



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV PROCESNÍHO A EKOLOGICKÉHO  
INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF PROCESS AND ENVIRONMENTAL  
ENGINEERING

## VYUŽITÍ BIOPLYNU

BIOGAS UTILIZATION

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

DANIEL TRNKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. RADEK DVOŘÁK, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav procesního a ekologického inženýrství

Akademický rok: 2011/2012

## **ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

student(ka): Daniel Trnka

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Energetika, procesy a ekologie (3904R030)**

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:

### **Využití bioplynu**

v anglickém jazyce:

### **Biogas utilization**

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Bioplyn vzniká anaerobní fermentací organických látek (jedná se zejména o odpady z rostlinné a živočišné výroby) a obsahuje dvě majoritní složky a to metan ( $\text{CH}_4$ ) a oxid uhličitý ( $\text{CO}_2$ ), dále jsou přítomny ještě minoritní látky jako jsou sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ), nežádoucí uhlovodíky, pevné látky nebo voda ( $\text{H}_2\text{O}$ ). Produkovaný bioplyn se pak může využívat při výrobě tepla a el. energie nebo se dále čistit a využívat jako náhrada zemního plynu.

Cíle bakalářské práce:

Hlavním cílem bakalářské práce bude provedení rešerše technologií pro produkci a využití bioplynu z rostlinné a živočišné výroby pro produkci tepla a el. energie. Součástí práce by kromě rešerše měl být také popis, základní energetická a materiálová bilance a celkové technologické schéma skutečného provozu pro produkci a využití bioplynu.

Seznam odborné literatury:

- [1] □ Dohányos M. a kol., Anaerobní čistírenské technologie, NOEL, Brno (1998), ISBN 80-86020-19-3
- [2] □ WR ATV/VKS, Recovery, Processing and Utilization of Biogas, Working report of ATV/VKS Expert Committee 3.8 „Biogas“, Korrespondenz Abwasser, 36, 153-164 (1989)
- [3] □ Straka F. a kol., Bioplyn, II. rozšířené a doplněné vydání, GAS s.r.o., Praha (2006), ISBN 80-7328-090-6
- [4] □ European IPPC Bureau: Reference Document on the Best Available Techniques in Common Waste Water and Waste Gas Treatment / Management System in Chemical Sector, Brussels, available on <http://eippcb.jrc.es> (2003)
- [5] □ Schulz H., Eder B., Bioplyn v praxi, HEL, Ostrava (2004), ISBN 80-86167-21-6
- [6] □ Nishimura S., Yoda M., Removal of hydrogen sulfide from an anaerobic biogas using a bio-scrubber, Water Science and Technology, Volume 36, Issues 6-7, Pages 349-356 (1997)
- [7] □ European IPPC Bureau: Reference Document on the Best Available Techniques for Large Combustion Plants, Brussels, available on <http://eippcb.jrc.es> (2005)
- [8] □ Persson M., Evaluation of Upgrading Techniques for Biogas, available on <http://www.sgc.se/uk/index.asp> (2003)
- [9] □ Vaxtkraft – Presentation of a system for the use of biogas as fuel for buses and cars, Vasteras, Svensk, (2004)
- [10] □ Aufwind Achmack GmbH Neue Energie, Biometanová stanice v obci Pliening, Pliening, Německo (2006)
- [11] □ Plynárenská příručka, 150 let plynárenství v Čechách a na Moravě, GAS s.r.o., Praha (1997), ISBN 80-902339-6-1
- [12] □ Bezpečnostní list látky zemní plyn, Jihomoravská plynárenská, a.s., dostupný na <http://www.rwe-jmp.cz> (2005)

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Radek Dvořák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012.

V Brně, dne 18.11.2010

L.S.

---

prof. Ing. Petr Stehlík, CSc.  
Ředitel ústavu

---

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.  
Děkan fakulty

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou využití bioplynu. Popisuje bioplyn od jeho vzniku, přes technologie pro produkci a jeho následné využití. Následně obecně popisuje bioplynové stanice, aby poté mohlo dojít k sumarizaci výhod a nevýhod produkce bioplynu za současného stavu. V závěru práce je uvedena a popsána konkrétní BPS při zemědělském podniku Farma Stonava.

## **Abstract**

This thesis deals with the use of biogas. It describes biogas from its creation through technology for its production and its final use. Then it generally describes the biogas plants in order to summarize the advantages and disadvantages of biogas production in its current state. The conclusion refers specifically to BGS farm Farma Stonava.

## **Klíčová slova**

bioplyn, využití bioplynu, bioplynové stanice, energetická bilance

## **Keywords**

biogas, biogas utilization, biogas plants, energy balance

**Bibliografická citace:** TRNKA, D. *Využití bioplynu*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 49 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Radek Dvořák, Ph.D.

### **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že bakalářskou práci na téma Využití bioplynu jsem vypracoval samostatně, pod vedením vedoucího diplomové práce pana Ing. Radka Dvořáka, Ph.D. Za použití uvedených zdrojů.

V Brně dne 21. Května 2012

Autor

## **Poděkování**

Tímto bych chtěl poděkovat všem, kteří mi byli při tvorbě mé závěrečné práce nápomocni. Speciálně pak panu Ing. Radku Dvořákovi, Ph.D. a panu Ing. Radku Kochovi za jejich ochotu a vstřícné jednání. V neposlední řadě děkuji své rodině a přátelům, od kterých se mi dostávalo podpory.

Daniel Trnka

# Obsah

ÚVOD.....	9
1 Vznik a využití bioplynu .....	11
1.1 Bioplyn .....	11
1.2 Anaerobní fermentace.....	12
1.3 Využití bioplynu.....	13
1.4 Další možnosti využití bioplynu.....	14
1.4.1 Tepelné využití bioplynu.....	14
1.4.2 Napojení do sítě zásobování zemním plynem .....	14
1.4.3 Využití jako pohonná hmota pro automobily .....	14
2 Technologie pro produkci a využití bioplynu.....	16
2.1 Typy bioplynových stanic .....	17
2.1.1 Zemědělská BPS.....	17
2.1.2 Čistírenská BPS .....	19
2.1.3 Ostatní BPS.....	20
2.2 Dimenzování bioplynové stanice.....	20
2.2.1 Výroba a kvalita plynu .....	21
2.2.2 Druh a složení substrátu .....	23
2.2.3 Získávání substrátu a výpočet objemu fermentoru.....	24
2.2.4 Zjištění obsahu sušiny a organické sušiny.....	24
2.2.5 Objem jímky na kejdu .....	25
2.2.6 Objem plynojemu .....	25
2.2.7 Stanovení výkonu blokové teplárny .....	25
2.2.8 Látky ovlivňující fermentaci .....	25



2.3	Technologické součásti bioplynové stanice .....	26
2.3.1	Uskladňovací nádrž .....	27
2.3.2	Homogenizační jímka.....	28
2.3.3	Fermentor.....	28
2.3.4	Plynojem.....	31
2.3.5	Kogenerační jednotka .....	32
2.3.6	Havarijní hořák .....	32
3	Výhody produkce bioplynu .....	33
4	Nevýhody (komplikace) při výrobě bioplynu .....	34
5	Energetická bilance BPS .....	35
5.1	Popis vybrané bioplynové stanice .....	35
5.2	Technologie .....	35
5.2.1	Fermentory.....	37
5.2.2	Plynojemy.....	37
5.2.3	Kogenerační jednotky.....	38
5.2.4	Další technická zařízení.....	38
5.3	Sumarizace vstupů.....	39
5.4	Sumarizace výstupů.....	39
6	Závěr.....	42
7	Zdroje.....	43
8	Přílohy .....	45

## ÚVOD

Z hlediska nutnosti snižovat emise skleníkových plynů a potřeby diverzifikace zemědělské činnosti došlo v posledních letech v zemědělství k rozvoji budování bioplynových stanic (BPS). Jejich výstavba a provoz jsou z hlediska energetiky a životního prostředí užitečné a navíc ekonomicky výhodné. Rozšíření činnosti zemědělců o provozování bioplynových stanic a pěstování energetických plodin jakožto zdroje suroviny pro tato zařízení je jednou z významných možností, jak posílit budoucí udržitelnost zemědělství a venkova tak, jak jej známe. Zkušenosti z Německa nebo Rakouska, kde realizace těchto technologií probíhá velice intenzivně, potvrzují, že zemědělské bioplynové stanice mají významný pozitivní přínos pro venkov a zemědělství, jsou pro zemědělce novým a stabilním zdrojem příjmů, vytvářejí a stabilizují pracovní místa, produkují ekologickou energii, teplo ale také kvalitní hnojivo. Přispívají tak významně k ochraně životního prostředí a navíc k energetické nezávislosti provozovatele.

Důležitým aspektem pro rozvoj výstavby zemědělských bioplynových stanic je především možnost získání dotace ze státních a evropských fondů. Pro zemědělce je hlavní příležitostí v letech 2007 až 2013 Program rozvoje venkova ČR spolufinancovaný Evropským zemědělským fondem pro rozvoj venkova (EAFRD).

