

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH  
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program: N4101 Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Agroekologie

Katedra: Katedra rostlinné výroby a agroekologie

Vedoucí katedry: prof. Ing. Vladislav Čurn, Ph.D.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv substrátu na výkon bioplynové stanice

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Jiří Diviš CSc.

Autor: Bc. David Rataj

České Budějovice, duben 2013

**Prohlášení o autorství:**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne

.....

## Poděkování

Tímto bych velmi rád poděkoval zejména vedoucímu diplomové práce doc. Ing. Jiřímu Divišovi CSc., a to za konzultaci a všestrannou pomoc předcházející vzniku této diplomové práce, za cenné rady, připomínky a metodické vedení práce.

Poděkování patří též Bc. Tomáši Mičolovi, ze společnosti Agrikomp, a. s., za poskytnutá data a ochotu spolupracovat.

V neposlední řadě patří poděkování mojí rodině a dcerám za pochopení a podporu.

## OBSAH

1. ÚVOD .....	8
2. LITERÁRNÍ PŘEHLED .....	9
2.1 Energetické zdroje .....	9
2.2 Obnovitelné zdroje energie .....	10
2.2.1 Potenciál energetických plodin v ČR .....	10
2.2.2 Zemědělství je i produkce energie.....	11
3. BIOMASA .....	13
3.1 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům .....	14
3.2 Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy).....	15
3.2.1 Metanové kvašení.....	15
4. PODMÍNKY VYUŽITÍ FYTOMASY V BPS .....	18
4.1 Druh rostlin pro BPS .....	18
4.2 Sklizeň a konzervace siláže.....	18
4.3 Termíny sklizní .....	19
4.4 Požadavky na uskladnění .....	19
4.5 Odběr substrátu.....	20
5. KUKUŘICE – NEJČASTĚJI POUŽÍVANÝ SUBSTRÁT V BPS .....	20
6. DALŠÍ ZDROJE SUBSTRÁTŮ PRO BIOPLYNOVÉ STANICE.....	22
6.1 Travní senáž .....	22
6.2 Keřda vepřová, hovězí, hnůj hovězí.....	23
6.3 Žitná siláž z celých rostlin (GPS) .....	24
6.4 Řepa .....	25
6.5 Výroba alkoholu .....	25
6.6 Výroba škrobu .....	26
6.7 Získávání cukru .....	26
6.8 Další plodiny s možností využití v BPS .....	27
6.9 Komunální – biologicky rozložitelný odpad .....	29
7. DIGESTÁT.....	30
7.1 Použití digestátu .....	31
8. BIOPLYNOVÉ STANICE .....	32
8.1 Rozdělení bioplynových stanic.....	32
8.2 Princip bioplynové stanice .....	33
8.3 Základy kvasné biotechnologie BPS.....	35
8.4 Předúprava surovin .....	35
8.5 Vznik bioplynu .....	37
8.6 Hydrolýza .....	37
8.7 Okyselení .....	37
8.8 Vznik kyseliny octové.....	38
8.9 Vznik metanu.....	38

