



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ENERGETICKÝ ÚSTAV

ENERGY INSTITUTE

# ENERGETICKÉ VYUŽITÍ BIOMASY CESTOU MOKRÉ FERMENTACE

ENERGY UTILIZATION OF BIOMASS THROUGH WET FERMENTATION

## BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

## AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Lukáš Odehnal

## VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Markéta Kalivodová

BRNO 2022



## Zadání bakalářské práce

Ústav: Energetický ústav  
Student: **Lukáš Odehnal**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Energetika, procesy a životní prostředí  
Vedoucí práce: **Ing. Markéta Kalivodová**  
Akademický rok: 2021/22

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

### **Energetické využití biomasy cestou mokré fermentace**

#### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Biomasa je velmi oblíbeným palivem pro domovní vytápění i jako zdroj energie pro centrální zásobování teplem či výrobu elektrické energie. Na jednu stranu je biomasa obnovitelný zdroj energie, na druhou stranu její využívání má zpravidla nižší účinnost než zdroje jiné. Anaerobní fermentace patří vedle spalování k nejobvyklejšímu využití biomasy pro energetické účely v ČR a bioplynové stanice jsou velmi rozšířené. Náplní této bakalářské práce je popis konkrétní bioplynové stanice a posouzení její efektivity v porovnání s jinými technologiemi.

#### **Cíle bakalářské práce:**

- rešerše dostupných druhů biomasy,
- přehled technologií mokré fermentace,
- popis konkrétní bioplynové stanice,
- bilanční výpočty výroby elektřiny a tepla,
- rozbor výsledků.

#### **Seznam doporučené literatury:**

JANDAČKA, Jozef. Technologie pre zvyšovanie energetickeho potencialu biomasy. 1. Žilina: BALPO, 2007. ISBN 978-80-969595-4-9.

MALATĚÁK, Jan a Petr VACULÍK. Biomasa pro výrobu energie. Praha: Česká zemědělská univerzita v Praze, 2008. ISBN 978-80-213-1810-6.

QUASCHNING, Volker. Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada, 2010. Stavitel. ISBN 978-80-247-3250-3.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Jiří Pospíšil, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty



## **ABSTRAKT**

Závěrečná práce se zabývá energetickou bilancí konkrétní bioplynové stanice Valeč u Hrotovic.

Text je rozdělen do pěti bloků, kde v prvním jsou rozebrány zdroje biomasy a její energetické využití. Druhá část pojednává o procesech technologií využívající mokrou fermentaci. Třetí kapitola popisuje konkrétní bioplynovou stanici. Čtvrtý úsek se zabývá výpočtem bilance výroby elektřiny a tepla a v poslední části práce je shrnutí vypočtených hodnot a porovnání využití technologie s jinými možnými technologiemi bioplynových stanic.

## **Klíčová slova**

bioplyn, anaerobní digesce, mokrá fermentace, biomasa, energetické využití, energetická bilance tepla, energetická bilance elektřiny, kogenerace, fermentor

## **ABSTRACT**

The final thesis focuses on the energy utilization of biomass and the description and calculation of the energy balance of a specific biogas plant, Valeč near Hrotovice.

The text is divided into five blocks, in the first block the sources of biomass and its subsequent energy use are discussed. The second part covers processes and technologies using wet fermentation. The third chapter describes a specific biogas plant. The fourth part calculates the balance of electricity and heat production, and the last chapter of the thesis summarizes the calculated values and compares the technology used with other possible sources.

## **Key words**

Biogas, anaerobic digestion, wet fermentation, biomass, energy recovery, energy balance of heat, energy balance of electricity, cogeneration, fermenter

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

ODEHNAL, Lukáš. *Energetické využití biomasy cestou mokré fermentace*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140681>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Energetický ústav. Vedoucí práce Markéta Kalivodová.

## **PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Energetické využití biomasy cestou mokré fermentace** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum

.....  
*Jméno a příjmení*

## **PODĚKOVÁNÍ**

Děkuji tímto Ing. Markétě Kalivodové za cenné připomínky a rady, které mi poskytla při vypracování závěrečné práce. Bc. Petře Klepáčkové za neuvěřitelnou pomoc při pravopisné korektnosti práce. Bc. Aleně Krömerové za neutuchající podporu při psaní a opravě překladu abstraktu. Panu Ing. Miroslavu Potůčkovi za poskytnutý vhled do soukromé bioplynové stanice a v neposlední řadě mým kamarádům a rodině.

## OBSAH

ÚVOD.....	11
1 Druhy biomasy .....	12
1.1 Odpadní biomasa .....	13
1.1.1 Odpady ze zpracování dřeva .....	13
1.1.2 Odpadní trávinná hmota.....	13
1.1.3 Komunální odpad separovaný (BRKO) .....	14
1.1.4 Odpady z živočišné výroby .....	14
1.1.5 Zbytky a odpady z průmyslu (BRPO).....	15
1.1.6 Čistírenský kal.....	15
1.2 Cíleně pěstovaná biomasa k energetickým účelům .....	16
1.2.1 Rychle rostoucí dřeviny .....	16
1.2.2 Energetické rostliny .....	16
1.3 Přehled energetického zpracování biomasy.....	17
2 Přehled technologií mokré fermentace .....	18
2.1 Anaerobní Fermentace .....	18
2.1.1 Hydrolyza .....	19
2.1.2 Acidogeneze .....	19
2.1.3 Acetogeneze .....	19
2.1.4 Metanogeneze .....	19
2.2 Aerobní fermentace.....	20
2.3 Alkoholová fermentace.....	21
3 Popis konkrétní bioplynové stanice.....	22
3.1 Technický popis BPS Valeč u Hrotovic .....	23
3.2 Příjem vsázkových surovin .....	24
3.3 Jímky a silážní žlaby .....	24
3.4 Dvoustupňový fermentor .....	25
3.5 Teplovod .....	25
3.6 Plynojem .....	26
3.7 Fléra .....	26
3.8 Provozní budovy .....	27
4 Energetická bilance BPS .....	28
4.1 Výpočet výroby elektřiny a tepla.....	28
4.2 Vlastní elektrická spotřeba.....	29
4.3 Vlastní tepelná spotřeba.....	29
5 Rozbor výsledků .....	30
5.1 BPS Valeč u Hrotovic.....	30
5.2 Porovnání s jinými technologiemi fermentace .....	32
5.2.1 Popis mokré fermentace.....	32
5.2.2 Popis suché fermentace .....	32
5.2.3 Souhrn výhod a nevýhod.....	32
ZÁVĚR.....	33

6	Reference .....	34
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	37

## **ÚVOD**

Obnovitelný způsob získávání energií je nejen pro současné ale i budoucí generace kritický. Se stále se zvyšujícím počtem populace, snižováním zásob fosilních paliv, rozvíjejícím se průmyslem je otázka způsobů energetického zásobování více a více aktuální. Globální oteplování hraje také velkou roli ve způsobu získávání energií, a to díky snaze omezit vysoko emisní zdroje a tím skleníkový efekt. Při úsilí snižovat užití fosilních paliv je biomasa jakožto obnovitelný zdroj pro tento účel ideální. Bioplyn získávaný přeměnou biomasy se v České republice řadí mezi obnovitelná paliva. Bioplyn je často lokálně využíván pro kogenerační jednotky generující teplo a elektřinu. Bioplynovou stanicí, jakožto lokální zdroj energií, můžeme brát jako velice perspektivní zdroj s přínosem pro životní prostředí, avšak jde jen o dodatkový zdroj v energetickém mixu České republiky. V žádném případě zatím nemůže nahradit velké zdroje jako jsou teplárny spalující fosilní paliva. Často se budují specifické bioplynové stanice za účelem odlehčení přírody od námi vytvořených odpadů a aspoň z částí využít jejich potenciální energii. Tyto bioplynové stanice nejsou ekonomicky ani energeticky příliš zajímavé, proto jsou často dotovány státem či přímo evropskou unií a podporovány zákony.

Práce se zabývá dostupnými druhy biomasy s nastíněním jejího energetického využití a zpracování. Popisuje a vysvětluje typy technologií mokré fermentace. Přibližuje soukromou bioplynovou stanicí nacházející se ve Valči u Hrotovic. Řeší její energetickou bilanci a porovnává její efektivitu při zpracování biomasy s jinými dostupnými technologiemi, získávání tepelné a elektrické energie.

Zadání práce jsem si vybral z důvodu blízko nacházející se bioplynové stanice a dostupných kontaktů zabývajících se problematikou kogenerace a výroby bioplynu.

## 1 Druhy biomasy

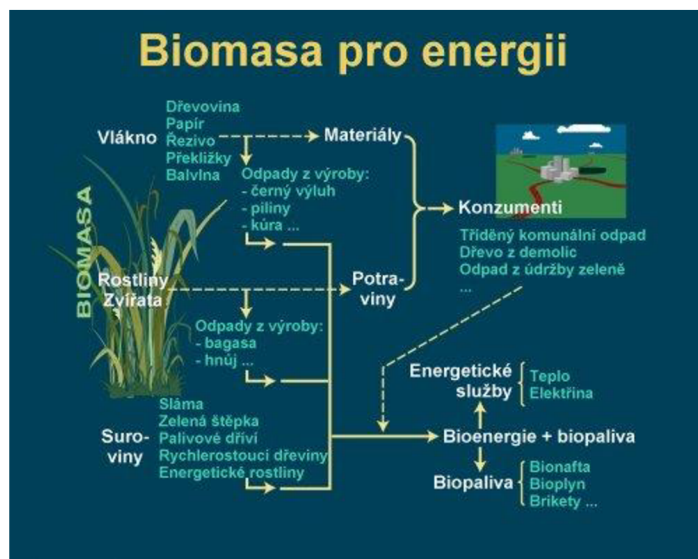
### Biomasa

Za biomasu je považována každá organická hmota, která se nachází na naší planetě, patří do ní těla všech živočichů, rostlin, bakterií, sinic a hub [1].

Ovšem z energetického hlediska označení biomasa často vyjadřuje souhrn surovin vhodných pro další energetické využití. Teoreticky lze energeticky využít všechnu živou hmotu na bázi uhlíku, ale obvykle uvažujeme nad odpadní rostlinnou a živočišnou biomasou či cíleně pěstovanou biomasou. Rostliny dokážou využít slunečního záření k fotosyntéze, při které dochází přeměnou oxidu uhličitého a vody na energeticky bohaté sloučeniny ve formě cukrů – fytomasy. Akumulovaná energie ve fytomase bývá obvykle malá, proto ji při způsobu využití jako je spalování lisujeme do pelet, aby dosáhla požadované hustoty a výhřevnosti. Avšak fytomasy využíváme i v jiných technologiích přeměny vázané energie jako je alkoholové či metanové kvašení, pyrolýza nebo zplyňování. Dále můžeme hovořit o dendromase kde na rozdíl od fytomasy jde o rostliny, jež těla se skládají výhradně ze dřevnatělé hmoty. Vázaná energie je zde opět zapříčiněna fotosyntézou. Tuto organickou hmotu přeměňujeme nejčastěji spalováním na tepelnou energii, kterou dále využíváme dle specifických potřeb. Zoomasa, jako další typ biomasy, představuje veškerý živočišný odpadní materiál ve formě exkrementů a uhynulých živočichů. Tento odpadní materiál se dále zpracovává do podoby bionafty nebo bioplynu [2].