Pro samotné zemědělce má technologie bioplynu stále větší význam z mnoha důvodů. Na prvním místě stojí výroba hodnotného, mnohostranně použitelného a ekologického nositele energie, kterou lze v jakémkoliv rozsahu výkonu přeměnit na elektrický proud a teplo. Zemědělci, kteří si dnes pořizují bioplynové stanice, tím zpravidla sledují celou řadu cílů. Snižování zatížení pachem je rozhodujícím hlediskem především pro zemědělce, jejichž usedlosti leží v hustě obydlených oblastech. Stavba bioplynové stanice je mnohdy rozhodujícím předpokladem pro zvýšení počátečního stavu dobytka. Bioplynová kejda vyvážená na rostlinný porost jakožto hnojivo na list působí méně žíravě než surová kejda. To je rozhodující aspekt pro mnohé ekologicky hospodařící provozy. Dalším cílem je zlepšení tekutosti zpracovávané kejdy, což přináší výhody pro míchání, čerpání a rozvážení. Oproti otevřenému skladování nedochází v uzavřených bioplynových zařízeních k žádným významným ztrátám na metanu a čpavku. Zemědělci provozující BPS tak aktivně přispívají k čistotě životního prostředí. Důležitou roli v současnosti hrají také hygienizační účinky bioplynové technologie. Stále větší hospodářský význam má

kofermentace, což je současné anaerobní zpracování více druhů organické hmoty v jednom fermentoru. Pro zemědělský podnik může být také důležité, že vlastní BPS levně zpracovává domovní odpadní vody, a tudíž není nutné platit vysoké poplatky na stočné.  
[17]

# 1 Vznik a využití bioplynu

Začátky využívání energie anaerobní fermentace sahají k přelomu 19.-20. století. Mezi první využívané materiály patřily kaly čistíren odpadních vod (ČOV) a energie z nich získaná byla využívána pro vytápění a svícení objektů ČOV. První vyhřívané reaktory vznikly ve 20 letech 20. století. Třicátá léta 20. století přinesla rozvoj výzkumu využívání zemědělských odpadů se zaměřením na anaerobní fermentaci [1]. V dalších letech rostla velkou měrou tvorba odpadů, pocházející z lidské činnosti a výzkum se proto zaměřil na využití jímaného skládkového plynu. Sedmdesátá léta 20. století přinesla do oboru inovaci, jež bylo pěstování energetických plodin, které jsou anaerobní fermentací přeměňovány na energii [2].

## 1.1 Bioplyn

Bioplyn vzniká anaerobní metanovou fermentací organických materiálů. Jde o soubor procesů, při kterých směsná kultura mikroorganismů rozkládá biologicky rozložitelnou organickou hmotu bez přístupu vzduchu [3, s. 10]. Konečnými produkty jsou plyny (metan, oxid uhličitý, vodík, dusík, sulfan) a nerozložitelný zbytek organické hmoty [4, s. 246]. Obecně udávaná energie, která je získatelná z 1m<sup>3</sup> organického vstupního materiálu odpovídá cca 10 kWh [1].

**Hlavní složky** bioplynu jsou [3, s. 91-92]:

- Metan CH<sub>4</sub> (40-65 %)
- Oxid uhličitý – CO<sub>2</sub> (35-40 %)

K **minoritním složkám** bioplynu patří:

- Vyšší uhlovodíky.
- Alkoholy, thioly.
- Aldehydy, ketony, kyseliny.

- Halogenderiváty.
- Sloučeniny síry.
- Sloučeniny křemíku.

Parametr	Prasečí kejda	Bioplyn z ČOV	BP ze skládky odpadu
Výhřevnost [MJ/m <sup>3</sup> ]	24	21	16,9
H <sub>2</sub> [%]	-	1	1
CO [%]	-	-	1
C <sub>2</sub> [%]	-	-	3
N <sub>2</sub> [%]	-	-	-
NI-, F- [mg/m <sup>3</sup> ]	-	-	-
NH <sub>3</sub> [mg/m <sup>3</sup> ]	40	-	-
CO <sub>2</sub> [%]	31	38	46
CH <sub>4</sub> [%]	69	61	49
H <sub>2</sub> S [mg/m <sup>3</sup> ]	2300	1000	350

**Tabulka 1.1: Složení bioplynů**

## 1.2 Anaerobní fermentace

Tento proces je rozdělen na čtyři základní fáze, a to hydrolýzu, acidogenezi, acetogenezi a metanogenezi. Každá z fází je charakterizována přeměnou vstupních složek na většinou jednodušší látky a specifickými biochemickými procesy [3, s. 12].

První fází je **hydrolýza**, kdy je přeměňován vstupní materiál na jednodušší sloučeniny. Hydrolýzními bakteriemi dochází k rozkladu polymerních sloučenin, jimiž jsou rozpuštěné i nerozpuštěné organické látky (polysacharidy, lipidy, proteiny) [5, s. 192]. Extracelulární hydrolytické enzymy, produkované zejména fermentačními bakteriemi, dávají za vznik polymerním a monomerním sloučeninám (oligosacharidy, oligopeptidy, aminokyseliny, vyšší mastné kyseliny) [6, s. 43].

Při **acidogenezi** (druhé fázi anaerobní fermentace) dochází k odstranění zbytků vzdušného kyslíku a vytvoření anaerobního prostředí. Na tomto procesu se podílejí fakultativní anaerobní mikroorganismy, které jsou schopny aktivity v prostředí aerobním i anaerobním. Dochází ke vzniku např. monosacharidů, aminokyselin a mastných kyselin [6, s. 43]. Podrobněji viz [6, s. 43]<sup>1</sup>

**Acetogeneze** je fází, při níž působením acidogenních kmenů bakterií dochází k přeměně vyšších organických kyselin na kyselinu octovou, vodík (H<sub>2</sub>) a oxid uhličitý (CO<sub>2</sub>).

Poslední fází anaerobní fermentace je **metanogeneze**, při níž dochází k tvorbě metanu (hlavní složky bioplynu). *“Metanogenní acetotrofní bakterie v alkalickém prostředí rozkládají hlavně kyselinu octovou na metan a oxid uhličitý, hydrogenotrofní bakterie produkují metan z vodíku a oxidu uhličitého. Některé kmeny bakterií provádějí obojí.”* [6, s. 43].

### 1.3 Využití bioplynu

Vzniklý bioplyn nejčastěji používáme ke spalování přímo v místě jeho produkce. Možnosti jeho využití jsou:

- Spalování pro výrobu tepla. Pouze pro výrobu tepla se bioplyn využívá minimálně, vždy je lepší jej spalovat v kogenerační jednotce spolu s elektřinou.
- Spalování pro výrobu elektrické energie. V tomto případě je vyrobené teplo použito pouze pro provoz BPS. Jedná se o výrobu s nízkou účinností a provozovatel tím přichází o tzv. zelené dotace.
- Kogenerace – společná výroba elektřiny a tepla. Ty jsou obě prodávány nebo dále využívány za hranicemi vlastní BPS.

---

<sup>1</sup> Židek, M. 2004: Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru, s. 43., doplňuje: *“V této kyselé fázi jsou rozkládány produkty hydrolýzy na jednodušší organické látky (kyseliny, alkoholy, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>). Fermentací těchto látek se tvoří řada konečných redukováných produktů, které jsou závislé na charakteru substrátu a podmínkách prostředí. Při nízkém parciálním tlaku vodíku jsou produkovány kyselina octová, CO<sub>2</sub> a H<sub>2</sub>, při vyšším jsou tvořeny vyšší organické kyseliny, kyselina mléčná, ethanol apod.”*

- Trigenerace – specifický druh kogenerace, kdy se zároveň vyrábí elektřina, teplo a také chlad, což dále zvyšuje účinnost procesu. BPS využívající trigeneraci se zatím objevují spíše v severských zemích, kde dálkový rozvod chladu není nic neobvyklého.

## **1.4 Další možnosti využití bioplynu**

### **1.4.1 Tepelné využití bioplynu**

Jedná se konkrétně o přímé spalování bioplynu k získání tepla. Tato metoda není příliš rozšířená, ale setkat se s ní můžeme například u menších ČOV.

Je třeba dbát na obsah sulfanu v bioplynu a tím větší náchylnosti ke korozi částí kotlů, či hořáků vyrobených z běžné oceli či barevných kovů. Pro spalování bioplynu se nejčastěji používají jak atmosférické, tak i dmychadlové hořáky. Bioplyn může být spalován také jako přídavek k ostatním palivům. Z ekologického hlediska však spalování bioplynu není nejvýhodnější a tak není tato metoda ani příliš rozšířena.

### **1.4.2 Napojení do sítě zásobování zemním plynem**

Napojení bioplynové stanice na rozvod zemního plynu by do budoucna mohlo znamenat další efektivní způsob využití této suroviny. Bioplyn by už nebyl zpracováván v místě výroby, ale dopravován do lokality s lepší využitelností vzniklé elektrické energie i tepla.

Momentálnímu rozšíření této metody nejvíce brání nutnost čištění případně úpravy bioplynu na kvalitu zemního plynu dle příslušné legislativy. To znamená například sušení, zbavování plynu CO<sub>2</sub> a dalších nežádoucích příměsí (především sulfanu). Ovšem zařízení na úpravu bioplynu jsou v současnosti stále velmi drahá a zároveň spotřebovávají relativně velké množství energie.

Vedle úpravy plynu je dále nutné zajistit transport plynu vedením k místu spotřeby a spolu s tím také zvýšení tlaku plynu v tomto vedení na příslušný tlak nutný ve vedení zemního plynu. V praxi se s těmito zařízeními můžeme setkat na územích Švédska, Nizozemí a nově také na území Německa.

### **1.4.3 Využití jako pohonná hmota pro automobily**

Tento způsob využití bioplynu je již nějakou dobu k vidění ve Švédsku a ve Švýcarsku, kde se bioplyn používá jako pohonná hmota pro nákladní automobily a autobusy.

Jestliže chceme použít bioplyn jako pohonnou hmotu pro automobily, musí být vedle samotného automobilu upravena také kvalita použitého bioplynu. Požadavky na kvalitu plynu jsou podobné jako pro využití v síti zásobování zemním plynem. Z plynu jsou odstraňovány vodní pára, CO<sub>2</sub> a další nežádoucí prvky. Plyn musí být dále významně stlačován. Všechny tyto faktory zvyšují finanční náročnost a tím brání masivnímu rozšíření bioplynu jako paliva v dopravě.