8.10	Prostředí pro vznik bakterií . . . . .	38
8.11	Bioplyn.. . . .	38
8.12	Čištění bioplynu . . . . .	39
9.	EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST BPS . . . . .	40
10.	SLOŽENÍ BIOPLYNU . . . . .	43
11.	MATERIÁL A METODY . . . . .	46
11.1	Porovnání výkonu BPS z hlediska druhu substrátu . . . . .	46
11.1.1	Charakteristika BPS Horní Tošanovice . . . . .	47
11.1.2	Vstupní substráty . . . . .	49
11.2	Charakteristika BPS Kouty . . . . .	50
11.2.1	Vstupní suroviny . . . . .	51
11.3	Charakteristika BPS Žlutice . . . . .	51
11.3.1	Vstupní suroviny . . . . .	53
12.	DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUZE . . . . .	53
12.1	Denní vsázka do BPS . . . . .	53
12.1.1	BPS Horní Tošanovice . . . . .	53
12.1.2	BPS Kouty . . . . .	57
12.1.3	BPS Žlutice . . . . .	59
12.2	Vývoj teplot ve fermentoru . . . . .	62
12.3	Porovnání hodnot energie vyrobené za období jednoho měsíce . . . . .	63
12.4	Hodnoty množství vyrobeného a kogenerační jednotkou spotřebovaného plynu . . . . .	64
12.5	Průměrný obsah H <sub>2</sub> S v bioplynu . . . . .	65
12.6	Druh používaného substrátu – vsádka . . . . .	66
13.	ZHODNOCENÍ . . . . .	67
13.1	Denní vsádka do BPS . . . . .	67
13.2	Hodnocení teplot ve fermentoru . . . . .	67
13.3	Hodnoty energie vyrobené za období jednoho měsíce . . . . .	67
13.4	Hodnoty množství vyrobeného a kogenerační jednotkou spotřebovaného plynu . . . . .	68
13.5	Průměrný obsah H <sub>2</sub> S v bioplynu . . . . .	68
13.6	Druh používaného substrátu (vsádka) . . . . .	68
14.	ZÁVĚR . . . . .	69
15.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY . . . . .	74
16.	PŘÍLOHY . . . . .	81

## **SOUHRN**

RATAJ, D. *Vliv substrátu na výkon bioplynové stanice*. České Budějovice, 2013.  
Diplomová práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zemědělská fakulta.  
Vedoucí práce doc. Ing. Jiří Diviš, CSc.

V diplomové práci jsem se zaměřil na zhodnocení dat a hodnot v jednotlivých bioplynových stanicích.

K tomuto tématu jsem v jednotlivých kapitolách předložil názory a poznatky odborníků a porovnal je s mými dosaženými výsledky, které jsem získal na základě vlastního měření a získaných dat.

V této práci jsem dále shrnul údaje k technologii anaerobní fermentace, novým technologiím úpravy bioplynu a jeho čištění a výhled tohoto ekologického způsobu získávání energie.

### **Klíčová slova:**

bioplynová stanice, substrát, bioplyn, digestát

## **ABSTRACT**

RATAJ, D. Impact of substrate on the performance of biogas station. České Budějovice, 2013.

Master thesis. University of South bohemia in České Budějovice, Faculty for Agriculture. Supervisor: assoc. Prof. Jiří Diviš, CSc.

In the master thesis the focus is laid on assessment of data and values from particular biogas generation units.

For this topic I introduced in particular chapters of the thesis own opinions and experience of various experts. Expert data have been compared with own results gained by testing and evaluation of such received data.

In this master thesis further technical parameters for the technology of anaerobic fermentation have been put together as well as information and data about other new technologies for biogas treatment and cleaning. Attention has been paid also to the outlook for using this environmentally friendly and green way of energy harvesting in the future.

### **Key words:**

Biogas station (generation unit), substrate, biogas, solid residuum of anaerobic digestion

## 1. ÚVOD

Zásobování palivy a energiemi je problém, který znepokojuje celou společnost na různých úrovních řízení, a který je umocňován dosavadními trendy světového populačního růstu, rostoucích spotřeb energie, rychlým poklesem zásob fosilních paliv, zdánlivě pomalým technickým pokrokem v objevování nových, především obnovitelných zdrojů energie, negativními dopady na životní prostředí.

Energie biomasy se využívá už tisíce let. A to hlavně v podobě spalování dřeva, které je i dnes převládajícím využitím biomasy. Současný výzkum se zaměřuje především na hledání nových perspektivních zdrojů biomasy, jejich obnovy a na způsoby získávání energie z nich a minimálním dopadem na životní prostředí.

Politikou ČR je od r. 2000, kdy byl schválen scénář „Energetické politiky“ usnesením vlády ČR č. 50 z 12. ledna, program úspor energie a využívání obnovitelných zdrojů.

Obnovitelné zdroje energie nebudou patřit mezi rozhodující vysoko potenciální energetické zdroje, ale budou mít významný regionální a lokální přínos.

Vzhledem k ubývání zásob fosilních paliv se tím zvýší podíl alternativních obnovitelných zdrojů energie na celkové spotřebě.