Přirozené procento vlhkosti nám udává způsob využití biomasy. Suchou biomasu, jako například dřevní štěpku, slámu, odpady po zpracování dřeva, lze přímo spalovat a získávat tak tepelnou energii. Mokré biomasy – kejda a kaly nelze nebo za náročných podmínek přímo spalovat, přeměňujeme je tedy na bioplyn. Tento typ biomasy je používán jako jeden ze dvou hlavních vstupních složek při využití technologie mokré fermentace. Speciální biomasy – olejnin, škrobové a cukernaté plodiny využíváme pro získávání energetických látek jako je bionafta a líh [1].

Biomasu dělíme nejčastěji dle zdroje původu. Na obrázku 1.1 vidíme různé způsoby prvotního využití biomasy a další zpracování v oblasti energetiky. Až na cíleně pěstovanou biomasu využíváme především odpadní materiály a zbytky z průmyslové výroby. Funguje zde diverzita systému, kdy při účinném využití veškerých prvků dostaneme efektivní obnovitelný zdroj.



Obr. 1.1 Zdroje a využití biomasy [3]



## 1.1 Odpadní biomasa

Opadní biomasa vzniká především jako druhotný produkt při zpracování primárních zdrojů rostlinné či živočišné hmoty. Celkově je tvořena hlavně zbytky z potravinářského, živočišného, celulózo-papírenského, zemědělského a v neposlední řadě dřevařského průmyslu. Náleží sem také i odpady vzniklé při chovu zemědělské zvěře, tříděný komunální odpad a kaly z čističek odpadních vod [4].

### 1.1.1 Odpady ze zpracování dřeva

Při těžbě dřevní hmoty vzniká množství nevyužitých odpadních produktů (například dřevo z prořezávek, klestí, pařezy, kořeny, probírkové dřevo). Dalším zdrojem dřevního odpadu je zpracování dřeva na pilách – hobliny, piliny, krajiny.

Nejčastější energetické využití je spalování, a to v podobě dřevní štěpky. Kusové dřevo oproti štěpce vyžaduje významnější množství lidské práce, a to díky náročné manipulaci a přípravě. Z tohoto důvodu se o nich smýšlí jen jako o palivu pro soukromé účely do kachlových či krbových kamen nebo kotlů v rodinných domech. Nejběžněji zpracováváme odpadní dřevní biomasu na dřevní štěpku, a to za účelem zvýšení účinnosti při spalování. Přestože se její výroba jednoduše zautomatizuje, avšak spalovací nároky jsou finančně vyšší, je vhodná k využití spíše pro výtopny a teplárny. Spalování dřevní štěpky probíhá za vyšší teploty, z toho vyplývá značnější náročnost pro spalovací komoru a materiálové dimenzování jednotlivých prvků v systému – komplexní řešení – vyšší investice [4]. Na obrázku 1.2 vidíme používané formy odpadní dřevní biomasy pro spalování. Kusové dřevo nalevo, dřevní brikety napravo a v popředí dřevní pelety.



Obr.1.2 Různé formy odpadní dřevní biomasy [5]

### 1.1.2 Odpadní travní hmota

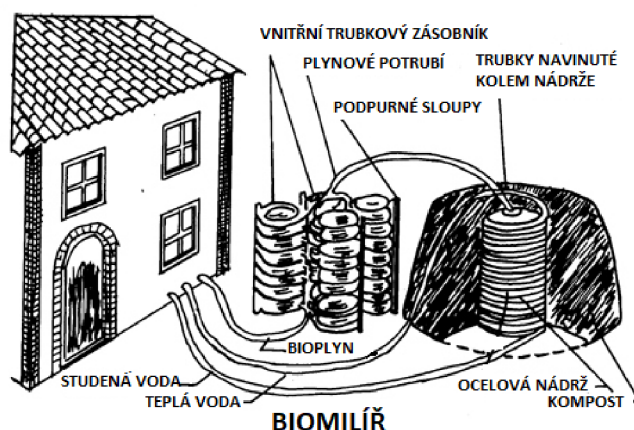
Travní hmota je rozšířeným odpadním materiálem v oblasti zahradnictví, údržby městské zeleně a správy veřejných i soukromých zatravněných ploch. Nejčastějším zdrojem je časté opakující se sečení. Jeden ze způsobů získávání travní hmoty je údržba veřejných svahů, krajnic, silnic či dálnic. Jde často o heterogenní hmotu s různým obsahem organické hmoty, velikostí částic a zdřevnatěním. Tato travní biomasa má obecně nižší vlhkost než hmota získávána ze sečení parkových a parterových travních porostů. Jedná se o sečení sportovišť, hřbitovů, sídlištních či soukromých ploch. Objem hmoty z jedné seče bývá zpravidla nižší než u předchozího zdroje, avšak četnost tento rozdíl dorovná [6].

Energetické využití odpadní travní hmoty dělíme do dvou kategorií – kompostování (aerobní likvidace) a anaerobní digesce. Kompostování je exotermní anaerobní mikrobiologická přeměna rozložitelných materiálů na kompost. Základním kamenem aerobního procesu je dostatečný přívod vzduchu [7]. Kompost využíváme při rekultivování a zúrodnění půdy. Dalším vedlejším produktem kompostování je tepelná energie. Druhá kategorie představuje anaerobní digesci – tomuto tématu je věnován prostor v druhé kapitole.

### 1.1.3 Komunální odpad separovaný (BRKO)

Biologicky rozložitelný komunální odpad tzv. BRKO – zdrojem tohoto druhu odpadu jsou samotní lidé a je zde zahrnut veškerý odpad z kuchyní a stravoven, jedlé oleje a tuky, odpady ze zahrad, hřbitovní odpady, uliční smetky, odpad z čištění kanalizací, textilní a papírenské odpady. Nakládání s těmito odpady mají povinnost řešit obce a města [8].

Protože skládkování je (nejen) v České republice velmi rozšířeným způsobem ukládání BRKO, je Evropskou unií prosazováno jeho větší energetické využití. V energetice odpady BRKO využíváme dvěma způsoby, a to v kompostování a anaerobní digesci. Energetické využití u kompostování jsou dvě, přičemž první – spalování výsledného kompostu – můžeme ihned vyloučit. I přesto že samotné mikroorganismy v kompostování spotřebovávají určitou část energie a výsledný produkt má nižší vlhkost než vstupní materiály, je potřeba jej dosušit. Sušení je energeticky náročné, proto je logičtější sušit už vstupní materiál. Spalování kompostu přináší další komplikace, a to v podobě vzniku více škodlivin než například při spalování dřeva. Proto mluvíme jen o využití tepla při procesu kompostování. Kompost se zahřívá na teploty 60 °C až 70 °C. Toto teplo se dá využít například k ohřevu vody, vytápění bytových domů či skleníků [9]. Obrázek 1.3 popisuje historický způsob odběru tepla z kompostu a bioplynu z ocelové nádrže naplněného kejdou. Dalším způsobem využití je anaerobní digesce. Tento způsob je podrobněji rozepsán v druhé kapitole.



Obr. 1.3 Biomilíř [31]

### 1.1.4 Odpady z živočišné výroby

Živočišná výroba s sebou nese i mnoho zbytkového materiálu vhodného k dalšímu energetickému využití. Především se jedná o kejdu a hnůj při údržbě chovné zvěře. V minulosti se tyto produkty nejčastěji využívaly pro hnojení zemědělské půdy, avšak při současném chovu a lokálním přebytku těchto odpadů nezbyvá než jeho prostá likvidace.

Z energetického hlediska se tyto odpady dají využít v řízené anaerobní fermentaci. Proces využívaný v bioplynových stanicích (BPS). Přičemž BPS využijí část vázané energie při zachování hnojivého účinku vstupní hmoty pro výrobu bioplynu výsledný produkt se nazývá digestát. Hnojící účinky jsou pak podobné jako při hnojení kejdou [10].

### **1.1.5 Zbytky a odpady z průmyslu (BRPO)**

Jedním z hlavních producentů biologicky rozložitelného průmyslového odpadu neboli BRPO jsou jateční podniky. Při zpracování zvířat pro účely nejen lidské potravy vzniká z jejich poražených částí odpadní materiál, který je nevyužitelný pro další zpracování dále sem patří také nepoužitelné zkažené maso. Tato biomasa se spolu s uhynulými zvířaty využívá v zařízení zvaném kafilerie. Souhrnně dnes podle legislativy tuto surovinu nazýváme VŽP – vedlejší živočišné produkty. Kafilerie VŽP vytrídí, sterilizuje a zbaví přebytečné vody. Upravenou hmotu dále rozemele na moučkový prášek. Ten se dá dále využívat jako hnojivo, přísada do krmiv nepotravních zvířat, výroby mýdel či šamponů. Z energetického hlediska jde moučku spalovat nebo rovnou vstupní odpad specificky upravit a podrobit anaerobní fermentaci a získat tak bioplyn [11].

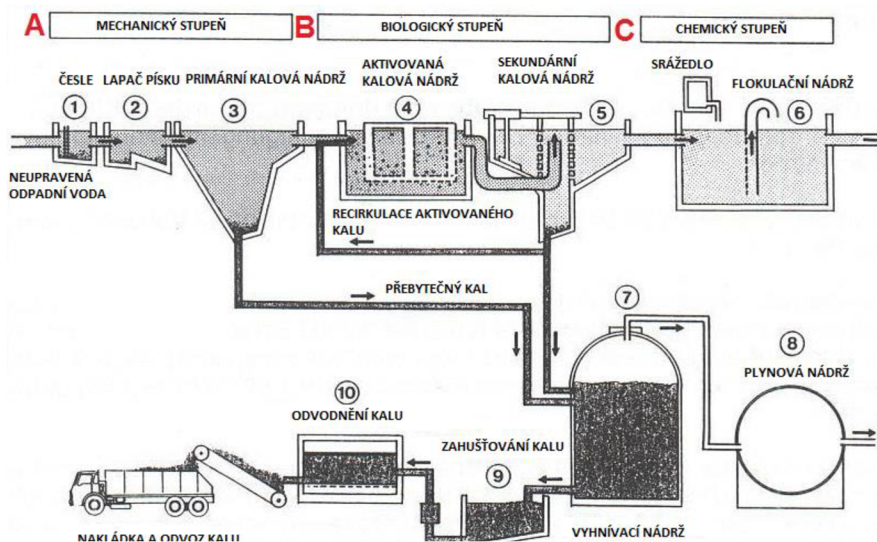
Jeden z dalších nejčastějších generátorů odpadů BRPO je rostlinný průmysl. Jde o slámu obilní (pšenice, žito, ječmen), slámu řepkovou, slámu z luskovin, odpadní zrno či seno z trvalých travních porostů. Sláma reprezentuje jednu z nejdůležitějších surovin pro výrobu energií z obnovitelných zdrojů. Charakteristická vlastnost slámy je obsah malého procenta popele a žádných těžkých kovů nebo síry. Nevýhodou je nízká energetická hustota, avšak podíl zplyňujících částí dosahuje až 80 %. Tomuto musí být vhodně uzpůsobeno topeniště při spalování [4].