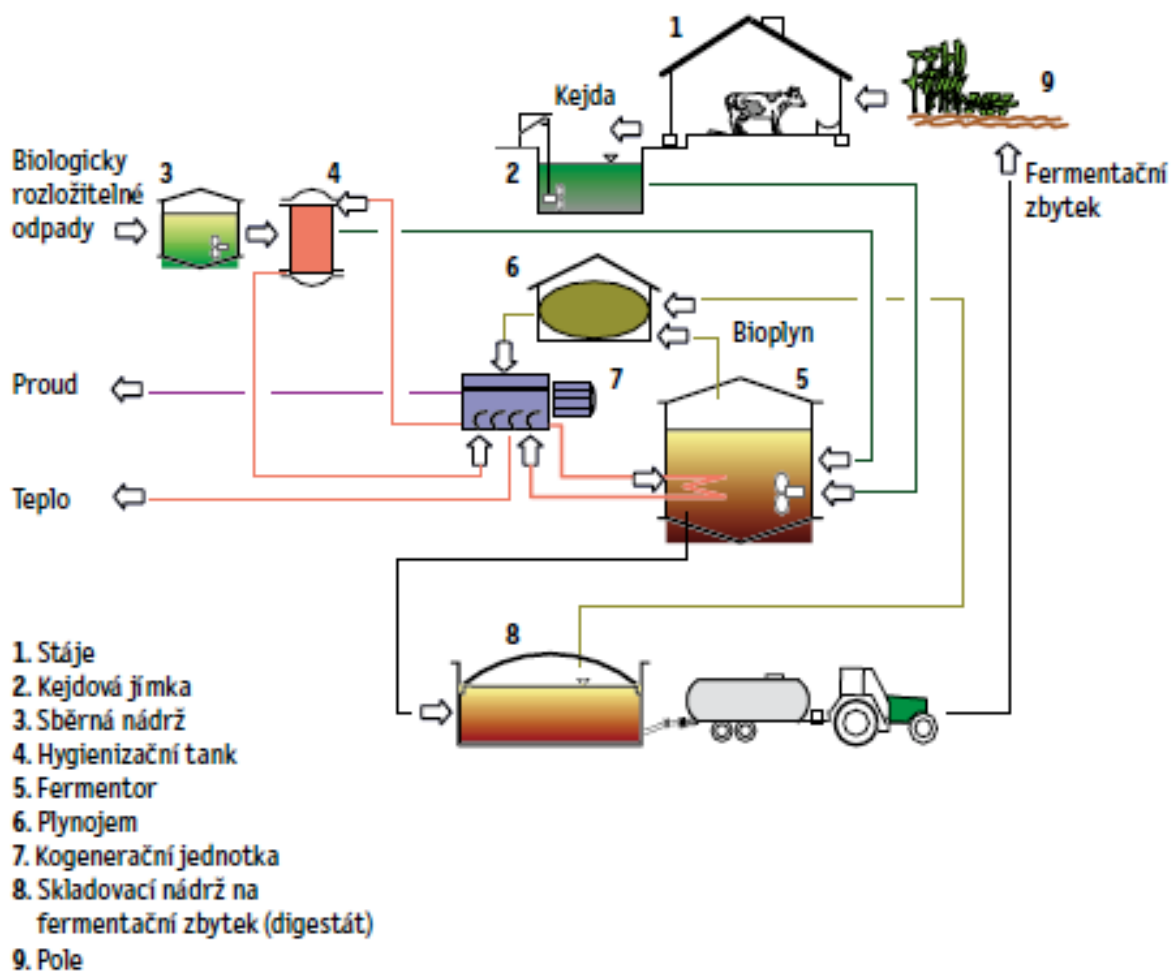


## 2 Technologie pro produkci a využití bioplynu

Technologie bioplynové stanice podléhá mnoha schvalovacím procesům, které vycházejí jak z evropské, tak české legislativy. Vzhledem k možnému vlivu na životní prostředí, je nutné podrobně zkoumat i možný vliv stavby bioplynové stanice (dále také BPS) na její okolí. Tímto se podrobně zabývá projektová dokumentace stavby, ve které jsou zhodnoceny a podrobně rozebrány veškeré činnosti, jež mohou mít na životní prostředí dopad. Jedná se např. o manipulaci se vstupní surovinou (materiálem), uskladněním vstupního substrátu i omezení případné kontaminace okolí (do vod, pachových látek apod.) dále postupy nakládání s fermentačním zbytkem. Projektová dokumentace také popisuje veškeré použité technologie – typy reaktorů, druhy substrátu, které do technologie vstupují, provozní podmínky (doba zdržení v reaktoru, teplota, dávkování vstupních surovin, nakládání s fermentačním zbytkem).

**Pro umístění BPS je vhodné přihlédnout [7, s. 7]:**

- K možné pachové zátěži okolí (únik pachových látek) – umístění v závětrné straně od okolní zástavby.
- Rozptylovým podmínkám.
- Dopravní obsluze, která přepravuje jak vstupní, tak zpracované materiály (fermentační zbytky) bioplynové stanice.



Obrázek 2.1: Schéma stanice na výrobu bioplynu [14, s 42]

## 2.1 Typy bioplynových stanic

Bioplynové stanice lze rozdělit do tří skupin, z hlediska substrátu (vstupních surovin), ze kterých vzniká výsledný produkt (metan), a to na zemědělské, čistírenské a ostatní [7, s. 7].

Biomasa (vstupní surovina), která je pro výrobu bioplynu užívána se dělí na dvě skupiny, a to na energetické plodiny (záměrně pěstované rostliny) a odpadní biomasu (např. odpad ze zemědělské výroby – kejda, hnůj) [9, s. 18].

### 2.1.1 Zemědělská BPS

Dalším vhodným místem pro umístění bioplynové stanice jsou zemědělské areály, kde je zajištěna celoroční dodávka zpracovávaného materiálu. I zemědělské bioodpady je vhodné

zpracovávat společně s komunálními či průmyslovými bioodpady [13]. Charakteristikou zemědělské BPS je zpracování rostlinného a statkového materiálu. Tyto bioplynové stanice jsou umístovány zejména v místech zemědělské výroby (statky, zemědělská družstva), kde dochází k přirozené produkci vstupních surovin. Jde o tři skupiny materiálu, který tato BPS může zpracovávat, a to [7, s. 7]:

➤ Živočišné materiály [7, s. 8]

- „kejda prasat ( výtěžnost plynu 20-35 m<sup>3</sup>/t )
- hnůj prasat se stelivem ( 55-65 m<sup>3</sup>/t )
- kejda skotu ( 20-30 m<sup>3</sup>/t )
- hnůj skotu se stelivem ( 40-50 m<sup>3</sup>/t )
- hnůj a stelivo z chovu koní, koz, králíků
- drůbeží exkrementy, vč. steliva ( 70-90 m<sup>3</sup>/t )“

➤ Rostlinné materiály [7, s. 8]

- „sláma všech typů obilovin i olejnin ( 290 m<sup>3</sup>/t )
- plevy a odpad z čištění obilovin
- bramborová nat' i slupky z brambor
- řepná nat' z krmné i cukrové řepy
- kukuřičná sláma i jádro kukuřice ( 185 m<sup>3</sup>/t )
- travní biomasa nebo seno (senáže) ( 180 m<sup>3</sup>/t )
- nezkrmitelné rostlinné materiály (siláže, obiloviny, kukuřice) ( 184 m<sup>3</sup>/t )“

➤ Pěstovaná biomasa [7, s. 8]

- „obiloviny v mléčné zralosti (celé rostliny) čerstvé i silážované
- kukuřice ve voskové zralosti (celé rostliny) čerstvá i silážovaná

- *kukuřice vyzrálá (celé rostliny) čerstvá i silážovaná*
- *krmná kapusta (celé rostliny) čerstvá i silážovaná*
- *„prutová“ biomasa (štěpky anebo řezanka z listnatých dřevin z rychloobrátkových kultur anebo z průklestů)“*

Provoz zemědělské bioplynové stanice je nezávisle na způsobu provozování rozdělen do čtyř fází, které jsou na sobě více či méně závislé. Nejtěsnější vztah je mezi fází čtyři a dva, kdy poslední fáze poskytuje do druhé potřebné teplo. Tyto fáze jsou následující [14, s. 40-41].

1. *„Navážení, uskladnění, úprava (předzpracování), transport a dávkování substrátů.*
2. *Výroba bioplynu.*
3. *Uskladňování fermentačních zbytků a eventuelní předúprava a vyčistění (vynášení).*
4. *Jímání, úprava a zhodnocování bioplynu.“*

### **2.1.2 Čistírenská BPS**

Je bioplynová stanice, která je nedílnou součástí čistírny odpadních vod a také se v ní zpracovávají jen kaly pocházející z čistírny. U tohoto typu bioplynové stanice není požadován zásobník na vyhníly kal, neboť již v samotném provozním řádu čistírny odpadních vod musí být vždy nakládání s kaly zapracováno (aktivovaným či stabilizovaným kalem) [7, s. 8].

*„Technologie anaerobní digesce je využívána za účelem anaerobní stabilizace kalu vznikajícího na čistírnách odpadních vod. Tyto technologie nejsou určeny ke zpracování bioodpadů a k nakládání s odpady, ale slouží pouze jako součást kalového hospodářství ČOV jako celku. Do tohoto zařízení nevstupují jiné materiály než kaly z ČOV, žump a septiků a odpadní voda. V případě, že jsou do těchto nádrží na anaerobní vyhnívání přidávány jiné odpady podle zákona o odpadech, jedná se o ostatní bioplynovou stanici. Na dané zařízení se pak vztahují všechny požadavky zákona o odpadech a jeho prováděcích předpisů [7, s. 8].“*

### 2.1.3 Ostatní BPS

Tyto bioplynové stanice mohou zpracovávat materiály, jako jsou např. odpady z prvovýroby zemědělství, zahrad, komunální odpad, odpad z výroby mléka apod. V případě, že bioplynová stanice zpracovává odpad, který je označen jako vedlejší živočišný produkt (VŽP), je nutné celý technologický systém doplnit o hygienizační (pasterizační) technologie [7, s. 8].