Využitím biomasy k energetickým účelům se přispívá k omezení emisí oxidu uhličitého do atmosféry, které je nesrovnatelně menší než při využívání a těžbě paliv fosilních.

Bioplynové stanice patří na jedné straně k typům zařízení, kterým je třeba se v průběhu činnosti věnovat servis a zajistit jak dostatek surovin, tak uplatnění koncových výstupů, ale na stranu druhou je i tato zdánlivá nevýhoda dle odborníků jedním z důvodů, proč by neměl intenzivnější rozvoj bioplynových stanic vyvolat podobné ohrožení, jaké nastalo v minulosti v souvislosti s fotovoltaikou.

Vývoj v odvětví bioplynu by se měl ubírat nejlépe takovým směrem, aby bylo nejvýhodnější zpracovávat na prvním místě odpadní suroviny a až pak biomasu, a aby našla podporu i výroba biometanu a uplatnění vznikajícího odpadního tepla, neboť právě tyto příležitosti dělají z bioplynu unikátní obnovitelný zdroj a zde je soustředěn maximální potenciál, který lze z bioplynu získat.



## 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

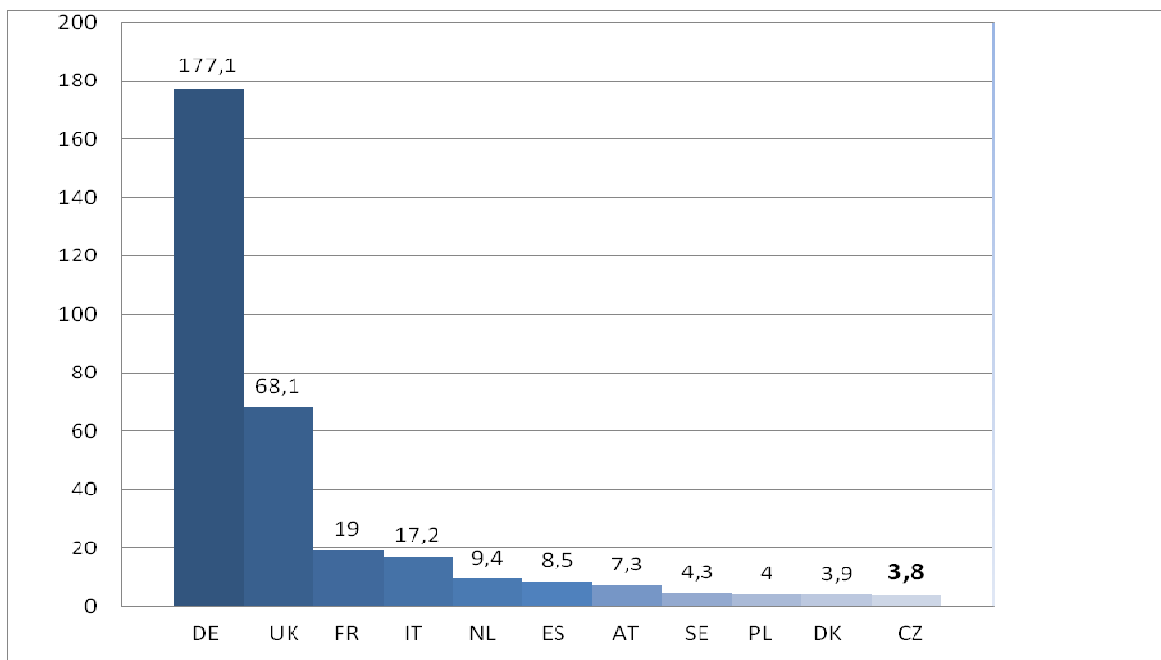
### 2.1 Energetické zdroje

Energetika je nejvýznamnější součástí hospodářství všech zemí. Spotřeba energie má ve světě neustále rostoucí tendenci. Energetické zdroje, které se dnes povětšinou využívají, jsou z největší části neobnovitelné a postupně se vyčerpávají.

Podle celosvětových výzkumů dochází ke snižování jak spotřeby ropy, tak i ke spotřebě uhlí a tím vzniká otázka, čím tyto zdroje budou v budoucnu nahrazeny.