Dalším producentem BRPO je papírenský průmysl. Výroba papíru v prvním stádiu úzce souvisí se zpracováním dřeva. Často papírenský závod sám tento odpadní materiál jakým jsou kůra, dřevěné zbytky apod. využívá ve speciálním kúrovém kotli nebo klasickém kotli pro tuhá paliva. Další odpad vzniká při různorodých procesech ve výrobě papíru, a to ve formě kalů. Kaly jako druhotný produkt získáváme například při recyklování sběrného papíru, a to kvůli zesvětlování recyklovaných vláken pro odstranění tiskové barvy nebo také při výrobě celulózy. Často jsou kaly kontaminovány značným množstvím chemikálií, proto je nejjednodušší energetické využití spalení. Kal získaný při výrobě celulózy není chemicky závadný, proto jej můžeme přidávat do rekultivačních substrátů či kompostů. [12].

Cukrovarský průmysl při výrobě cukru vytváří BRPO v podobě melasy. Melasa vzniká jako zbytkový produkt po vykrystalizování cukrové řepy či cukrové třtiny. Při fermentačním zpracování melasy vzniká líh. Samotný líh neboli ethanol má široké využití v oblasti energetiky, a to jako přísada, nebo samotné palivo do vhodně uzpůsobených automobilů [13].

### **1.1.6 Čistírenský kal**

Tento bioodpad pochází z čistíren odpadních vod tzv. ČOV. Na obrázku 1.4 vidíme schéma ČOV produkující čistírenský kal a bioplyn. Kal vzniká při procesu čištění odpadních vod. Je to heterogenní suspenze obsahující organické a anorganické látky pevných a koloidních prvků. Kal při procesu vyhnívání produkuje bioplyn, který se spolu s odvodněným kalem dá dále energeticky využít. Usušený odvodněný kal využíváme jako palivo při spalování. Nejčastěji však jako spolupalivo kupříkladu se štěpkou. Další možností zpracování kalu je pyrolýza nebo zplyňování, získáváme tak energeticky zajímavou bionaftu či bioplyn [14].



Obr. 1.4 Schéma ČOV [30]

## 1.2 Cíleně pěstovaná biomasa k energetickým účelům

Tento způsob získávání, jak už název napovídá, vychází ze záměrného pěstování určitých druhů rostlinné biomasy. Cílené pěstování bylo až do nedávna novým odvětvím, asi dvě desetky let, avšak nyní nese velký podíl produkce v rostlinném průmyslu. S nátlakem evropské unie omezit využívání fosilních paliv a více prosazovat obnovitelné zdroje se mnoho zemědělců se svými pěstebními plochami začali zabývat tímto lukrativním obchodem. Charakteristické vlastnosti jsou snadný výsev a bezúdržbovost, krátké vegetační období či případné další využití v neenergetické oblasti. Často se tyto rostliny kříží nebo geneticky upravují pro efektivnější výnosy [15].

### 1.2.1 Rychle rostoucí dřeviny

Dřeviny pěstované za účelem energetického využití mají často vyšší průměrný hmotný přírůstek než ostatní dřeviny běžně se nacházející v lesích ČR. Přebytná zemědělská půda, která je často nevhodná pro pěstování klasických plodin (například kvůli nízkému procentu živin v půdě), bývá využívána k zakládání plantáží. Dřeviny napomáhají k ochlazení krajiny, chrání půdu proti korozi, ale taky dokáží půdu znovu oživit, a to díky zetlení opadaného listí anebo zanechání kořenů v půdě. Mezi rychle rostoucí dřeviny patří vrby, osiky, olše a především často sázené topoly [15].

Rychle rostoucí dřeviny zpracováváme na dřevní štěpku, kterou pak v energetice nejčastěji využíváme v oblasti spalování, zplyňování či pyrolýzy pro výrobu elektřiny a tepla.

### 1.2.2 Energetické rostliny

Tento poddruh je podle ministerstva zemědělství rozdělen na rostliny jednoleté, víceleté vytrvalé a energetické trávy. Mezi rostliny jednoleté – využitelné pro energetiku – řadíme například žito, konopí seté, kukuřičnou slámu, laskavec a různé slámy z olejnin (slunečnice, řepka olejka, len setý). Z rostlin víceletých a trvalých známe především šťovík krmný a ozdobníci čínskou. Nejpěstovanější energetické trávy jsou chřastice, kostřava rákosovitá či ovsík vyvýšený [16].

V energetice považujeme slámu za nejrozšířenější zdroj, pocházející ze zemědělské produkce, který je možno spalovat. Využití se liší od způsobu sklizně. Pokud sklízíme suché části, využíváme je pro výrobu biopaliv (brikety, pelety). Oproti tomu materiál sklizený na zeleno využíváme jako jednu ze surovin výroby bioplynu [16].

### 1.3 Přehled energetického zpracování biomasy

Tabulka 1.1 popisuje vhodnost určitého zdroje biomasy pro konkrétní technologické zpracování.

X – Technicky zvládnutá technologie, avšak v praxi nevyužívána

XX – Vhodnost jen za určitých technicko-ekonomických podmínek

XXX – Hojně využívána technologie

	Přímé spalování	Suché procesy			Mokré procesy	
		Fyzikální chemické zpracování	Zplyňování	Pyrolýza	Alkoholové kvašení	Metanové kvašení
Energetické technické plodiny	XXX	XXX	X	X	XXX	XX
Rostlinné zbytky ze zemědělství	XXX	X	XX	XX		XX
Odpady z živočišné výroby	X		X	X		XXX
Kaly z čistění odpadních vod	X		X	X		XXX
Komunální organický odpad	XXX		XX	XX		XXX
Organické odpady z potravinářské výroby		XX (oleje)				XXX
Odpady z dřevního průmyslu	XXX		XX	XX		
Lesní odpad	XXX		XX	XX		
Výsledné produkty	Teplo vázané na nosič	Olej, metyl ester (bionafta)	Hořlavý plyn	Pevné palivo, dehtový plyn	Etanol, metanol	Metan (bioplyn)

Tab. 1.1 Energetické zpracování biomasy [17]



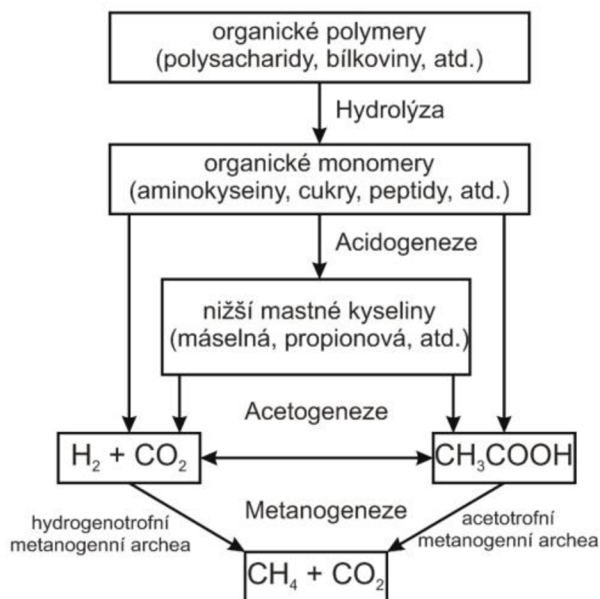
## 2 Přehled technologií mokré fermentace

Mokrá fermentace je biochemická přeměna vstupního materiálu se sušinou do 12 % [18]. Jedna z technologií je anaerobní fermentace často také nazývaná anaerobní digesce, anaerobní stabilizace či anaerobní vyhnívání. Všechny tyto názvy jsou relevantní, jejich význam je stejný nebo se překrývá [19]. Další popsanou technologií je aerobní kompostování, v energetické oblasti využívanou jen zřídka. V obou případech těchto procesů je hlavním produktem metan, oxid uhličitý a digestát. Jako poslední z technologií mokré fermentace je alkoholové anaerobní kvašení, kde na rozdíl od předchozích dvou vzniká etanol a oxid uhličitý.

### 2.1 Anaerobní Fermentace

Anaerobní fermentace je proces kontrolované mikrobiální přeměny organických látek, bez přístupu vzduchu. Hlavním produktem přeměny je metan a oxid uhličitý. Zbytkovým produktem je digestát, pro jeho vysoký obsah dusíku hojně využíván jako hnojivo.

Proces vzniku použitelného bioplynu provází čtyři stádia biochemických přeměn, naznačených v schématu (obrázek 2.1.) Jedná se o hydrolyzu, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi. Všechny tyto přeměny uskutečňují jednotlivé mikroorganismy, které pracují s meziprodukty vytvořenými v předchozích krocích. Nepřítomnost jakéhokoliv nezbytného mikroorganismu má negativní vliv na celkový proces fermentování. Vstupní materiál určuje druh mikroorganismů přítomných ve fermentorech. Pro tyto organismy působí kyslík jako jed, proto se uvádí, že existovaly na planetě Zemi ještě předtím, než se zde kyslík vyskytoval v takovém množství, v jakém je známo nyní. Anaerobní proces je vedle spalování hojně využíván v bioplynových stanicích [20].



Obr.2.1 Rozklad organického materiálu na bioplyn [20]

### 2.1.1 Hydrolýza

Pro první přeměnu vstupního materiálu musí dojít k několika krokům, a to produkci enzymů, difuzi a adsorpci. Polymerní látky, polysacharidy, tuky a bílkoviny jsou štěpeny extracelulárními enzymy na monomerní látky, kterými jsou aminokyseliny, mastné kyseliny glukóza a cukry (galaktóza, arabinóza xylóza, manóza, arabinóza). Výstupní produkt závisí na konkrétním vstupním materiálu [21].

### 2.1.2 Acidogeneze

Druhým krokem přeměny je acidogeneze. Výsledky hydrolýzy jsou využity jako vstupní materiál pro acidogenní mikroorganismy. Acidogeneze zapříčiňuje transformaci produktů hydrolýzy na alkoholy, amoniak, oxid uhličitý, vodík a nižší mastné kyseliny, jakými jsou například kyselina octová, propionová či máselná. Acidogenní mikroorganismy ve svém metabolismu nevyužívají nižší mastné kyseliny, které jsou vstupním substrátem pro acetogenezi [21].

### 2.1.3 Acetogeneze

Předposlední fází přeměny je acetogeneze. Mikroorganismy přeměňují nižší mastné kyseliny na vodík, oxid uhličitý a acetát neboli kyselinu octovou. Při této transformaci klesá pH přítomného materiálu, které je nutno vyrovnávat například hydroxidem vápenatým. Acetogenní mikroorganismy produkují plynný vodík, který je zapotřebí konstantě přeměňovat na metan – metanogenezi. Při nedostatečné přeměně a koncentraci vodíku dojde k poklesu tlaku v nádrži a tím k zastavení acetogeneze a následnému kolapsu systému [22].