Zařízení zpracovávající tento materiál musí [7, s. 8-9]:

1. *„být vybaveno pasterizačně/sanitační jednotkou, která zajistí hygienizaci vedlejších živočišných produktů. Tato jednotka není nutná, pokud budou tyto materiály podrobeny tepelnému zpracování při teplotě nejméně 133 °C po dobu nejméně 20 minut bez přerušení, při absolutním tlaku nejméně 3 bary, přičemž velikost částic nesmí být větší než 50 milimetrů (platí pro kategorii 2),*
2. *zajistit tepelné zpracování při teplotě 70 °C pro dobu 1 hod., přičemž velikost částic nesmí být větší než 12 mm (v případě kategorie 3),*
3. *být vybaveno prostorem k čištění a desinfekci dopravních prostředků, kontejnerů a přepravních nádob před výjezdem dopravních prostředků ze zařízení,*
4. *kontrolovat parametry technologického procesu a sledovat předepsané ukazatele výstupů buď laboratoří vlastní, nebo jinou.“*

## 2.2 Dimenzování bioplynové stanice

*„Hlavními složkami vystupujícími v energetické bilanci jsou vyrobená elektrina a teplo. Část vyrobené elektřiny se využije k vlastní spotřebě bioplynové stanice. Jedná se hlavně o pohony míchadel, čerpadel a dávkovačů substrátu. Z vyrobeného tepla se část využije pro ohřev substrátu ve fermentoru a zbytek tepla pro vytápění technického zázemí BPS a správní budovy. Tato hodnota bude uvažována 60%. Pokud chce provozovatel BPS získávat tzv. Zelené bonusy, musí udat určité množství tepla nad rámec vlastní spotřeby BPS. Ostatní teplo bude uvažováno jako odpadní, tj. nebude dále využito [12].“*

Dimenzování stavby bioplynové stanice a stanovení její kapacity je hlavním úkolem projektové dokumentace. Jde o postup, který je mnohdy časově náročný a není možné

předem přesně určit, kolikrát bude nutné vstupní údaje upravit specifickým podmínkám, za kterých bude nové bioplynové stanice schopny bezproblémového provozu. Dle Schulze jde zejména o šest po sobě jdoucích kroků, které je nutné někdy opakovat [8, s. 97]. Jedná se o: „získávání substrátu a výpočet objemu fermentoru, zjištění obsahu sušiny a organické sušiny, výpočet denní produkce plynu, objem jímky na kejdu, objem plynojemu a stanovení výkonu blokové teplárny,„ [8, s. 97-98].

### 2.2.1 Výroba a kvalita plynu

Výrobu plynu ovlivňuje několik veličin [7]:

- Plynový výkon – množství plynu běžně vznikající v bioplynové stanici, tzn. plynový výkon, se většinou udává denním objemem vyrobeného plynu připadajícím na 1 m<sup>3</sup> vyhnívací nádrže nebo jednu dobytčí jednotku (DJ). Nejčastěji se pohybuje v rozmezí 0,56 až 1,33 m<sup>3</sup>/DJ. den při průměru 0,96 m<sup>3</sup>/DJ.den.
- Výnos plynu – celkové množství plynu získané ze substrátu během doby kontaktu (výnos plynu) lze rovněž vztáhnout na jednotku objemu vyhnívací nádrže, dobytčí jednotku nebo 1 m<sup>3</sup> čerstvé kejdy. Jelikož však zde musí být zohledněn rozdíl v obsahu vody, je vhodnější udávat množství získané z 1 kg os (= organické sušiny). Měření v praktickém provozu ukázala kolísání výnosu plynu mezi 0,17 až 0,64 m<sup>3</sup> plynu/kg os při průměru 0,33 m<sup>3</sup>/kg os. Na výnos plynu má kromě složení živin v substrátu vliv především stupeň rozkladu.
- Stupeň rozkladu – stupeň rozkladu udává, kolik procent organické sušiny bylo rozloženo během doby kontaktu. Úplný rozklad až na úroveň mineralizace je teoreticky možný jen tehdy, když substrát neobsahuje lignin, neboť metanové bakterie nejsou schopny ho rozkládat. V praxi by úplný rozklad vyžadoval velmi dlouhou dobu kontaktu, poslední procenta možného celkového výnosu plynu by bylo možno získat jen s vynaložením velkých materiálových i finančních nákladů. Skutečnost, že se neusiluje o úplný rozklad, má ještě jeden důvod: v půdě totiž musí zůstat organická hmota pro tvorbu humusu, ta vzniká především z ligninu a celulózy, což jsou látky, které metanové bakterie neumějí rozložit, nebo jen stěží. Střední hodnota rozkladu je 43,5%.

- Doba kontaktu – doba kontaktu substrátu ve fermentoru má v souvislosti s teplotou vyhnívacího procesu velký vliv na stupeň rozkladu, plynový výkon a výnos plynu. Krátké doby kontaktu přinášejí vysoký plynový výkon, neboť dochází především k rozkladu snadno rozložitelných živin, ty jsou však na druhé straně spojeny s nízkým výnosem plynu. Při dlouhých dobách kontaktu klesá plynový výkon, zatímco výnos plynu a stupeň rozkladu se zvyšují. Doba kontaktu se vypočítá tak, že objem nádrže se dělí denně dodávaným množstvím substrátu. Průměrná doba kontaktu je 51 dní.
- Čistý (netto) výnos plynu – tímto označujeme množství plynu, které zůstane z hrubého výnosu pro použití po odečtení energie potřebné pro podporu procesu. U dobrých, moderních stanic činí čistý výnos 65 až 70 % hrubého výnosu, za předpokladu stoprocentního zužitkování plynu během celého roku. Aby spotřeba energie pro podporu procesu byla co nejnižší, je nutné dosáhnout co největšího podílu sušiny v substrátu.
- Složení a kvalita bioplynu – kvalita bioplynu je určována především poměrem hořlavého metanu ( $\text{CH}_4$ ) k „neužitečnému“ oxidu uhličitému ( $\text{CO}_2$ ). Oxid uhličitý zředí bioplyn a zapříčiňuje vznik nákladů, především při skladování plynu. Proto je nutné usilovat o co nejvyšší obsah metanu a co nejmenší obsah oxidu uhličitého. Jako obvykle dosažitelný obsah metanu literatura uvádí 50 až 75 %. Po metanu a oxidu uhličitém je nejdůležitější součástí plynu sirovodík ( $\text{H}_2\text{S}$ ). Tato látka je velmi agresivní a způsobuje korozi, což vyvolává problémy především na armaturách, plynoměrech, hořácích a motorech. Proto je zpravidla nutné bioplyn odsířit. Podle obsahu bílkovin může obsah sirovodíku ležet mezi 0 až 1 %, vyšší koncentrace brzdí proces vyhnívání, neboť sirovodík je vysoce jedovatý. V bioplynu se dále nachází stopové množství amoniaku ( $\text{NH}_3$ ), molekulárního dusíku, vodíku a kyslíku – jejich podíl činí celkem 6 až 8 %. Čerstvý plyn z BPS je nasycen vodní párou. Je možné, že vodní pára obsahuje stopová množství dosud málo probádaných látek, které mohou způsobovat problémy při spalování bioplynu v kotlích a motorech. Byl zaznamenán případ, kdy na bioplynovém zařízení vznikalo množství bílých, lehounkých vloček, které ve spalovacím prostoru kotle vytvářely silné vrstvy. Tato látka byla později identifikována jako oxid křemíku.

Vysoušení bioplynu kondenzací vodní páry je proto důležitým opatřením při úpravě plynu.

### **2.2.2 Druh a složení substrátu**

V zásadě lze všechny organické látky alespoň zčásti rozložit jak anaerobní, tak aerobní cestou. Principiálně však platí: pevné, členité materiály jako klestí z ořezu stromů a keřů jsou zvláště vhodné pro aerobní zpracování, tzn. pro zkompostování, zatímco kapalný, mokrý materiál jako kejda, zbytky jídla, tuky atd. se výborně hodí pro anaerobní zpracování, to znamená pro zkvašení (fermentaci).

Rozhodujícím faktorem pro volbu vhodné metody (zkvašení nebo zkompostování) je především obsah sušiny v materiálu. Zhruba lze říci, že pro bioplynovou technologii je optimální obsah sušiny mezi 5 až 15 %. Při obsahu organické sušiny menším než 5 % by proces sice ještě probíhal, avšak zařízením by bylo nutno bez užítku prohánět velké množství vody, což by bylo nevhodné. 15 % organické sušiny je horní přípustná hodnota, při níž lze substrát ještě čerpat, mísit a promíchávat. Naproti tomu pro kompostování leží optimální obsah sušiny mezi 40 až 60 %.

Dále je důležitý poměr uhlíku a dusíku (poměr C : N), který by měl činit 20 : 1 až 40 : 1. V zásadě mají odpady pocházející ze zemědělského chovu zvířat optimální předpoklady jak pro anaerobní, tak pro aerobní zpracování, neboť vykazují vyrovnanou skladbu živin.

Výroba bioplynu v zemědělství užívá jako substrát nejčastěji kejdu a hnůj. Složení kejdy a hnoje je závislé především na druhu zvířat, jejich využití, způsobu ustájení a úrovni výkonu, dalšími faktory jsou typ krmení, ztráty způsobené odpařováním čpavku a vody, přítomnost podestýlky, srážkové vody a čistících vod. Každému zemědělci, který plánuje zřízení BPS, je doporučováno, aby si nechal udělat co nejpřesnější rozbor svého materiálu, především na obsah organické sušiny. V zásadě můžeme konstatovat, že prasečí kejda má nízký obsah sušiny, hovězí kejda střední a slepičí trus vysoký obsah sušiny. Pro výnos bioplynu je důležitý obsah organické sušiny, který je u slepičího trusu v průměru vyšší než u hovězí a prasečí kejdy (viz tabulky)



substrát	výnos plynu		obsah metanu
	[m <sup>3</sup> /t substrátu]	[m <sup>3</sup> /t org. sušiny]	[objem. %]
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 kuřat a slepic	70–90	250–450	60

Tabulka 2.1: Výtěžek plynu a obsah metanu ze statkových hnojiv [14, s 100]

### 2.2.3 Získávání substrátu a výpočet objemu fermentoru

Pro získávání substrátu a následný výpočet objemu fermentační nádrže je hlavním hlediskem množství vstupního materiálu, jež bude v celé bioplynové stanici zpracováváno. Jednotlivé vstupní substráty je nutné započítávat samostatně, neboť výtěžnost plynu z odlišných materiálů se různí. Záleží také na způsobu chovu zvířat, od nichž je vstupní materiál získáván i na druhu chovaných zvířat. Obecně lze konstatovat, že veškeré druhy chovaných zvířat jsou přepočítány na produkci plynoucí z dobytčí jednotky, následně dojde k propočtu na celkové množství vyprodukovaných odpadů, vynásobením doby zadržení ve fermentoru při nejčastěji používané teplotě anaerobní fermentace [8, s. 97].

