat jsou tyto data k dispozici na přiloženém CD
- Program pro mikrokontroler Arduino