### 2.1.4 Metanogeneze

Metanogeneze je poslední fází procesu. Produkty z acidogeneze a acetogeneze jako je acetát přeměňuje mikroorganismus acetotrofní metanogenní archea na oxid uhličitý a metan. Další probíhající přeměna, a to oxidu uhličitého a vodíku, jež zapříčiňuje mikroorganismus nesoucí název hydrogenotrofní metanogenní archea, taktéž vytváří oxid uhličitý a metan. Výsledný bioplyn obsahuje primárně metan a oxid uhličitý, avšak také další nechtěné látky. Shrnutí typické koncentrace obsažených látek v bioplynu je v tabulce 2.1. Celkový proces závisí na konkrétních parametrech, a to vnitřní teplotě, pH, podílu uhlíku a dusíku ve vstupním materiálu, rychlosti vsázení, době setrvání, rychlosti čerpaní a promíchávání materiálu ve fermentoru. Rychlost a efektivita anaerobního procesu je ovlivněna provozními parametry a typem vstupní suroviny [22].

Složky	Vzorec	Koncentrace (%)
Metan	CH <sub>4</sub>	55-70
Oxid uhličitý	CO <sub>2</sub>	35-40
Voda	H <sub>2</sub> O	2(20 °C) - 7(40 °C)
Sulfan	H <sub>2</sub> S	2
Dusík	N <sub>2</sub>	<2
Kyslík	O <sub>2</sub>	<2
Vodík	H <sub>2</sub>	<1
Amoniak	NH <sub>3</sub>	<0.05

Tab.2.1 Typická kompozice bioplynu z bioodpadu [22]

## 2.2 Aerobní fermentace

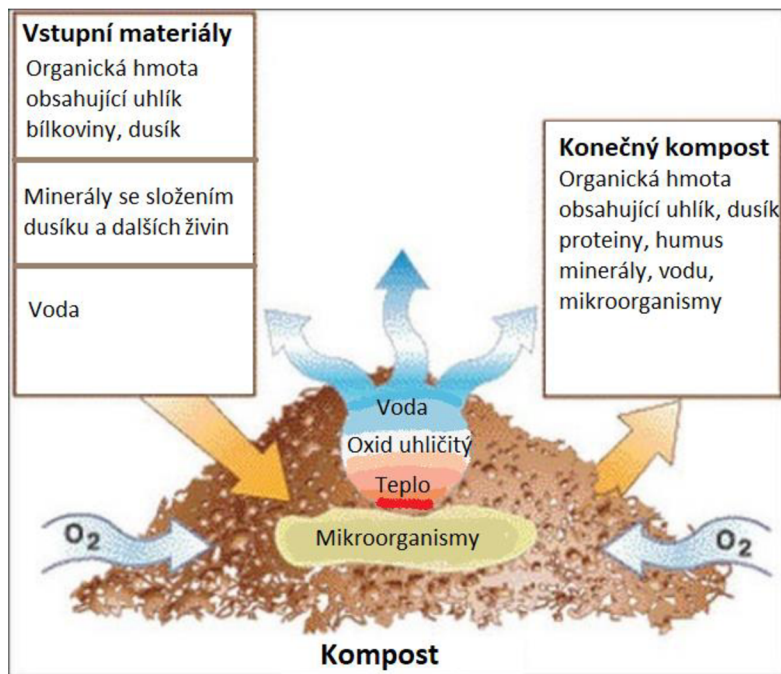
Kompostování neboli také aerobní fermentace je rozšířenou, a to i mezi laickou veřejností, biochemickou transformací rostlinného zbytkového biologického odpadu na kompost. Za přítomnosti vzduchu a přítomných mikroorganismů dochází k rozkladu organických látek. Zjednodušeně vyobrazené na obrázku 2.2. Než vznikne výsledný produkt – kompost, projde vstupní materiál třemi fázemi.

První na řadu přichází termofilní fáze. Charakteristickou vlastností je rychlý nárůst teploty, ta dosahuje až 70°C. Termofilní mikroorganismy, vyskytující se v tomto stupni procesu, rozkládají škroby, cukry, bílkoviny, v pozdější fázi i celulózu a dřevní hmotu. Výsledným produktem je voda, oxid uhličitý a dusičnany. Za předpokladu vysokého obsahu dusíku v kompostu dochází k jeho uvolnění ve formě plynného amoniaku. Hmotnost klesá díky uvolňování CO<sub>2</sub> a jiných plynných látek až o 30 %. Přítomné mikroorganismy nepřeměňují organické kyseliny, proto klesá pH a materiál může vykazovat známky fytoxicity – přítomnost chemických látek s nepříznivými účinky na rostliny. Také zde dochází díky vysoké teplotě k hygienizaci kompostu (zánik hnilobných patogenních bakterií, ničení semen plevelů). Tato fáze se považuje za ukončenou, pokud teplota dlouhodobě nepřekročí 40°C.

Při druhé – mezofilní – fázi dochází k poklesu teploty na 25 °C. Termofilní bakterie se dále nereprodukují a nahrazují je plísně a nižší formy hmyzu. Jednotlivé hmotné části vstupní vsázky se rozpadají a nedají se dále rozeznat. Kompost mění strukturu, pach i vzhled – nastává stabilizace. Hmotnost se nadále snižuje, a to až o 10 % z původních hodnot.

Třetí fáze je fáze dozrávací. Teploty se vyrovnávají s teplotami v okolí, pH stoupá. Kompost obsahuje malé živočichy a je vhodné jej použít jako hnojivo.

Průmyslová produkce probíhá v kompostárnách, kde se starají o pravidelné provzdušňování, kontrolu kvality vstupního materiálu, kontrolu vlhkosti a teploty a zajištění přítomnosti vhodných mikroorganismů [23].

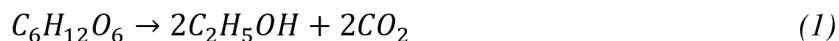


Obr.2.1 Zjednodušený proces kompostování [32]



### 2.3 Alkoholová fermentace

Alkoholové kvašení neboli alkoholová fermentace probíhá anaerobně - tzv. bez přístupu vzduchu v mokřém prostředí. Avšak pro rychlejší nastartování fermentačního procesu je vhodné vstupní materiál provzdušnit. Nastává rychlý nárůst přítomných mikroorganismů, například kvasinek či bakterií. Charakteristickou vlastností vstupního materiálu jsou produkty obsahující vysoký obsah škrobu (pšenice, žito, brambory, kukuřice), inulinu (čekanka, topinambur) či sacharózy (cukrová řepa, melasa, cukrová třtina) nebo také lignocelulózní materiály (sláma, rychle rostoucí dřeviny, dřevní štěpka) avšak tento druh je pro výrobu etanolu technicky a ekonomicky náročnější než proces předúpravy sacharidových či škrobových materiálů. Technologický postup výroby etanolu se různí typem vstupní suroviny, a to především jeho předúpravou. Jako poslední, technicky stejný při všech typech vstupního materiálu, je alkoholové kvašení rostlinných sacharidů. Při alkoholovém kvašení dochází k postupnému rozkladu sacharidů enzymy mikroorganismů při současném uvolnění tepelné energie. Proces je nazýván glykolýza a je naznačený v Guy – Lussacově stechiometrické rovnici (1).



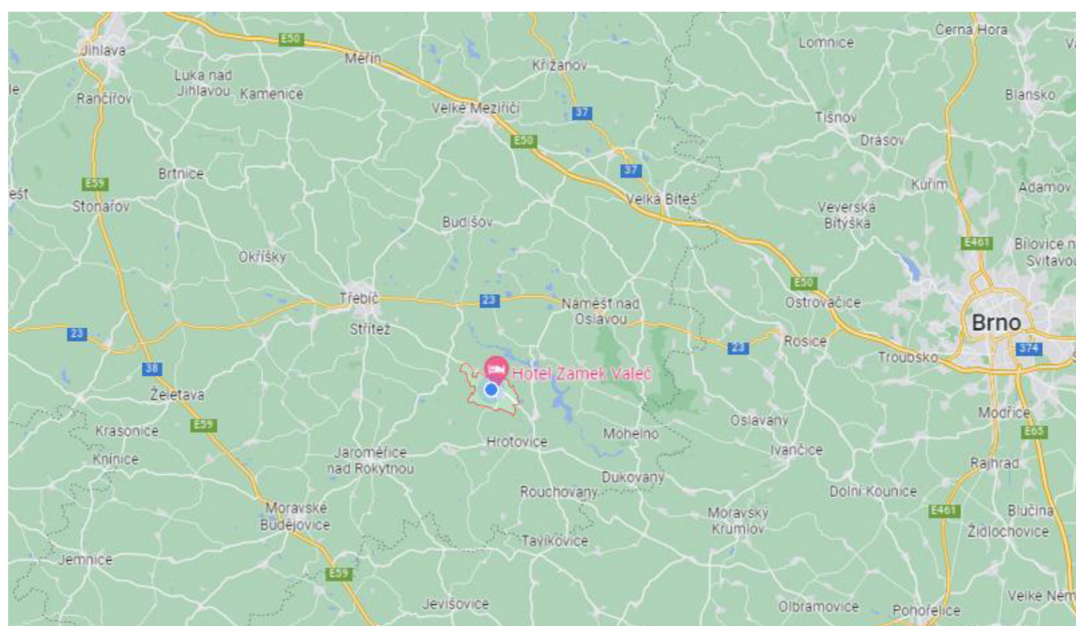
Při alkoholovém kvašení mohou vznikat i vedlejší produkty jakými jsou glycerol, acetaldehyd, vyšší alkoholy a kyselina octová. Výsledný produkt – etanol má využití ve třech rozdílných průmyslech. V potravinářském nejčastěji jako alkohol, lékařském jako rozpouštědlo a energetickém jako palivo (bioetanol).

### 3 Popis konkrétní bioplynové stanice

Bioplynová stanice se nachází v areálu místního zemědělského družstva vesnice Valeč u Hrotovic kraje Vysočina okresu Třebíč. Stavba byla započata roku 2012 a o rok později dokončena. Provozovatelem BPS je fyzická osoba Ing. Bronislav Vala, kterému je vesnice i jeho trvalým bydlištěm. BPS je úzce svázána s místním hotelovým zařízením Hotel Zámek Valeč, kde se využívá zbytkové teplo při kogeneraci.