*„Při provozu BPS stojí v popředí zájmu ekonomické úvahy. Při volbě velikosti nádrže biofermentoru není bezpodmínečně usilováno o maximální výtěžek plynu, popřípadě o úplný rozklad organické hmoty, obsažené v substrátu. Chtěl-li by někdo realizovat rozklad všech obsažených organických látek, musel by počítat s velmi dlouhým časem pobytu substrátu v biofermentoru, s čímž je spojená i velikost nádrže. Musí být usilováno o dosažení optima mezi mírou rozkladu a ekonomickými aspekty. V tomto ohledu je zatížení prostoru důležitým provozním parametrem. Udává se, kolik kg organické sušiny (oTS) může být přiváženo k biofermentoru na jednotku objemu a času [14, s. 19].“*

### 2.2.4 Zjištění obsahu sušiny a organické sušiny

Pro stanovení množství bioplynu, které lze ze vstupního materiálu získat je nutné také stanovit obsah sušiny a organické sušiny, který se ve fermentovaném materiálu nachází. Z tohoto množství pak lze spočítat i množství bioplynu, které lze fermentací získat [8, s. 97].

### **2.2.5 Objem jímky na kejdu**

Prostor, jenž je určen pro skladování kejdy musí zajistit bezpečné uskladnění vstupního materiálu, bez možnosti kontaminace okolního prostředí. Velikost je dána množstvím produkce odpadů z chovu zvířat. Celý skladovací prostor by měl být dostatečně prostorný a měl by umožnit anaerobní skladování vstupních surovin, zejména je při tomto způsobu skladování třeba zabránit odplavení dusičnanů, jež jsou významným zdrojem vzniku bioplynu [8, s. 98].

### **2.2.6 Objem plynojemu**

Plynojem se u většiny bioplynových stanic používá pouze jako dočasný zásobník pro vyrobený plyn. Později je přeměněn na elektrickou energii a nebývá velkých rozměrů. Obvykle je využíván jen velmi malý vak o celkovém objemu od 50 do 150 m<sup>3</sup> [8, s. 98].

### **2.2.7 Stanovení výkonu blokové teplárny**

Pro stanovení výkonu blokové teplárny je nutné přizpůsobit její výkon množství vyrobeného bioplynu. Výkon je zapotřebí stanovit v plném rozsahu, aby motor pracoval plně vytížen a ne na částečný a tím i nepříznivý výkon. Výroba bioplynu je tak buď plynulá v malém objemu a agregát, který plyn zpracovává tak pracuje nepřetržitě celý den, nebo dochází k zapojení dvou kogeneračních jednotek, kdy první jednotka pracuje nepřetržitě a druhá jednotka je zapojena pouze v případech nadbytku produkce bioplynu. Tomuto je však také nutné přizpůsobit i velikost (objem) plynojemu [8, s. 98].

### **2.2.8 Látky ovlivňující fermentaci**

Nazýváme tzv. tlumící látky a pokud jejich množství přesáhne určitou hodnotu (viz. tabulka) mohou fermentační proces zcela zastavit. Mezi tyto látky se řadí také antibiotika, herbicidy, čisticí prostředky, rozpouštědla, soli nebo těžké kovy, jež jsou schopny proces výroby bioplynu zcela zastavit i pokud se ve fermentoru nachází v nepatrných množstvích.

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

**Tabulka 2.2: Látky omezující fermentaci a jejich škodlivé koncentrace [14, s 18]**

### **2.3 Technologické součásti bioplynové stanice**

Technologické části bioplynové stanice jsou proměnné, neboť záleží na druhu, množství a způsobu zpracování vstupních surovin, ale také na zpracování a nakládání se zbytky (odpady), plynoucí z výroby bioplynu.

Obecně lze konstatovat, že hlavní části BPS jsou však neměnné. Zemědělské bioplynové stanice se sestávají z homogenizační jímky, fermentoru, uskladňovací nádrže, plynojemu, kogenerační jednotky, havarijního hořáku [8, s. 95]. Technologie, které jsou užívány na výrobu bioplynu lze rozdělit dle **způsobu dávkování** vstupních surovin, a to následovně [10, s. 11]:

„**Diskontinuální** - s přerušovaným provozem, cyklické, dávkové a podobně, kdy doba jednoho pracovního cyklu je shodná s dobou zdržení ve fermentoru. Tento na obsluhu náročný způsob se používá především k suché fermentaci tuhých materiálů organického původu [10, s. 11].

„Při diskontinuálním dávkování je biofermentor kompletně zaplněn čerstvým substrátem a vzduchotěsně uzavřen. Substrát zůstane v nádrži až do konce zvolené doby prodlevy, aniž by se přidával či dodával. Po uplynutí doby prodlevy je biofermentor vyprázděn a naplněn čerstvým substrátem, přičemž část odpadlého materiálu může zůstat v nádrži jako inokulum další šarže. Při diskontinuálním dávkování produkce plynu pomalu stoupá a po dosažení maxima zase ubývá. Není tak dána konstantní produkce a kvalita plynu. Doba prodlevy může být regulována velikostí nádrže [14, s. 31].“

**Semikontinuální** - kdy je doba mezi jednotlivými dávkami kratší než doba zdržení materiálu ve fermentoru. Tento způsob plnění patří k nejvíce používaným při zpracovávání tekutých materiálů organického původu. Výhodou tohoto postupu je možnost snadné automatizace technologického procesu.

**Kontinuální** - se používá při plnění fermentorů, které zpracovávají organický materiál s velmi malým obsahem sušiny. “

Dle skupenství a složení materiálu (obsahu vody), který je v bioplynové stanici zpracováván, lze rozlišit technologie bioplynové stanice následovně [9, s. 146-151]:

- Zpracování tuhých materiálů, kde podíl sušiny činí 18-30%.
- Zpracování tekutých materiálů, kde podíl sušiny činí 0,5-3% (při záporné energetické bilanci), nebo 3-14% (při kladné energetické bilanci).
- Zpracování kombinované.

### 2.3.1 Uskladňovací nádrž

Uskladňovací nádrž slouží ke skladování navezeného materiálu před homogenizací a fermentačním procesem. Její kapacita je dána množstvím materiálu, který vstupuje do fermentačního procesu.

Kapacita, kubatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Závislost na původu substrátu, výkonnosti fermentoru, vyrovnanosti dodávek, plochách a výnosech přídatných substrátů, dodavatelských smlouvách dalších materiálů</li> <li>– Provozní potíže musí být možno rychle odstranit</li> </ul>
Zvláštnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>– U narůstajících surovin pěstovaných na pozemcích, které jsou „v klidu“ je třeba provést denaturalizaci</li> <li>– Je třeba zabránit promrzání siláže technickými prostředky (tepelná izolace, umístění silážních boxů pod střechou, nebo pod úrovní terénu</li> <li>– Nepřipustit fermentační procesy, které neprodukují bioplyn</li> <li>– Zabránit smíchávání hygienicky závadných substrátů s nezávadnými Stavebními a jinými opatřeními zamezit šíření zápachu</li> </ul>
Konstrukční formy	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Běžné sklady objemných hmot v zemědělství, průjezdná sila, pro kapaliny nádrže</li> <li>– Předjímký mohou být využity pro krátkodobé, nejvýše tří denní předskladnění</li> </ul>
Náklady	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Běžně se využívají levné stávající sklady (např. žlaby), u nových staveb je nutno počítat i s náklady na vybudování potřebných skladů</li> </ul>

Tabulka 2.3:“Skladování substrátu před fermentací [14, s. 45].“

### 2.3.2 Homogenizační jímka

Prostor homogenizační jímky sloučí pro přípravu vstupních surovin. Dle skupenství a množství jednotlivých složek je v homogenizační jímce materiál smísen, naředěn či zahuštěn – homogenizován pro vstup do fermentoru. Homogenizační jímka je vybavena centrálním míchadlem, které se z největší části na homogenizaci materiálů podílí. Homogenizační jímka bývá také temperována výměníkem tepla a také zajištěna v uzavřeném prostoru, pro minimalizování možné prašnosti a úniku pachů do okolního prostředí [11].

### 2.3.3 Fermentor

*„Reaktor je nejdůležitější součástí strojních linek, která rozhoduje o kvalitní funkci celé strojní linky. Většina bioplynových stanic má reaktor válcový, betonový, kovový nebo plastový s osou svislou nebo vodorovnou. Řízený metanogenní proces znamená, že reaktor je vybaven míchacím zařízením, ohřevem, homogenizačním zařízením a dávkovacím zařízením [12].“*

Fermentory lze rozdělit dle jejich tvaru, a to následovně [10, s. 12]:

- laguna,
- pravoúhlé fermentory,
- válcové fermentory,
- kulové fermentory.

*„Nejjednodušším zařízením je laguna následovaná zakrytým zásobníkem na tekutý materiál. Nejvíce se v současné době používá válcový reaktor s tvarem komolého kužele ve spodní nebo i horní části. Kulovité reaktory se používají sporadicky [10, s. 12].“*

Fermentory lze dále rozdělit dle konstrukce na horizontální a vertikální [14, s. 68]. Horizontální fermentory jsou obvykle dopraveny na místo provozu již sestavené, oproti vertikálním, které jsou stavěny přímo na místě provozu bioplynové stanice [14, s. 68, 71].

Horizontální fermentory jsou obvykle menší, mají cylindrický tvar a bývají provozovány v paralelním zapojení. Jejich využití je možné například pro předfermentaci pro větší následné vertikální fermentory [14, s. 68].