Je faktem že od 17. století se zvýšil počet obyvatel na Zemi více než dvanásobně a podle světových údajů se pravidelně zvyšuje o 80 mil. za rok. Ještě prudší nárůst má i spotřeba energie. Spotřeba energií roste intenzivněji s přibývajícím počtem obyvatel na Zemi. Se zachováním trvale udržitelného rozvoje již nemůže docházet ke zvyšování spotřeby energie z neobnovitelných zdrojů, které navíc zatěžují životní prostředí exhalacemi (LIBRA, POULEK, 2007).

Graf č. 1: Největší producenti bioplynu v EU v roce 2010 (dle celkového množství vyprodukované energie z bioplynu v PJ/rok)



*Zdroj: vlastní zpracování na základě Liébard (2010)*

## 2.2 Obnovitelné zdroje energie

Potenciál obnovitelných zdrojů je samozřejmě omezen. Například pokud bychom veškerou ornou půdu, lesy a další zemědělskou půdu využili pro energetické účely, mohli bychom získat až 700 PJ, což je více než polovina celkové energetické spotřeby. Ve skutečnosti samozřejmě potřebujeme půdu pro pěstování potravin a krmiv (což je také energie, která se ale v energetických statistikách neobjevuje). Reálný potenciál biomasy je tedy odhadován na 276 PJ, tedy asi 40 % teoretického potenciálu. Obnovitelné zdroje v současnosti pokrývají asi 5 % spotřeby primárních zdrojů. Teoretický potenciál obnovitelných zdrojů mnohokrát přesahuje současnou spotřebu. Pro využití však můžeme použít pouze ekonomicky dostupné technologie, což potenciál značně snižuje.

Odhadované využití v roce 2030 ve výši 320 PJ by představovalo pokrytí 17 % dnešní spotřeby primárních zdrojů. V současnosti však primární zdroje využíváme jen s účinností 60 %, což je poměrně málo. Spotřebu primárních zdrojů lze snížit například úsporami energií, vyšší účinností energetických procesů nebo snížením vývozu elektřiny. Potom mohou obnovitelné zdroje pokrýt vyšší podíl spotřeby (KOLEKTIV AUTORŮ, ČEZ, 2003).

Tab. č. 1: Podíl obnovitelných zdrojů na celkových primárních zdrojích energií v ČR k roku 2011 (PJ)

Zdroj energie	Uhlí a uhelné plyny	Ropa a ropné produkty	Zemní plyn a energoplyn	Jaderná energie	OZE*	Elektrická energie	Tepelná energie	Celkem
Primární zdroje celkem	731,73	381,68	281,54	297,85	109,68	49,13	1,15	1754,5

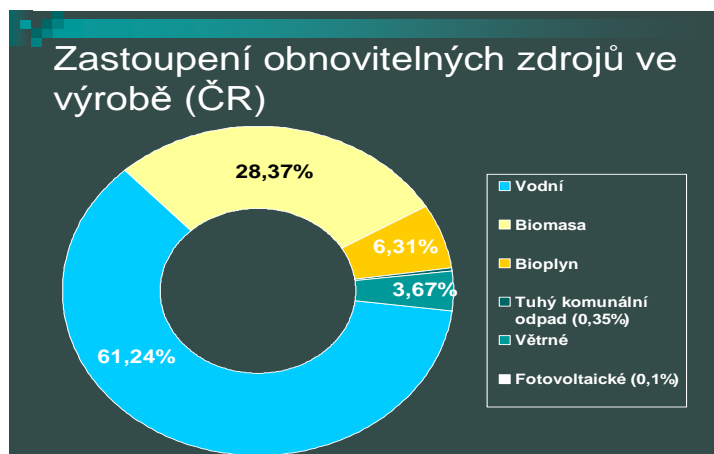
\*vč. odpadů

*Zdroj: vlastní zpracování na základě Český statistický úřad*

### 2.2.1 Potenciál energetických plodin v ČR

Současnost v oblasti volné zemědělské půdy v ČR je asi taková, že ladem leží přibližně 0,5 mil. ha půdy s tím, že se předpokládá, že další 1 mil. ha se nebude moci dlouhodobě využívat pro produkci potravin. Jednou z možností využití této půdy je pěstování energetických plodin, přičemž by stačilo využít cca 1,5 mil ha z celkového množství v časovém horizontu 30 let tak, aby byl zachován soulad s osevními postupy.