Obr. 3.1 Letecký záběr umístění zemědělského družstva s BPS [33]



Obr. 3.2 Strategické umístění BPS [34]

### 3.1 Technický popis BPS Valeč u Hrotovic

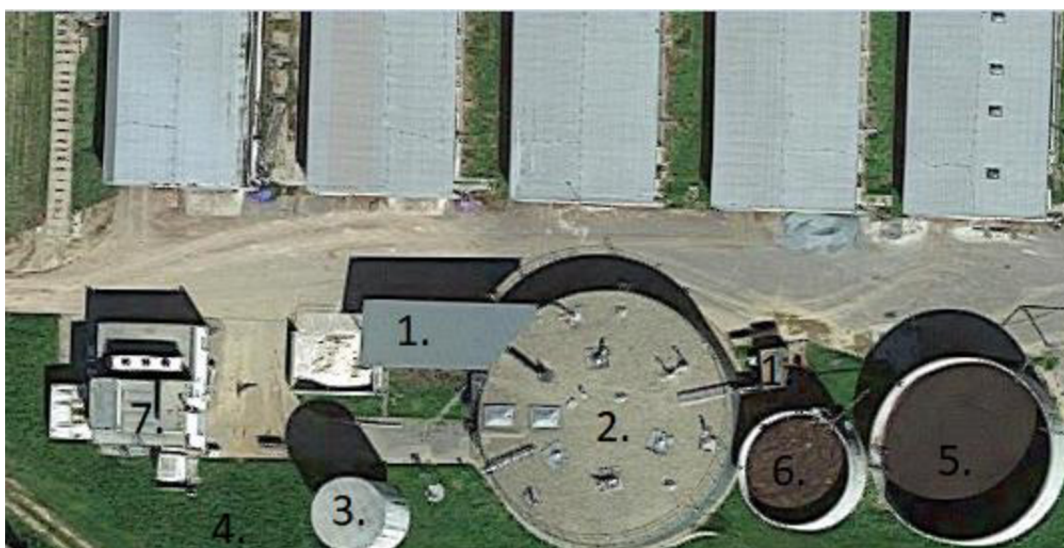
Od roku 2013 je BPS v nepřetržitém provozu. Vstupní surovinou je kukuřičná siláž a kejda skotu. Technický popis stanice je uveden v tabulce 3.1. Přimo v areálu zemědělského družstva se nachází chov skotu, a proto dochází teoreticky k celkovému snížení zápachu a finanční náročnosti při dopravě a skladování surovin. BPS využívá pro výrobu bioplynu řízenou anaerobní fermentaci. Vyroběný bioplyn je dále spálen v kogenerační jednotce a generátorem přeměněn na elektrickou energii, která je dále distribuována do sítě. Teplo jako vedlejší produkt je využíváno pro vlastní spotřebu při fermentačních procesech a pro vytápění místního soukromého zámku s přílehlými bazény. Ročně bioplynová stanice spotřebuje na 6250 tun kejdy skotu a 6300 tun kukuřičné siláže.

Druh BPS	Zemědělská
Dodavatel technologie	FARMTEC a.s.
Obec	Valeč u Hrotovic
Kogenerační jednotka	JENBACHER J312
Elektrický výkon	526kW
Tepelný výkon	558kW

Tab. 3.1 Technické údaje BPS [24]

Samotná BPS se skládá z několika částí naznačených v obrázku obrázku.3.3. Dále se v areálu nacházejí žlaby s kukuřičnou siláží, jímky na kontaminovanou vodu, jímky silážní šťávy a podzemní teplovody.

1. Dávkovací zařízení
2. Dvoustupňový fermentor
3. Plynojem
4. Flóra
5. Jímka digestátu
6. Vstupní jímka kejdy skotu
7. Provozní budovy

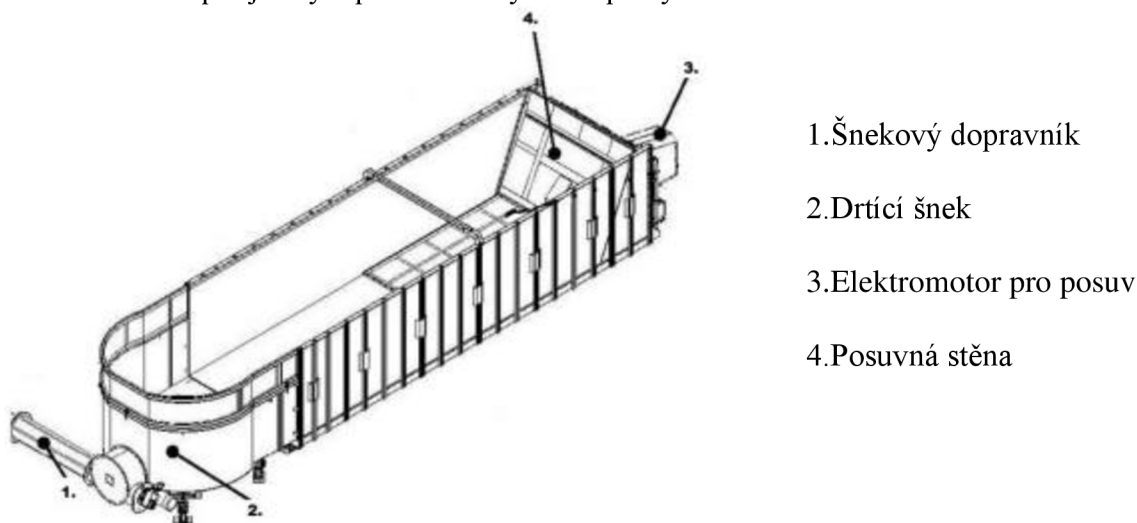


Obr.3.3 Popis BPS z leteckého snímku [35]

### 3.2 Příjem vsázkových surovin

Dávkovací zařízení slouží k dopravě tuhého vstupního materiálu, v tomto případě kukuřičné siláže, do reaktoru neboli fermentoru. Dávkovač tuhého materiálu je sestaven ze zásobníku s posuvnou podlahou a posuvnou stěnou. Přímou do fermentoru je materiál poslán šnekovým dopravníkem. Podlaha dávkovače je opatřena snímači hmotnosti pro určení přesného množství dostupného materiálu. Dávkovač má zásobník 50 m<sup>3</sup> (obrázek 3.4). Denní spotřeba činí 17 tun kukuřičné siláže, proto je do zásobníku doplňována technickým pracovníkem každý den. Šnekový dopravník si pak při plně automatizovaném procesu během dne podle potřeby sám odebírá a přidává materiál do fermentoru.

Dalším vsázeným materiálem potřebným pro fermentační proces je kejda skotu, a to pro naředění vsazeného substrátu. Čerpadla kejdu dopravují potrubními systémy z nedalekého kravína do vstupní jímky a poté šnekovými čerpadly do fermentoru.



Obr. 3.4 Dávkovací zařízení tuhého substrátu [25]

### 3.3 Jímky a silážní žlaby

Silážní žlaby jsou stavby pro uskladnění siláže a substrátu o sušíně nad 30 %. V zemědělském družstvu je jich celkem šest, a to dva o rozměrech 27 m x 100 m a čtyři 10 m x 100 m, všechny žlaby jsou vystavěny do výšky čtyř metrů. Vodotěsné dno žlabů je vyspádováno do kanalizačních odtoků pro zabezpečení neprosakování silážních šťáv do podloží. Ze všech dostupných žlabů se pro účely BPS využívají jen dva, a to ty největší o celkovém objemu 32 400 m<sup>3</sup>.

Silážní odtoky jsou spojeny kanalizací s jímkou o průměru 11 m a objemu 570 m<sup>3</sup>. Postavenou z voděodolného betonu. Jímka slouží pro uskladnění silážních šťáv, které jsou využívány při ředění tuhé vsázky ve fermentoru. Při přebytku je možné silážní šťávy odvést veřejnou kanalizací do místní ČOV.

Dále se zde nachází jímka na lokálně produkovanou kejdu o průměru 11 m a objemu 570 m<sup>3</sup>. Jímka je přímo propojena s fermentorem pro ředění kukuřičné siláže.

Jímka na digestát je otevřená železobetonová nádrž o průměru 21 m a objemu 2 078 m<sup>3</sup>. Jedná se o nádrž bez tepelné izolace a zastřešení. Tento koncový sklad je přímo spojen s fermentorem přepadovým a tlakovým potrubím. Při dopravování nového substrátu zároveň odtéká stejné množství digestátu. Nádrž je opatřena odvodňovacími kanály, které vedou zpět do jímky pro kontaminovanou vodu (silážní šťávy). Digestát je vyvážen pracovníky a dále zpracováván jako hnojivo na polích.



### 3.4 Dvoustupňový fermentor

Jádrem BPS je fermentor. V něm se tvoří za anaerobní fermentace bioplyn. Celkový objem dvoustupňového fermentoru, zde konstrukčně řešeného jako kruh v kruhu (obrázek 3.5), je 3 963 m<sup>3</sup>. Vnitřní průměr kruhu je 21 m s objemem 2 078 m<sup>3</sup>, vnější pak 29 m s objemem 1 885 m<sup>3</sup>. Výška fermentoru je 6 m a pro lepší izolaci je z části zapuštěn do země. Všechny stěny včetně dna, vnitřního prstence a zastropení jsou z vodotěsného betonu. Vnější stěny jsou zateplené a je zde rozvedeno teplovodní vytápění. Teplovodní vedení udržuje v celém fermentoru stálou teplotu 40 °C. Využívané přiváděné teplo je zbytkovým produktem při kogeneraci. Pro eliminaci plovoucích vrstev a homogenizaci kukuřičné siláže s kejdou jsou ve vnějším prstenci vrtulová a ve vnějším pádlová míchadla. Dále jsou ve vnitřních prostorech umístěny šnekové vynašeče usazenin a technologie odsířování plynu.

Jak už bylo řečeno, fermentor se skládá ze dvou částí, přičemž vnější je hlavní – zde probíhá míchání vsázkového materiálu a vzniká velká část bioplynu – až 90 % celkového množství. Fermentační proces trvá okolo 35 dní. Tuhý materiál se dopravuje každou hodinu a půl po jedné tuně, kejda pak každé 3 hodiny po 5 m<sup>3</sup>. Vnitřní část se nazývá dofermentor a slouží k dokvašení. Materiál se do této části dostává samovolně, a to přepadem z fermentoru vnějšího. I v této části je materiál míchán pro udržení homogenní konzistence. Substrát je zde držen dalších 35 dní až do jeho úplného vyhnití. Digestát, jako vedlejší produkt, je pak čerpán do příslušné jímky.



Obr.3.5 Fermentor kruh v kruhu [36]

### 3.5 Teplovod

Produktem kogenerace je teplo generované ve výměníku při chlazení motorů spalujících bioplyn. Část produkovaného tepla (v průměru 53 %) je využíváno v samotné BPS. Zbytkových 47 % nepotřebovaného tepla putuje 1 km dlouhým podzemním a tepelně izolovaným potrubím do místního hotelového zařízení. Hotel zámek Valeč je ve vlastnictví stejného majitele jako celá BPS. Teplo se využívá pro vytápění budov případně bazénů.