Charakteristické znaky	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Materiál: Výhradně konstrukční nebo nerezová ocel, možný i železo-beton</li> <li>– Objem: možnost až do 800 m<sup>3</sup></li> </ul>
Vhodnost, určení	– Všechny druhy substrátů podle přizpůsobení technickým agregátům (lopatkových, posunovacích míchadel)
Přednosti	– Umožňují použití výkonných „pádlových“ míchacích zařízení
Nedostatky	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Náročnost na stavební místo pro „ležatý“ fermentor</li> <li>– Velké ztráty tepla v důsledku relat. velkého povrchu fermentoru</li> <li>– Chybí spontánní očkování čerstvého (zeleného) substrátu.</li> <li>– Ten je nezbytné očkovat fugátem mimo fermentor</li> </ul>
Zvláštnosti	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Otvory pro připojení agregátů a potrubí jsou samozřejmým předpokladem</li> <li>– Pro bezpečnost Musí být nainstalován přetlakový plynový ventil</li> </ul>
Konstrukční formy	– Fermentory s nuceným posunem substrátu mají válcový nebo hranolový tvar
Údržba	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Fermentor musí být opatřen nejméně jedním „průlezovým“ otvorem pro přístup v případě havárie</li> <li>– Bezpečnostní předpisy je nutno při práci ve fermentoru dodržovat</li> </ul>

Tabulka 2.4: „Údaje a provozní parametry horizontálních fermentorů [14, s. 69].

Konstrukce fermentační nádrže je ocelová, železobetonová či z nerezoceli.

**Železobeton** je používán na konstrukci dna, stěn i stropu fermentační nádrže. Při použití železobetonu je značné riziko porušení fermentoru trhlinami, při nesprávném technologickém postupu při výstavbě nádrže. Rizikový je zejména strop nádrže, od určité velikosti je třeba použít stropní podpěru [14, s. 72-73].

Nádrže z **oceli a nerezoceli** jsou stavěny na základ tvořený z betonové vrstvy. Při stavbě ocelových fermentorů se využívá plechových pásů či svařovaných (sešroubovaných) ocelových desek. Obvykle je střešní část využívána pro zásobník vzniklého plynu a bývá zakryta plynotěsnou folií [14, s. 73].

**Tepelná izolace** fermentoru je pro konstrukci nezbytná, zejména pro zajištění maximální výtěžnosti, plynulosti produkce bioplynu a zabránění tepelným ztrátám. Pro izolaci jsou využívány následující materiály [14, s. 73]:

- Minerální vlna.
- Rohože z minerálního vlákna.
- Extrudovaná pěna.
- Rohože z tvrzené pěny.
- Polystyrén.

Pro plynulý provoz fermentačního procesu je nezbytné ve fermentační nádrži instalovat i **míchací zařízení**. Samotné mísení materiálu při dávkování vstupního substrátu není dostačující. Proto jsou nejčastěji instalována mísící zařízení, která mechanicky promísí fermentovaný materiál. *„Míchadla jsou poháněná kontinuálně nebo intervalovým provozem. V praxi se ukázalo, že míchací intervaly musejí být empiricky optimalizovány podle specifických vlastností každé bioplynové stanice, jako jsou vlastnosti substrátu, velikosti nádrží, sklon ke tvoření plovoucích vrstev atd. Poté, co byla bioplynová stanice uvedena do provozu, je promíchávání z důvodů bezpečnosti delší a častější. Získané zkušenosti jsou pak použity k optimalizování trvání a četnosti intervalů, tak jakož i k nastavení míchadel. Používány mohou být různé typy míchacích systémů [14, s. 76-85].“*

#### 2.3.4 Plynojem

Hlavní funkcí plynojemu je akumulace vyrobeného plynu, případně vyrovnání/ regulace tlaku [14, s. 88].

Plynojemy jsou instalovány samostatně, či integrovaně. Nejčastěji používané jsou nízkotlaké plynojemy *„s přetlakovým rozsahem od 0,05 až do 0,5 milibarů. Nízkotlaké zásobníky se skládají z fólií, které musejí být přizpůsobené bezpečnostním požadavkům. Fóliové zásobníky jsou obvykle instalovány na fermentoru.“* Vysokotlaké a střednětlaké plynojemy *„uskladňují do zásoby bioplyn při provozním tlaku mezi 5 a 250 barů v nádržích z odolné oceli. Ty jsou velmi provozně nákladné. U tlakových zásobníků provozovaných při tlaku 20 barů musí být počítáno se spotřebou energie 0,22 kWh/ml*



a u vysokotlakých zásobníků s 200–300 bary s cirká 0,31 kWh/ ml. Proto k jejich používání u zemědělských bioplynových stanic prakticky nedochází“ [14, s. 89].

### 2.3.5 Kogenerační jednotka

Je jednotka, díky níž dochází k přeměně vyrobeného bioplynu na energii elektrickou a tepelnou. Skládá se ze spalovacího motoru a elektrického generátoru [12].

*„Kogenerací se rozumí současná výroba síly (mechanické energie, dále většinou převáděná na elektrickou energii) a tepla. Nejčastěji jsou k tomu účelu využívány kogenerační jednotky (KJ) s pístovými spalovacími motory, které jsou spojeny s generátorem. Tyto motory běží s konstantními otáčkami (obvykle u větších jednotek cca 1500 otáček/min). K pohonu generátoru, popříp. k produkci elektrického proudu, mohou být alternativně použity i spalovací plynové turbíny, Stirlingovy motory nebo palivové články. Jejich rozšíření je ovšem minimální. Vzhledem k tomu, že nejčastěji jsou využívány kogenerační jednotky s pístovými motory, je jim věnován největší prostor [14, s. 125-126].*

### 2.3.6 Havarijní hořák

Havarijní hořák je koncovou částí bioplynové stanice, která zabrání negativním důsledkům v případě mimořádné události, která může při produkci bioplynu nastat. Havarijní hořák je součástí provozu BPS, pro případ výpadku kogenerační jednotky, či jiné poruchy technologie. Toto zařízení spaluje přebytky vznikého plynu, který kontinuálně při anaerobní fermentaci vzniká. V současnosti je možnost havarijní hořáky dodat až na pokyn provozovatele, kdy smluvní firma musí havarijné hořák dopravit na místo do 24 hodin [12, 14, s. 90].

Charakteristické znaky	– jsou možné objemové proudy až do 1000m <sup>3</sup> – spalovací teplota 800–1000 °C – materiál: ocel nebo nerezocel
Vhodnost	– pro všechny bioplynové stanice
Zvláštnosti	– je možný s otevřeným nebo zakrytým spalováním – je °preveden s přirozeným tahem nebo s dmýchadlem – je třeba dbát bezpečnostních pokynů, zejména odstupových vzdáleností od další budovy
Technické provedení	– agregát na vlastním betonovém základu

Tabulka 2.5: „Charakteristické znaky havarijních hořáků [14, s. 90].“

### 3 Výhody produkce bioplynu

Hlavní výhodou produkce bioplynu z materiálů dostupných ze zemědělských zdrojů je energetické využití jinak nevyužitelného odpadu. Pomocí anaerobní fermentace v biolynové stanici dochází k zužitkování odpadního materiálu, který je pro ostatní procesy málo využitelný, maximálně jako hnojivo. Anaerobní fermentací však vzniká jako vedlejší produkt digestát či fugát, který je pro hnojení také použitelný. Hlavní výhodou stále zůstává vznik energie z obnovitelných zdrojů. Tato výroba je celosvětově podporována, stejně jako v České republice. Dále dochází k odstranění negativního vlivu na životní prostředí, neboť je odpadní materiál zpracováván procesem anaerobní fermentace, jenž zajišťuje menší možnosti negativního vlivu na okolní prostředí. Tento proces je velmi často plně automatizovaný, a proto i velmi spolehlivý.

Hlavními výhodami zpracování materiálů, které pocházejí ze zemědělství, jsou následující [10, s. 3]:

- Vznik elektrické energie z obnovitelného zdroje.
- Využití odpadů a vznik lépe rozložitelných a méně závadných produktů, které je možné využít jako hnojivo (digestát, fugát).
- Řízený proces nakládání s materiály, jenž mohou negativně působit na okolní prostředí.

## 4 Nevýhody (komplikace) při výrobě bioplynu

Možná rizika, která jsou spojena s procesem anaerobní fermentace a využívání produktů (odpadů) ze zemědělské výroby (produkce) vyplývají zejména z procesu samotné fermentace. Nejrizikovějším faktorem bývá nesprávný technologický proces, který je v současnosti sice plně automatizován, ale řídí jej s určitými zásahy provozovatel zařízení. Při neodborném zásahu do fungujícího procesu pak mohou nastat nenadálé až havarijní události. Technologie stavby jako taková je v současnosti již na velmi vysoké úrovni, kdy stavební problémy nebývají prakticky považovány za žádné riziko.

Jako hlavní rizika a nevýhody uvádím následující faktory:

Neodborný zásah do procesu fermentace (špatné dávkování, nesprávné množství či skupenství vstupních surovin).

Nedodržení technologických postupů (délka zadržky materiálu ve fermentační nádrži).

Možné obtěžování zápachem (porucha na zařízení – krycí folii apod.).

Výpadek elektrické energie (při plně automatizovaném procesu je tato situace velmi riziková, neboť proces fermentace probíhá dál, stejně jako tvorba bioplynu, avšak není možné automatické odvětrání fermentační nádrže, či spálení přebytku plynu na havarijním hořáku).