Způsob pěstování i sklizně rostlin pěstovaných pro energetické účely je shodný s pěstováním a sklizní běžných zemědělských plodin. Pouze doba sklizně, kdy je u rostlin pěstovaných pro výživu lidí nebo zvířat limitována nejvyšším obsahem živin, je u energetických při nejvyšším obsahu energie. (MUŽÍK, HUTLA, 2006)



Obr. č. 1 Zastoupení obnovitelných zdrojů ve výrobě v ČR  
Zdroj : PETRÁŠEK Jan, *Obnovitelné zdroje energie 2010*

Při spalování u stébelnatých je to při nejnižším obsahu vody a dusíkatých látek – v přestárlém stavu. Rostliny určené k získávání energie v podobě bioplynu je to v tzv. „zeleném stavu“ – přibližně ve stejné době jako u rostlin určených ke krmivářství (MUŽÍK a HUTLA, 2010).

### 2.2.2 Zemědělství je i produkce energie

LIBRA a POULEK (2007) uvádí, že pro Českou republiku je biomasa, díky přírodním podmínkám, bezesporu jedním z nejvýznamějších obnovitelných zdrojů energie. S touto skutečností také počítá Národní akční plán, který je návodem jak by měla ČR zajistit splnění cíle 13 % obnovitelné energie v roce 2020.

Tab. č. 2 : Obsah metanu v bioplynu

Původ bioplynu	obsah metanu v%
ČOV	50-85
agroindustriální odpady	55-75
skládky	35-55

Zdroj: Žídek 2003

Využívání bioplynu ze zemědělských bioplynových stanic je významným prvkem pro diverzifikaci příjmů zemědělců, napomáhá řešit problematiku nezaměstnanosti na venkově i nezávislost zemědělských podniků na dodávkách energií. Příznivě působí zemědělské bioplynové stanice také v synergii se živočišnou výrobou, kdy kejda a hnůj jsou využívány jako vstupní suroviny do bioplynových stanic a pro přípravu ostatních vstupních surovin (siláž, senáž apod.) se využívají stávající technologické linky v zemědělských podnicích. Rozvoj bioplynových stanic také pomáhá řešit úbytek organické hmoty v půdě v souvislosti s výrazným poklesem stavu zvířat, především skotu, tím, že výstup z bioplynové stanice (digestát) je využíván jako hnojivo. To je v době převládajícího zastoupení obilovin v osevních postupech velmi důležité z pohledu udržování úrodnosti půd (DIVIŠ a KAJAN, 2010).

Zájem zemědělců o investice do výstavby bioplynových stanic dokazují data z Programu rozvoje venkova v roce 2006, kde bylo podáno již 171 žádostí o podporu v celkovém objemu 3 mld. Kč. Schváleno bylo dosud 83 projektů. Česká republika má v porovnání s některými evropskými státy velkou výhodu, protože zemědělské podniky jsou většinou dobře vybaveny infrastrukturou k výrobě a skladování objemných surovin pro výrobu bioplynu. V dalším období se počítá se směřováním k bioplynovým stanicím, které budou více využívat zbytkovou biomasu a hmotu z udržování trvalých travních porostů. Zatravňování a jejich údržba jsou výrazně podporovány dotacemi vzhledem k pozitivní funkci v ochraně proti erozi, ale posečená travní hmota není efektivně využívána.

Významnějším problémem v poslední době je připojovací kapacita elektrické rozvodné sítě. Díky překotnému rozvoji fotovoltaických elektráren je v současné době problematické získat připojovací kapacitu i pro bioplynové stanice přesto, že elektřina z nich dodávána do sítě má stabilní průběh na rozdíl od kolísavé křivky u fotovoltaických elektráren.