### 3.6 Plynojem

Mezi kogenerační jednotkou a fermentorem se nachází plynojem (obrázek 3.6) s vnitřním vzduchotěsným vakem o objemu 400 m<sup>3</sup>. Spotřeba bioplynu v kogenerační jednotce je 265 Nm<sup>3</sup>/h, tím pádem jeho zásoba pro plné zásobování kogenerační jednotky při odstavení fermentoru vydrží hodinu a půl. Konstruován je v nadzemní kruhové schránce z železobetonu s ocelovým zastřešením. Slouží pro uskladnění a vyrovnání změn v objemech vyrobeného a spotřebovaného bioplynu a také pro stabilizaci tlaku v systému.



Obr. 3.6 Plynojem

### 3.7 Fléra

Havarijní hořák neboli fléra (obrázek 3.7) je zařízení, které spaluje přebytečný bioplyn. Pracuje při nečekané odstávce kogenerační jednotky, při uvádění BPS do provozu nebo při nadměrné produkci bioplynu. Spalování probíhá z důvodu zabránění volného úniku bioplynu do atmosféry, který by mohl způsobit požár či explozi. Spalování v hořáku probíhá s vysokou účinností zajišťující nízkou produkci emisí. Proces spalování a jeho produkce tepla není nijak využívána. Fléra se nachází 20 m od okolních nadzemních objektů pro eliminaci jakéhokoliv nebezpečí v podobě požárů nebo zápachu.



Obr. 3.7 Fléra

### 3.8 Provozní budovy

Technické provozní budovy zahrnují soustavu staveb – velín, strojovnu kogenerační jednotky, trafostanici a přípojku vysokého napětí.

Velín plní funkci ovládacího a kontrolního charakteru, nachází se zde řídicí skříň agregátu, synchronizační skříň, skříň silových elektrorozvodů a stolní počítač pro řízení a kontrolu. Obsluha je plně automatická a s příslušnými povoleními se dá ovládat na dálku.

Strojovna kogenerační jednotky je jedna z hlavních budov bioplynové stanice. Zde se generuje elektrická energie a dále využitelné teplo. Strojovna je bez okenních otvorů pro maximální využití tepelných výměníků a zmírnění hluku v okolí. Vstup do strojovny je umožněn buď odhlučněnými vraty za účelem manipulace s kogenerační jednotkou, anebo klasickými dveřmi pro rutinní vstup obsluhy. Další přítomná zařízení jsou regulační plynová řada, větrání, filtr vzduchu nebo tlumič výfuků. Hlavním zařízením je zde kompaktní kogenerační jednotka typu Jenbacher J312 (obrázek 3.8). Technické parametry při dodržení specifického příkonu udávaného dodavatelem jsou zaznamenány v tabulce 3.2.



Obr.3.8 Jenbacher typ 3 [26]

Název kogenerační jednotky	Jenbacher J312
Rozměry kompaktního boxu	4,7 m x 1,8 m x 2,3 m
Příkon paliva	1301kW
Elektrický výkon	526kW
Tepelný výkon	558kW
Elektrická účinnost	40,4 %
Tepelná účinnost	42,9 %
Celková účinnost	83,3 %
Spotřeba bioplynu	260Nm <sup>3</sup> /h

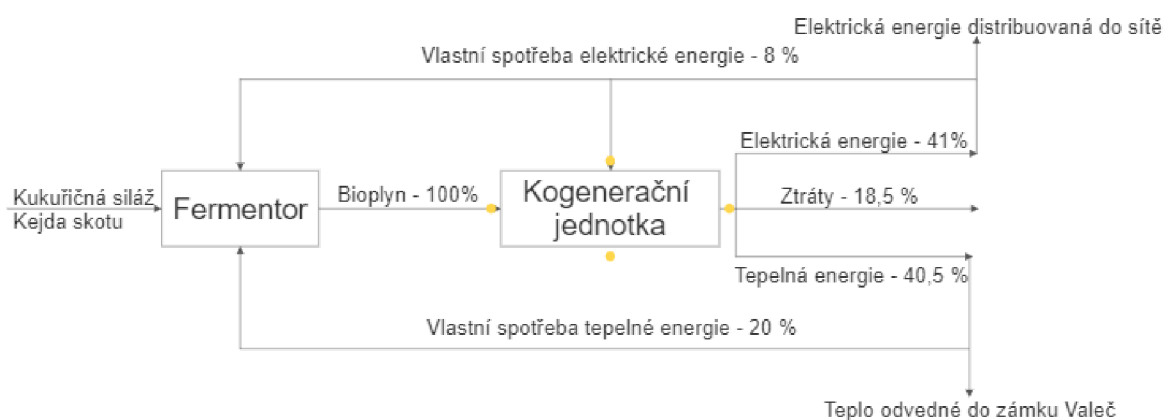
Tab. 3.2 Technické parametry kogenerační jednotky [27]

Realizovaná trafostanice a přípojka vysokého napětí se nachází v blízkosti strojovny. Trafostanice slouží pro připojení generované elektrické energie do distribuční sítě. Teoretický maximální generovaný výkon je 527kW. Část transformované elektrické energie je využita pro provoz BPS

## 4 Energetická bilance BPS

Primárními složkami při hodnocení energetické bilance BPS je výroba elektřiny a tepla v kogenerační jednotce. Určitá část z vyrobených energií se spotřebovává v místě BPS pro zajištění celkového provozu. Podrobněji rozepsáno v tabulce 4.1. Tepelnou energii pro BPS využíváme výhradně při ohřevu vsázky ve vnějším fermentoru. Přebytkové teplo odebírá teplovodem místní zámek.

Všechny hodnoty pro výpočet energetické bilance byly odečteny v den návštěvy BPS v časovém rozmezí 1 hodiny pro určení aktuální účinnosti kogenerační jednotky a aktuální výroby energií. Dále byly dodány hodnoty vyrobených energií za minulý rok pracovníkem BPS. Kogenerační jednotka je opatřena měřidly, které zaznamenávají aktuální výrobu elektrické a tepelné energie, množství spotřeby bioplynu. Všechny hodnoty byly sledovány a zaznamenány z počítačového softwaru nacházejícího se ve velíně. Obrázek 4.1 schématicky vyobrazuje teoretické rozložení energetické bilance BPS.



Obr 4.1 Schéma energetické bilance

### 4.1 Výpočet výroby elektřiny a tepla

Vypočet elektrické a tepelné energie závisí na příkonu v bioplynu a zejména na účinnosti přeměny kogenerační jednotky. Pro výpočet aktuální hodnoty výroby elektřiny, tepla a celkové účinnosti kogenerační jednotky je potřeba zjistit příkon v bioplynu, činný elektrický výkon a tepelný výkon.

Vzorec (2) počítá příkon v bioplynu kde  $P_{pal}$  je příkon bioplynu,  $x_{pl1}$  a  $x_{pl2}$  je počáteční a koncový stav plynoměru v  $m^3$ ,  $t$  je doba měření konkrétně 1 h a  $Q_{zp}$  udává výhřevnost bioplynu v provozních podmínkách s jednotkou  $kWh/m^3$ .

$$P_{pal} = \frac{(x_{pl2} - x_{pl1})}{t} * Q_{zp} = \frac{(42\,698,52 - 42\,494,36)}{1} * 5 = 1287,56 kW \quad (2)$$

Činný elektrický výkon počítáme podle vzorce (3) kde  $P_e$  udává vyrobený činný výkon v  $kW_e$ ,  $x_{el1}$  a  $x_{el2}$  je počáteční a koncový stav elektroměru v  $kWh$  a  $t$  doba měření konkrétně 1 h.

$$P_e = \frac{(x_{el2} - x_{el1})}{t} = \frac{(63120 - 62607)}{1} = 513 kW \quad (3)$$



Tepelný výkon popisuje vzorec (4).  $P_t$  vyjadřuje tepelný výkon v kW,  $x_{tp1}$  a  $x_{tp2}$  je počáteční a koncový stav tepelného měřidla v GJ a  $t$  je doba měření v h. GJ je nutno přepočítat na kWh

$$P_t = \frac{(x_{tp2} - x_{tp1})}{t} = \frac{(80352 - 79813) * 1000}{1 * 3,6} = 539 \text{ kW} \quad (4)$$

Účinnost pak spočítáme jako poměr výkonu tepelného (5) nebo elektrického (6) ku příkonu paliva.

$$\eta_t = \frac{P_t}{P_{pal}} * 100 = \frac{539}{1287,56} * 100 = 41,8\% \quad \eta_{el} = \frac{P_{el}}{P_{pal}} * 100 = \frac{513}{1287,54} * 100 = 39,84\% \quad (5), (6)$$

Všechny tyto hodnoty jsou v reálném čase snímány a automaticky vypočítávány softwarovým programem uloženým na počítači velína, který řídí celou BPS

#### 4.2 Vlastní elektrická spotřeba

Vlastní elektrická spotřeba snižuje celkovou výtěžnost BPS při prodeji elektrické energie do sítě. V tabulce 4.1 jsou shrnuta všechna zařízení podílející se na odběru při normálním provozu. Spotřebu lze rozdělit do tří skupin – technologický chod výroby bioplynu, provoz kogenerační jednotky a ostatní spotřebu.

Spotřebič	Příkon [kW]	Doba provozu [h/a]	Energetická zátěž [kWh/a]
Míchadla hlavního fermentoru	22	1 654	36 388
Míchadla dofermentoru	22	1 654	36 388
Spotřeba kogenerační jednotky	16	8 245	131 920
Dmýchadla odsíření	8	8 245	65 960
Centrální čerpadlo	6	1 712	10 272
Čerpadla vytápění	6	1 712	10 272
Kompresor tlakového vzduchu	2	195	390
Čerpadla plynojemu	2	549	1 098
Dávkovače tuhé a mokré vsázky	34	532	18 088
Ostatní (velín, osvětlení)	-	-	24 000
Celkem	-	-	334 776

Tab. 4.1 Vlastní spotřeba BPS za rok 2021

Z tabulky 4.1 vyčteme celkovou průměrnou spotřebu elektrické energie za jeden rok 334 776 kWh. Tato hodnota je ovšem proměnlivá a závisí na mnoha parametrech. Jak na teplotě v průběhu celého roku, tak na době provozu míchadel a čerpadel pro ředění kukuřičné siláže. Všechny hodnoty byli dodány pracovníkem BPS.

#### 4.3 Vlastní tepelná spotřeba

Kogenerační jednotka zajišťuje produkci tepla. Za pomoci tepelných výměníků získáváme teplo z chlazení bloku motoru, výfukových plynů či mazacího oleje. Vlastní spotřeba tepla pro udržování teploty fermentoru závisí na aktuální potřebě související s ročním období, ale pohybuje se přibližně okolo 45 % - 60 %. Konkrétní data nejsou známa a to kvůli nedostatku měřících zařízení na BPS.

Z celkové účinnosti přeměny bioplynu na tepelnou energii 42,9 % lze odvodit roční produkci tepelné energie 4 739 040 kWh. Fermentory spotřebovávají v průměru 53 % tedy v průměru 2 590 682 kWh ročně.

## 5 Rozbor výsledků

### 5.1 BPS Valeč u Hrotovic

Tabulka 5.1 udává konkrétní naměřené a vypočtené hodnoty kogenerační jednotky a jeho srovnáním parametrů udávaným výrobcem dále také účinnost přeměny.