## 5 Energetická bilance BPS

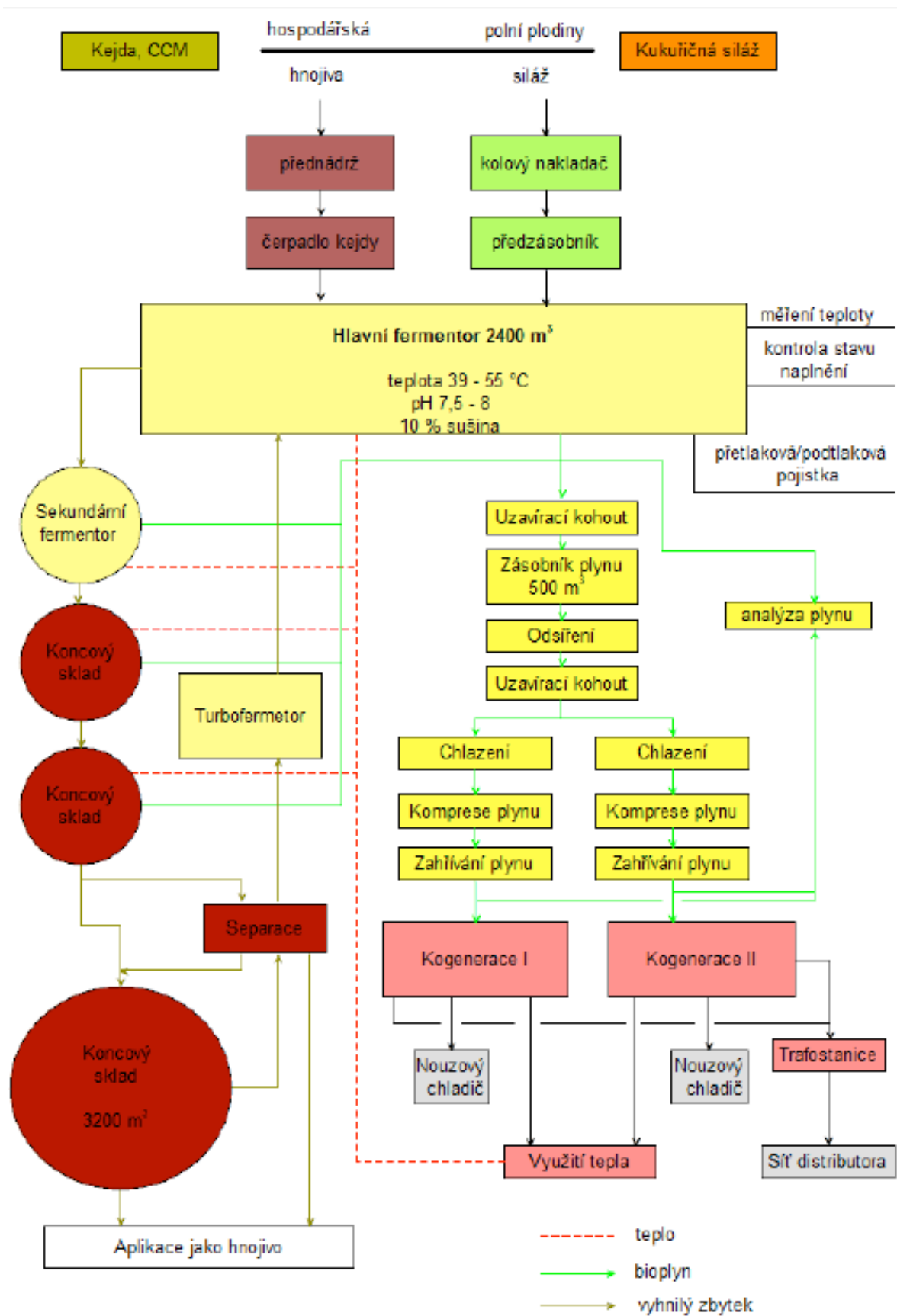
Energetickou bilancí bioplynové stanice se rozumí porovnání surovin vstupujících do procesu se získanou elektrickou a tepelnou energií na výstupu.

### 5.1 Popis vybrané bioplynové stanice

Pro svou práci jsem si vybral bioplynovou stanici nacházející se v obci Stonava na severovýchodě Moravy v areálu místního zemědělského podniku Farma Stonava. S myšlenkou výstavby bioplynové stanice u zdejší zemědělské farmy přišel její majitel Ing. Radek Koch již v roce 2006. Po návštěvě několika seminářů i již hotových bioplynových stanic jak v České republice, tak i za našimi západními hranicemi, proběhlo v roce 2007 stavební řízení a následná žádost o dotace z fondů EU. Ministerstvo zemědělství žádost schválilo a po přidělení dotace ve výši 25 500 000,- již nic nebránilo začátku výstavby. To proběhlo dne 28. března 2008 za přítomnosti zastupitelů města Stonava i místní televize Polar. Jako dodavatel technologie byla vybrána firma Gascontrol a.s. a stavební práce zajistila stavební divize samotné Farmy Stonava. Jedná se o čistě zemědělskou BPS, která ke svému provozu využívá převážně vepřovou kejdu, kukuřičnou siláž a drcené kukuřičné zrno. Tato farma byla v roce 2011 rozšířena a výkon byl zvýšen z původních 537 kW/h na aktuálních 1 381 kW/h. (obrázky BPS Stonava viz. Přílohy)

### 5.2 Technologie

Technologie BPS Stonava je nejlépe ukázána na obrázku níže. Veškerá kejda z prasečí farmy je díky chovu prasat na rošttech zachycena a dopravována potrubím do jímky na kejdu. Odtud pak čerpadlem do primárního fermentoru. Zároveň se u vstupu do fermentoru skladuje také kukuřičná siláž. Ta se do fermentoru dopravuje za pomoci kolového nakladače. Řízená fermentace poté probíhá asi 60-75 dní. Poté putuje částečně vyhnílý zbytek do sekundárního fermentoru a nakonec do koncových nádrží. Vzniklý bioplyn se z fermentorů a nádrží jímá do plynojemů. V nich dochází k odsiřování tzv. suchou metodou. Zároveň se měří hodnoty  $\text{CH}_4$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{CO}_2$  a  $\text{N}_2$ . Následuje ochlazení pod rosný bod tak, aby došlo k vysrážení vody. Poté je plyn stlačen, zahřát a přiveden do kogeneračních jednotek.



Obrázek 5.1. Schéma BPS Stonava [18]

Na výstupu z kogeneračních jednotek je využíváno produkované teplo a to veškeré v zimních měsících a asi 40% v letních měsících. Teplem se vytápí nejen fermentory a správní budova BPS, ale také nedaleký vepřín a správní budova Farmy Stonava. Jako jedna z možností dalšího využití tepla se jeví teplovod do nedaleké obce Stonava. Ovšem finanční náročnost této stavby znamená, že bez dotací z EU není jeho stavba pro provozovatele finančně výhodná.

Dalším výstupem je elektrická energie. Té se celkem vyprodukuje cca 1381 kW/h. Z tohoto množství je vlastní spotřeba BPS a přílehlého chovu prasat cca 145 kW/h v závislosti na ročním období a zbylých cca 1236 kW/h je po úpravě v trafostanici distribuována do sítě.

### **5.2.1 Fermentory**

Během rozšiřování stanice došlo v první řadě na změnu uspořádání fermentorů i jejich celkové kapacity. Bylo toho docíleno vybudováním jednoho zcela nového horizontálního fermentoru, který rozšířil původní 3 vertikální fermentory. Po dostavbě se původní uspořádání změnilo tak, že jeden z původních fermentorů byl změněn na sekundární a ze zbylých byly udělány koncové sklady.

Hlavní fermentor je průtokového typu složený ze dvou částí o rozměrech 32 x 15 x 6 metrů a jeho celkový objem tak činí 2400 m<sup>3</sup>. Původní fermentor, nyní používaný jako sekundární, má kapacitu 1746 m<sup>3</sup>. Přidáním objemu dvou starých fermentorů k původní koncové nádrži stoupl objem koncových nádrží na celkovou hodnotu 6500 m<sup>3</sup>.

K celkové kapacitě jistě patří ještě jímky na kejdu o celkovém objemu cca 1000 m<sup>3</sup>. Ty se nacházejí na nedaleké farmě a kejda je k fermentoru dopravována potrubím.

### **5.2.2 Plynojemy**

Tato BPS využívá tzv. membránový plynojem, který je vhodný pro svou flexibilitu, stavební i technickou nenáročnost. Díky tomu bylo možné jej umístit přímo do 1. patra budovy fermentoru. Tento plynojem má objem 1100 m<sup>3</sup> a kromě uskladnění plynu je využíván zároveň i k jeho odsíření. Dále jsou využívány dva sekundární plynojemy každý o kapacitě 500 m<sup>3</sup>, které jsou umístěny nad koncovými skaldy a jedná se taktéž o membránové typy.

### 5.2.3 Kogenerační jednotky

Farma Stonava využívá dvou kogeneračních jednotek různých výrobců. Jejich porovnání viz. tabulka. Uvedená spotřeba plynu platí pro cca 60 % obsahu metanu. Kogenerační jednotky pracují na plný výkon cca 8500 hodin ročně.

Výrobce a typ	Tedom Quanto D580	Jenbacher JMS 412
Příkon v palivu	1341 kW	2019 kW
Orientační spotřeba plynu	252 m <sup>3</sup> /h	396 m <sup>3</sup> /h
Elektrický výkon	537 kW	844 kW
Tepelný výkon	524 kW	789 kW
Elektrická účinnost	40 %	41,8 %
Tepelná účinnost	39,1%	42,4 %
Celková účinnost	79,1%	84,3 %

Tabulka 5.2.3: Kogenerační jednotky

### 5.2.4 Další technická zařízení

- Centrální stanice čerpadel – spolu se systémem Rotocut pro rozměňování tuhých částí se nachází v suterénu budovy hlavního fermentoru.
- Dávkočep pevného substrátu – jedná se o míchací kontejner o objemu 70 m<sup>3</sup>. Substrát je do něj dodáván pomocí dávkočepu a po smísení dopravován šnekovým zařízením do fermentoru.
- Chladicí jednotka a systém odvodu přebytečného tepla – chlazení slouží pro vysrážení přebytečné vody v bioplynu uskladněném v plynojemu. Systém odvodu tepla se skládá z jednoduchých větráků, které odvádí přebytečné teplo z prostoru, kde jsou umístěny kogenerační jednotky.
- Ostatní zařízení – zde patří například systém lopatkových míchadel substrátu umístěný ve fermentorech, čerpadla, navážení pevného substrátu, čerpadlo topení, regulátor točivého momentu motoru (MSR), kompresory atd.

### 5.3 Sumarizace vstupů

Fermentory zpracovávají prasečí kejdu, silážní šťávy a dále kukuřičnou siláž. Ty se mísí v dávkovači pevného substrátu a jsou v daném poměru dopravovány přímo do hlavního fermentoru asi 2 m pod úroveň hladiny.