V porovnání s Rakouskem, kde výstavba nových BPS v současné době spíše stagnuje, a Německem, kde opět dochází k určitému oživení, ČR v současné době zažívá výrazný rozvoj v oblasti stavby a provozování bioplynových stanic (obrázek č. 24). Zatímco v oblasti produkce a využívání elektrické energie je situace v ČR a zmiňovaných zemích srovnatelná, v oblasti využívání tepelné energie či energetické autarkie regionů ČR stále zaostává. Rozvoj podnikání v návaznosti na provozy BPS je tak v ČR v porovnání se zmíněnými státy zatím spíše zanedbatelný.

Česká republika se jako členský stát EU zavázala, že v roce 2010 bude výroba elektřiny z obnovitelných zdrojů energie pokrývat 8 % hrubé domácí spotřeby. Stabilně rostoucí trend má výroba elektřiny z biomasy, zejména prostřednictvím zemědělských bioplynových stanic. V roce 2007 byla výroba elektřiny z bioplynových stanic už vyšší než z větrných elektráren. Pro zemědělskou prvovýrobu by tento alternativní zdroj výroby elektřiny mohl částečně zajistit trvalé a stabilní příjmy, nezávislé na nejistých cenách rostlinných komodit na trhu.

### 3. BIOMASA

MOUDRÝ, STRAŠIL (1996) definují biomasu jako substanci biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Biomasa je buď záměrně získávána jako výsledek výrobní činnosti, nebo se jedná o využití odpadů ze zemědělské, potravinářské a lesní výroby, z komunálního hospodářství, z údržby krajiny a péče o ni.

Teoretické propočty různých odborníků uvádějí roční celosvětovou produkci biomasy na úrovni 100 miliard tun, jejíž energetický potenciál se pohybuje kolem 1 400 EJ. To je téměř pětkrát více, než činí roční světová spotřeba fosilních paliv (300 EJ). Čím je tedy limitováno využití biomasy k energetickým účelům a vyřešení jednoho z globálních problémů lidstva.

- Produkce biomasy pro energetické účely konkuruje dalším způsobům využití biomasy (např. k potravinářským a krmivářským účelům, zajištění surovin pro průmyslové účely, uplatnění mimoprodukční funkce biomasy).
- Zvyšování produkce biomasy vyžaduje rozšiřovat produkční plochy nebo zvyšovat intenzitu výroby biomasy, což přináší potřebu zvyšovat investice do výroby biomasy.
- Získávání energie z biomasy v současných podmínkách s obtížemi ekonomicky konkuruje využití klasických energetických zdrojů. Tato skutečnost může být postupně měněna tlakem ekologické legislativy.
- Maximální využití zdrojů biomasy k energetickým účelům z celosvětového hlediska je problematické vzhledem k rozmístění zdrojů biomasy a spotřebičů energie, vzhledem k potížím s akumulací, transportem a distribucí získané energie. Na druhé straně existují nesporné výhody využití biomasy k energetickým účelům:
  - jsou menší negativní dopady na životní prostředí,

- zdroj energie má obnovitelný charakter

### 3.1 Způsoby využití biomasy k energetickým účelům

MOUDRÝ, SOUČKOVÁ (2006) uvádí, že způsob využití biomasy k energetickým účelům je do značné míry předurčen fyzikálními a chemickými vlastnostmi biomasy. Velmi důležitým parametrem je vlhkost, resp. obsah sušiny v biomase. Hodnota 50 % sušiny je přibližná hranice mezi mokřými procesy (obsah sušiny je menší než 50 %) a suchými procesy (obsah sušiny je větší než 50 %). Z principiálního hlediska lze rozlišit několik způsobů získávání energie z biomasy a přípravy biomasy pro energetické využití:

a) termochemická přeměna biomasy (suché procesy pro energetické využití biomasy):

- spalování biomasy
- zplynování biomasy
- pyrolýza biomasy

b) biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy pro energetické využití biomasy):

- alkoholové kvašení
- metanové kvašení

c) fyzikální a chemická přeměna biomasy:

- mechanicky (štipání, drcení, lisování, briketování, peletování, mletí apod.),
- chemicky (esterifikace surových bioolejů).

d) získávání odpadního tepla při zpracování biomasy (např. při kompostování, aerobním čištění odpadních vod, anaerobní fermentaci pevných organických odpadů apod.).