Údaj	Hodnota	Tabulková hodnota	Účinnost	Účinnost výrobce
Spotřeba zemního plynu	204,16 m <sup>3</sup>	206 m <sup>3</sup>	-	-
Příkon paliva	1 287,56 kW	1 301 kW	-	-
Činný elektrický výkon	513 kW <sub>e</sub>	527 kW <sub>e</sub>	39,84 %	40,4 %
Tepelný výkon	539 kW <sub>t</sub>	558 kW <sub>t</sub>	41,8 %	42,9 %
-		Celková účinnost	81,7 %	83,3 %

Tab.5.1 Srovnání parametrů kogenerační jednotky

Odlišnost vypočtených a uvedených hodnot výrobcem kogenerační jednotky může být způsobena několika faktory. Především hodnotou příkonu paliva. Tato hodnota závisí na kvalitě vyráběného bioplynu neboli jeho výhřevnosti. Kvalita pak na obsahu nežádoucích složek. Nižší výhřevnost má negativní dopad při přeměně bioplynu v kogenerační jednotce. Celková účinnost je však v normě.

V tabulce 5.2 jsou data poskytnutá pracovníkem BPS. Rozepsána je tu celkově vyrobená elektrická energie a její lokální spotřeba v roce 2021. V grafu 5.1 je pak znázorněna bilance výroby, spotřeby a distribuce v každém z měsíců.

Popis typu energie	Množství za jeden rok	Procentuální část
Celkově generovaná elektrická energie	4 492 800 kWh	100 %
Lokálně spotřebovaná elektrická energie	334 776 kWh	7,45 %
Distribuovaná elektrická energie do sítě	4 158 024 kWh	92,54 %

Tab. 5.2 Bilance elektrické energie v roce 2021

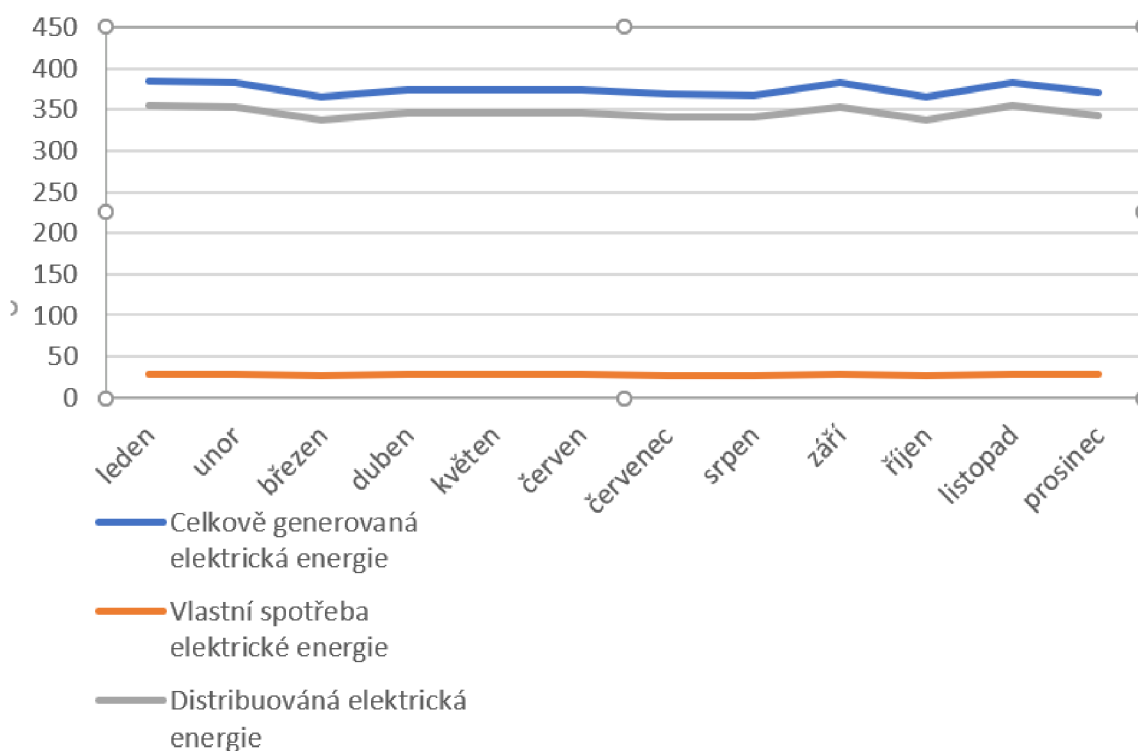
Vlastní spotřeba BPS by se měla pohybovat okolo 8 %, vypočtená hodnota pak udává hodnotu 7,45 % což může být způsobeno průměrně vyšším svorkovým napětím, což v tomhle případě neplatí, nebo celkovou hospodárností BPS. Distribuovaná energie je pak 92,54 % což je nadprůměrné a ekonomicky výnosné.

Tabulka 5.3 zobrazuje teoretické rozdělení generované tepelné energie. Jak už bylo řečeno, BPS je v soukromém vlastnictví, tím pádem teplo dále neprodává, ale samostatně využívá pro vytápění zámku. Při dosažení potřebných teplot v objektech zbytkové teplo maří při ohřevu bazénů.

Popis typu energie	Množství za jeden rok	Procentuální část
Celkově generována tepelná energie	4 739 040 kWh	100 %
Tepelná energie potřebná pro vytápění fermentorů	2 132 568 ÷ 2 843 424 kWh	45 ÷ 60 %
Tepelná energie pro hotelové zařízení	2 606 472 ÷ 1 895 616 kWh	55 ÷ 40 %

Tab. 5.3 Teoretická bilance tepelné energie

### Výroba, dodávka a spotřeba elektrické energie za rok 2021 v [ MWh]



Graf 5.1 Bilance energií v měsíčních intervalech v roce 2021

## 5.2 Porovnání s jinými technologiemi fermentace

Při anaerobním zpracování jak už odpadní, tak cíleně pěstované biomasy se stále častěji setkáváme s budováním fermentačních zařízení. Fermentační zařízení využívají dvě různé technologie fermentace a to suchou a mokrou. Každá z technologií má odlišný vstupní substrát a průběh fermentace.

### 5.2.1 Popis mokré fermentace

Mokrá fermentace je nejrozšířenější metoda zpracování biomasy o maximálním obsahu sušiny 12 %. Jde o stálý biologický proces přeměny tekuté vsázky na bioplyn a digestát. Proces je vykonáván ve vzduchotěsných fermentačních nádobách, které se liší geometrickými tvary. Ve fermentoru jsou udržovány specifické podmínky závislé na vstupním substrátu. Sleduje se obsah sušiny, homogenita substrátu, teplota, koncentrace dusíku a vodíku, pH a další. Samotný fermentor je striktně navržen na určitý typ vstupního materiálu a nedá se zaměňovat. Substrát je striktně kontrolován pro odhalení kontaminace, která by zastavila celý fermentační proces [18].

### 5.2.2 Popis suché fermentace

Technologie suché fermentace je v Evropě teprve v začátcích. Celkový počet instalací v České republice dosahuje řádu desítek. Vstupní materiál suché fermentace se více měně neředí a pracuje se substrátem obsahující kolem 30% sušiny. Substrát se nekontroluje na jeho kontaminaci, sleduje se pouze produkce bioplynu. Pokud se produkce zdá malá, jednoduše se celá kontaminovaná vsázka nebo její část vyveze a naveze se nová. Suchá fermentace využívá diskontinuální proces - tzv. proces, při kterém se substrát nadávkuje do vodotěsných betonových boxů, uzavře a zahřívá na teplotu (obvykle) 40 °C. Poté už se jen zkrápí perkolátem (odpadní tekutina pocházející z těchto boxů). Za krátkou dobu po uzavření dojde ke spotřebování kyslíku a nastává anaerobní fermentace a produkce bioplynu. Pro zachování stále produkce bioplynu bývá za sebou hned několik boxů [28].

### 5.2.3 Souhrn výhod a nevýhod

Výhody suché fermentace	Nevýhody suché fermentace	Výhody mokré fermentace	Nevýhody mokré fermentace
Heterogenní vstupní hmota	Nižší účinnost rozkladu oproti mokré fermentaci	Homogenita výstupního digestátu	Stálý přísun vsázky
Neupravování vstupního materiálu	Nevhodnost materiálu vyžadující hygienizaci	Možnost zpracování tekutých materiálů	Předúprava vsázky
Nízká vlastní spotřeba	Komplikovaný start produkce bioplynu	Kontinuální produkce bioplynu	Při kontaminaci vsázky kolaps celého systému
Diskontinuální provoz	Výkyvy produkce bioplynu	Ověřený proces	Vyšší vlastní spotřeba
Nižší nároky na obsluhu	Otevřená manipulace s odpadem hygienizaci	Práce v uzavřeném systému	Technologická náročnost

Tab.5.4 Porovnání technologií [29]

## **ZÁVĚR**

Cílem práce bylo objasnit energetické využití a zpracování biomasy technologií mokré fermentace. Práce je rozdělena do pěti kapitol.

V úvodu první kapitoly je přesně definováno co všechno biomasa je. Vzápětí je však vymezena oblast o jaké biomase se v obecné praxi při energetickém využití hovoří. Biomasu jako takovou dělíme podle typu na fytomasu (rostlinná forma), dendromasu kde jsou rostliny výhradně tvořeny ze zdřevnatělé hmoty a zoomasu jakožto materiál živočišného původu. Obsah sušiny pak rozděluje způsoby zpracování jako je spalování, zplynování, pyrolýza či fermentace. Avšak nejčastějším způsobem je rozdělení podle zdroje původu. Zde legislativa hovoří o odpadní a cíleně pěstované biomase. Další podkapitoly rozebírají konkrétní zdroje odpadní biomasy společně s jejich energetickým využitím. Jde o komunální odpady, čistírenský kal, odpadní travní hmotu, odpad ze zpracování dřeva, odpady z živočišné výroby a různorodé odpady z průmyslové výroby (papírenský, rostlinný, cukrovarský atd.). Stejně je zde popsána i cíleně pěstovaná biomasa, mezi kterou patří rychle rostoucí dřeviny a energetické rostliny. Na konci kapitoly je souhrnná tabulka 1.1 zdrojů a jejich vhodnost podle dostupných technologií zpracování.

Druhá kapitola se zabývá přehledem technologií mokré fermentace jakožto jedním ze způsobů zpracování biomasy. Anaerobní fermentace jako hlavní náplň práce je zde rozepsána po krocích biochemických přeměn (hydrolyza, acidogeneze, acetogeneze, metanogeneze). Uvedena je zde i tabulka 2.1 popisující typické zastoupení složek generovaného bioplynu z biomasy. Dalším typem technologie zpracování je aerobní fermentace neboli kompostování. Okrajově je zde přiblížena také technologie alkoholového kvašení v energetickém odvětví, využívaná jen zřídka.