Materiál	Množství	Sušina	Výtěžek CH <sub>4</sub>
Prasečí kejda	40 t/den	cca 5%	190-350 litrů CH <sub>4</sub> /kg sušiny
Kukuřičná siláž	57 t/den	cca 32%	370 litrů CH <sub>4</sub> /litrů sušiny

Tabulka 5.3.1: Vstupní suroviny

Vstupní materiály mají následující parametry.

Parametr	Množství
Výtěžnost metanu	0,445 m <sup>3</sup> /kg sušiny
Výtěžnost bioplynu	0,719 m <sup>3</sup> /kg sušiny
Celková sušina	21 t/den
Obsah organické sušiny na vstupu do fermentoru	19,5%

Tabulka 5.3.2: Parametry vstupních materiálů

Celková produkce bioplynu při uvedených hodnotách se pohybuje okolo 630 m<sup>3</sup>/hod. což ročně činí přibližně 5 500 000 m<sup>3</sup> plynu. Předpokládaná výhřevnost činí 19,3 MJ/m<sup>3</sup>. Obsah metanu v bioplynu se pohybuje kolem 62%.

### 5.4 Sumarizace výstupů

Do sumarizace výstupů jsem zahrnul všechny důležité prvky této BPS viz. tabulky níže.

První z nich ukazuje spotřebu elektrické energie na uvedených zařízeních nutných k provozu BPS.



<b>Součást</b>	<b>Výkon [kW]</b>	<b>Doba chodu [h/a]</b>	<b>Energetická potřeba [kWh/a]</b>
Míchadlo I	11	1320	14520
Míchadlo II	11	1320	14520
Míchadlo III	11	1320	14520
Čerpadlo subs.	6,5	1100	7150
Rotocut	7	1100	7700
Separátor	6	1100	6600
Navážení subs.	34	1450	49300
Čerpadlo topení	3	1850	5550
MSR	4	8500	34000
Vlastní spotřeba	11	8500	93500
Odsíření	0,6	8500	5100
Kompresor	2	200	400
Ostatní	-	-	5000
<b>Celkem</b>	<b>107,1</b>	<b>8500</b>	<b>257860</b>

**Tabulka 5.4.1: Spotřeba BPS**

Následující tabulka ukazuje teplotní bilance a celkové hospodaření s vygenerovaným teplem v areálu Farny Stonava. Spotřeba tepelné energie se významně liší v letních a zimních měsících. Fermentory jsou přehřívány na teplotu 40°C (mezofilní proces), nebo 55°C (termofilní proces). Dále výpočet zahrnuje teplo potřebné na ohřátí sušiny vstupující do procesu (uvažován ohřev z cca 10°C na 40-50°C). Sušina má uvažovanou měrnou tepelnou kapacitu 2093 J/kg·K a voda 4186 J/kg·K.

<b>Energie</b>		<b>Množství za hodinu [GJ/h]</b>	<b>Množství za rok provozu [GJ/rok]</b>	<b>%</b>
<b>Teplo</b>	Teor.	4,7	40178	100
	reálně	4,14	35190	86,7
	ztráty	0,58	4988	12,4
<b>Vytápění fermentorů</b>		0,71	6012	15
	<i>zima</i>	<i>1,26</i>	<i>5040</i>	-
	<i>léto</i>	<i>0,216</i>	<i>972</i>	-
<b>Využito v rámci farmy</b>		2,18	18579	46,6
	<i>zima</i>	<i>3,43</i>	<i>13714</i>	-
	<i>léto</i>	<i>1,08</i>	<i>4865</i>	-
<b>Ztráty</b>		1,25	10599	26

Tabulka 5.4.2: Výroba tepla

Tabulka celkové produkce elektrické energie a jejího dalšího využití.

<b>Energie</b>	<b>Množství [kW/h]</b>	<b>Celkem za rok</b>	<b>%</b>
Celková generovaná el. energie	1381	11,7 GWh	100
Vlastní spotřeba	145	1,2 GWh	10,5
Celkem na prodej	1236	10,5 GWh	89,5
Nákup pro vlastní spotřebu	-	250 kWh	-

Tabulka 5.4.3: Výroba elektrické energie

## 6 Závěr

Autor si dal za cíl čtenáře seznámit se základy produkce a využití bioplynu.

Úvodní rešerše čtenáři podává ucelený pohled na možnosti vzniku a využití bioplynu. Jedná se o velmi zajímavou oblast energetiky, která se v České republice v posledních několika letech velice dynamicky rozvíjí převážně v soukromé sféře. Zejména pro menší zemědělské podniky představuje vybudování BPS vítaný zdroj příjmu a tím zvyšuje jejich konkurenceschopnost v dnešním globalizovaném světě.

Následující energetická bilance byla zpracována za pomoci dat získaných z Farmy Stonava. Podrobnou energetickou bilanci bohužel díky její časové náročnosti nebylo možné zpracovat. Energetická bilance konkrétní BPS se tedy z výpočtové stala teoretickou bilancí nashromážděných dat. Její úkol je především poskytnout konkrétní příklad, jak bioplynová stanice funguje v řeči čísel.

V zemi, kde je téměř 50% půdy zemědělsky obhospodařováno, má bioplyn a jeho využívání pro výrobu elektrické energie a tepla do budoucna velký potenciál. A to nejenom díky nařízením EU pro produkci elektrické energie z obnovitelných zdrojů (Česka republika se v roce 2008 zavázala z obnovitelných zdrojů produkovat alespoň 13% celkové energetické poptávky v roce 2020).

## 7 Zdroje

- [1] Novotný, P. 2009: Historie a perspektivy OZE – bioplyn. Online [2012-04-04]. Topinfo s.r.o. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>>.
- [2] Česká bioplynová asociace 15. 2. 2012: Co je bioplyn?. Online [2012-04-04]. Česká bioplynová asociace – bioplyn, bioplynové stanice. Dostupné z: <<http://www.czba.cz/bioplyn>>.
- [3] Straka, F. a kol. 2006: Bioplyn, 2. rozšířené a doplněné vydání Praha: GAS s.r.o., 706 s., ISBN: 80-7328-090-6.
- [4] Quaschnig, V. 2010: Obnovitelné zdroje energií. Praha: Grada Publishing, a.s., 296 s., ISBN: 978-80-247-3250-3.
- [5] Babička, L., Kouřimská, L. 2007: Bioplynová stanice jako součást ekologické farmy. Proceeding of conference „Organic farming 2007“, 6. - 7. 2. 2007, Praha ČZU: Česká zemědělská univerzita. S. 195-199, ISBN: 978-80-213-1611-9.
- [6] Žídek, M. 2004: Anaerobní digesce zvolených substrátů na laboratorním fermentoru. Energie z biomasy III – seminář. Brno: Energetický ústav – Odbor energetického inženýrství. S. 43-50, ISBN: 80-214-2805-8.
- [7] Ministerstvo životního prostředí 2006: Metodický pokyn MŽP „K podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu“. Online [2012-04-04]. Ministerstvo životního prostředí České republiky. Dostupné z: <[http://www.mzp.cz/cz/schvalovani\\_bioplynovych\\_stanic](http://www.mzp.cz/cz/schvalovani_bioplynovych_stanic)>.
- [8] Schulz H., Eder B. 2004: Bioplyn v praxi, 1. Vydání. Ostrava: HEL, 168 s., ISBN 80-86167-21-6.
- [9] Pastorek, Z., Kára, J., Jevič, P. 2004: Biomasa - obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC Public s.r.o., 288 s., ISBN: 80-86534-06-5.
- [10] Michal Petr 2005: Bioplyn ze zemědělství. Online [2012-04-04]. Informační přehledy ÚZPI, 22 s. Dostupné z: <<http://www.3zemi.cz/docs/studie-bioplyn.pdf>>.

- [11] Marada, P., Kotovicová, J. 2010: Bioplynové stanice jako zařízení na zpracování vedlejších živočišných produktů. Biom.cz [online]. 2010-09-15 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-jako-zarizeni-na-zpracovani-vedlejsich-zivocisnych-produktu>>. ISSN: 1801-2655.
- [12] Kazda, R. 2009: Projekt bioplynové stanice. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2. Dostupné z: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/projekt-bioplynovе-stanice>>.
- [13] Novotný, P. 2009: Historie a perspektivy OZE – bioplyn. Online [2012-04-04]. Dostupné z: <<http://oze.tzb-info.cz/biomasa/5610-historie-a-perspektivy-oze-bioplyn>>.
- [14] Biom 2009: Průvodce výrobou a využitím bioplynu. České sdružení pro biomasu, 157 s., ISBN 978-80-903777-5-2.
- [15] Bioplynové stanice. In: *Tenza.cz* [online]. [cit. 2012-05-04]. Dostupné z: <<http://www.tenza.cz/cz/aktivity/energetika/energeticke-stavby/bioplynovе-stanice/>>
- [16] Táborský, J. Kněžice: Kompletní energetické řešení. Časopis stavebnictví, číslo 06-07/09, Dostupný na <[http://www.casopisstavebnictvi.cz/knezice-komplexni-energeticke-reseni\\_A2412\\_I32](http://www.casopisstavebnictvi.cz/knezice-komplexni-energeticke-reseni_A2412_I32)>
- [17] Šřivánek, J. Výroba elektřiny v zemědělské bioplynové stanici [online]. 2010 [cit. 2012-05-09]. Bakalářská práce. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta elektrotechniky a informatiky. Vedoucí práce Radomír Goňo. Dostupné z: <<http://theses.cz/id/dkue2v/>>.
- [18] Šimon, R. Protokol o energetickém auditu EV.Č.: EPI 02-10 / 10. Ostrava 2010. 38 s
- [19] Dooffy. Nová kolekce fotografií naší Bioplynové stanice 2011. In: [online]. [cit. 2012-05-21]. Dostupné z: <<http://www.farmastonava.cz/bioplynova-stanice/cs/nova-kolekce-fotografii-nasi-bioplynovе-stanice-2011.html>>