Druhá polovina práce už je praktického charakteru a začíná třetí kapitolou kde je přiblížena konkrétní bioplynová stanice Valeč u Hrotovic. Začátek kapitoly popisuje strategické umístění a její obecný technický popis. Dále jsou zde rozebrány konkrétní technologické prvky stanice. Logicky jsou uspořádány od příjmu vsázkových surovin až po výstup v podobě tepla a elektřiny. Každá z podkapitol popisuje používané technologie a udává jejich technické parametry. Zdrojem všech technických parametrů je buď přímo výrobce, nebo pracovník stanice.

Předposlední čtvrtá kapitola představuje energetickou bilanci bioplynové stanice. Schéma (obrázek 4.1) ukazuje její teoretické rozložení. V další podkapitole je uveden ilustrační výpočet výroby elektřiny a tepla kogenerační jednotky, z které je určena její účinnost. Údaje z kogenerační jednotky jsou v reálném čase zaznamenávány do centrálního počítače a automaticky vypočítávány a dále sčítány do denního, měsíčního případně ročního celku výroby elektřiny a tepla. Do energetické bilance patří i vlastní elektrická spotřeba, která je rozepsána v tabulce 4.1. Vlastní tepelná spotřeba je určena jen teoreticky kvůli nemožnosti určení konkrétních hodnot kvůli nedostatku měřících technologií

Pátá a tím i poslední kapitola obsahuje rozbor vypočtených, dostupných a naměřených hodnot poskytnutých bioplynovou stanicí Valeč u Hrotovic. Rozebrán je zde důvod odlišnosti naměřených hodnot u kogenerační jednotky a parametry udávané výrobcem. V poslední podkapitole je čtenář seznámen s porovnáním technologie mokré fermentace s technologií suché fermentace.

## 6 Reference

- VOBOŘIL, David. *Biomasa - využití, zpracování, výhody a nevýhody, energetické využití v ČR* [online]. Třebíč: oenergetice.cz, 2017 [cit. 2022-04-23]. Dostupné z: <https://oenergetice.cz/obnovitelne-zdroje-energie/biomasa-vyuziti-zpracovani-vyhody-a-nevyhody>
- Biomasa jako palivo a jaké existují typy biomasy* [online]. Třebíč: viessmann.cz, 2015 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.viessmann.cz/cs/rady-a-tipy/biomasa-pro-spalovani-v-kotlich.html>
- SLEJŠKA, Antonín. Biomasa pro energii. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Biomasa#/media/Soubor:Biomasa.jpg>
- Disponibilní zdroje odpadní biomasy použitelné k energetickým účelům v oblasti regionů Pardubického a Královéhradeckého kraje* [online]. Hradubice: hradubicka-energeticka.cz, 2013 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <http://www.hradubicka-energeticka.cz/projekty>
- Formy zpracování dřevních odpadů. In: *Srubyservis.cz* [online]. Třebíč: srubyservis.cz, 2021 [cit. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://www.srubyservis.cz/userfiles/image/AKTUALITY/topeni/topeni3A.jpg>
- Likvidace odpadní travní hmoty* [online]. Brno: Profi Press, 2007 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://uroda.cz/likvidace-odpadni-travni-hmoty/>
- HEJÁTKOVÁ, Květuše. *Kompostování přebytečné travní biomasy: metodická pomůcka*. Vyd. 1. Náměšť nad Oslavou: ZERA - Zemědělská a ekologická regionální agentura, 2007. ISBN 80-903548-6-6.
- Biologicky rozložitelné komunální odpady (BRKO)* [online]. Brno: kompostuj.cz, 2018 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.kompostuj.cz/vime-jak/legislativa/biologicky-rozlozitelne-komunalni-odpady/>
- BECHNÍK, Bronislav. *Využití kompostu pro vytápění domu* [online]. Brno: estav.cz, 2015 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/1351.vyuziti-kompostu-pro-vytapeni-domu>
- Bioplyn z odpadů živočišné výroby* [online]. Třebíč: biom.cz, 2002 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby>
- Jatky, kafilerie* [online]. BRNO: restep.vumop.cz, 2014 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: [https://restep.vumop.cz/encyklopedie/index.php/Jatky,\\_kafil%C3%A9rie](https://restep.vumop.cz/encyklopedie/index.php/Jatky,_kafil%C3%A9rie)
- Papírny: s růstem produkce neroste množství odpadů* [online]. Třebíč: odpady-online.cz, 2012 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/papirny-s-rustem-produkce-neroste-mnozstvi-odpadu/>
- Melasa. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Melasa>
- KALOVÉ HOSPODÁŘSTVÍ ČISTÍREN ODPADNÍCH VOD* [online]. Praha: <https://web.vscht.cz/~jenicekp/Kalov%C3%A9%20hospod%C3%A1%20stv%C3%AD/KH%20-%20p%20c5%afvod%20a%20bilance%20kal%20c5%af.pdf>

- Možnosti energetického využití biomasy: ukázka praktických opatření z Akčního plánu pro biomasu v ČR na období 2012-2020.* Biom.cz. Praha: Ministerstvo zemědělství, 2013. ISBN isbn978-80-7434-122-9.
- [15] *ROSTLINY PRO ENERGETICKÉ ÚČELY* [online]. Praha: Česká energetická agentura, 2000 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99\\_8089.pdf](https://www.mpo-efekt.cz/dokument/99_8089.pdf)
- [16] *PROCESY A TECHNOLOGIE PRO ENERGETICKÉ VYUŽÍVÁNÍ BIOMASY* [online]. Plzeň: technicka-ekologie.zcu, 2015 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.technicka-ekologie.zcu.cz/bie2.pdf>
- [17] *Bioplynové stanice Mokrá fermentace* [online]. Havířov-Prostřední Suchá: gascontrol.cz, 2016 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: <https://www.gascontrol.cz/wp-content/uploads/2016/12/tl-mokra-fermentace.pdf>
- [18] VÁŇA, Jaroslav a Antonín SLEJŠKA. *Anaerobní digesce, fermentace, stabilizace, vyhnívání či zkvašování?* [online]. Brno: Biom.cz, 2002 [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/anaerobni-digesce-fermentace-stabilizace-vyhnivani-ci-zkvasovani>
- [19] TRÁVNÍČEK, Petr. *Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití.* Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-206-9.
- [20] TRÁVNÍČEK, Petr. *Technologie zpracování biomasy za účelem energetického využití.* Vyd. 1. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2015. ISBN 978-80-7509-206-9.
- [21] *Anaerobic Digestion of Biowaste in Developing Countries.* První. Switzerland: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2014. ISBN 978-3-906484-58-7.
- [22] *Proces kompostování* [online]. Třebíč: mendelu.cz, 2015 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/print.php?page=3926&typ=html](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=3926&typ=html)
- [23] *Technické údaje BPS Valeč* [online]. web: czba.cz, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.czba.cz/mapa-bioplynovych-stanic/367-bioplynova-stanice-valec.html>
- [24] Schéma dávkovacího zařízení. In: *Fliegl-agrartechnik.cz* [online]. Web: fliegl-agrartechnik.cz, 2014 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <http://www.fliegl-agrartechnik.cz/zemedelska-technika/vyhrnovaci-vozy>
- [25] Jenbacher type 3. In: *Kts-eng.com* [online]. Web: kts-eng.com, 2006 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <https://www.kts-eng.com/wp-content/uploads/2021/03/jenbacher-j-312-gs.jpg.webp>
- [26] *Technické parametry kogenerační jednotky* [online]. Web: 2-g.com, 2006 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: [https://www.2-g.com/module/dateidownload/01\\_JMS\\_312\\_GS-BL\\_526\\_kW.pdf](https://www.2-g.com/module/dateidownload/01_JMS_312_GS-BL_526_kW.pdf)
- [27] *Výzkum „suché“ anaerobní fermentace různých druhů biomasy za účelem výroby bioplynu* [online]. Web: biom.cz, 2011 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://biom.cz/cz/odborne-clanky/vyzkum-suche-anaerobni-fermentace-ruznych-druhu-biomasy-za-ucelem-vyroby-bioplynu>
- [28] Suchou, nebo mokrou fermentaci?. In: *Odpady-online.cz* [online]. web: odpady-online.cz, 2011 [cit. 2022-05-20]. Dostupné z: <https://odpady-online.cz/suchou-nebo-mokrou-fermentaci/>
- [29]

- ČOV odpadních vod. In: *Mendelu.cz* [online]. Brno: mendelu.cz, 2014 [cit. 2022-04-26]. Dostupné z: [https://web2.mendelu.cz/af\\_291\\_projekty2/vseo/files/147/10496.jpg](https://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/files/147/10496.jpg)
- PAIN, Jean. Biomilíř. In: *Waldenlabs.com* [online]. French: waldenlabs.com, 2012 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: <https://waldenlabs.com/wp-content/uploads/2013/11/cylindrical-thermal-compost-pile.jpg>
- Proces kompostování. In: *Compostaroundthecountry.com* [online]. San francisco: compostaroundthecountry.com, 2010 [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://compostaroundthecountry.weebly.com/uploads/5/8/2/3/5823038/6702715.jpg?443>
- Umístění BPS Valeč letecké. In: *Google.com/maps* [online]. Web: Google.com/maps, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/675+52+Lipn%C3%ADk/@49.1450391,16.0443789,1066m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470d5b45f859f4fb:0x400af0f66155d60!8m2!3d49.1442568!4d15.950623?hl=cs>
- Umístění BPS Valeč. In: *Google.com/maps* [online]. web: google.com/maps, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/675+53+Vale%C4%8D/@49.1643011,16.0446851,10z/data=!4m5!3m4!1s0x470d5c0b213d2077:0x400af0f66161070!8m2!3d49.1443044!4d16.0356902?hl=cs>
- Popis BPS Valeč. In: *Google.com/maps* [online]. Web: Google.com/maps, 2022 [cit. 2022-05-18]. Dostupné z: <https://www.google.com/maps/place/675+53+Vale%C4%8D/@49.1437208,16.0448044,209m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x470d5c0b213d2077:0x400af0f66161070!8m2!3d49.1443044!4d16.0356902>
- Fermentor kruh v kruhu. In: *Agrifair.cz* [online]. Web: agrifair.cz, 2007 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.agrifair.cz/upload/Image/fermentor.JPG>



## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

<b>Symbol</b>	<b>Veličina</b>	<b>Jednotka</b>
$P_{el}$	Elektrický výkon	kW
$P_t$	Tepelný výkon	KW
$P_{pal}$	Příkon paliva	kW
$t$	Čas	s
$\eta$	Účinnost	-
$V$	Objem	m <sup>3</sup>
<b>Zkratka</b>	<b>Význam</b>	
BRKO	Biologicky rozložitelný komunální odpad	
BRPO	Biologicky rozložitelný průmyslový odpad	
ČOV	Čistička odpadních vod	
BPS	Bioplynová stanice	
KJ	Kogenerační jednotka	
VŽP	Vedlejší živočišné produkty	
ČR	Česká Republika	