Přestože existuje více způsobů využití biomasy k energetickým účelům, v praxi převládá ze suchých procesů spalování biomasy, z mokřých procesů výroba bioplynu anaerobní fermentací. Z ostatních způsobů dominuje výroba metylesteru kyselin bioolejů, získávaných v surovém stavu ze semen olejnatých rostlin.

K energetickým účelům lze využít v ČR asi 8 mil. tun biomasy.

## 3.2 Biochemická přeměna biomasy (mokrý procesy)

### 3.2.1 Metanové kvašení

Výroba bioplynu, je uměle vyvolaný anaerobní rozklad organického materiálu. Zemědělství vytváří velké množství organických odpadů, které anaerobní fermentace umožňuje nejen likvidovat, ale také energeticky využívat. Pro výrobu bioplynu se dají využívat také městské odpady a komunální odpadní vody. Ze zemědělských odpadů se nejvíce využívají kejda, sláma, zbytky travin apod. Z výkalů dospělé krávy nebo 6 prasat (velká dobytčí jednotka) se denně vyprodukuje cca 1,5 m<sup>3</sup> bioplynu. Obecně se počítá s produkcí 0,7 - 1,0 m<sup>3</sup> z 1 kg biologicky rozložitelných látek.

K anaerobnímu rozkladu se používají dvě skupiny bakterií - kyselinotvorné a metanotvorné. Metanové bakterie vyžadují ke své činnosti specifické prostředí, které je dáno hodnotou pH, teplotou, obsahem živin, dobou zdržení, koncentrací pevných látek, mícháním apod. Pro výrobu bioplynu se používají jednoduché nebo složité systémy.

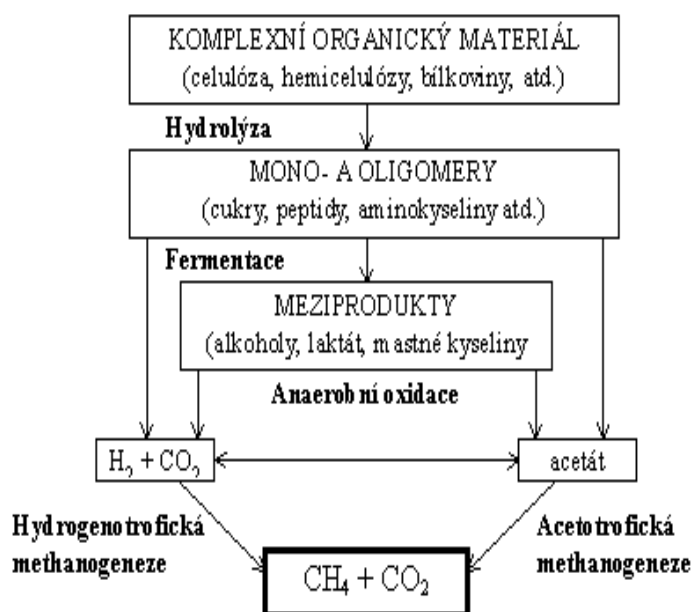
Složité systémy se sestávají prakticky ze stejných částí jako jednoduché. Mají však při provozu vyšší energetickou náročnost a jsou tedy méně hospodárné než jednoduchá zařízení (VÁŇA, ŠLEJŠKA, 1998).

Základními prvky jsou čerpací jímka, vyhřívací nádrž (fermentor), zásobník plynu, kotelna a příslušné řídicí a monitorovací přístroje. V počáteční fázi se nahromaděné odpady předzpracovávají (míchání a rozměňování). Následuje plnění vyhřívacích nádrží.

Zde probíhá zahřívání, míchání a nakonec vyprazdňování. Plyn se odvádí a skladuje v plynojemech, vyhnílý kal se skladuje a využívá k různým účelům. Vyhnílý kal obsahuje po fermentaci nerozložené složky výchozí biomasy a mikroorganismy. Obsahuje dusíkaté látky, je tedy využitelný jako hnojivo a po usušení i jako krmivo. Fermentory jsou stavěny z různých materiálů jako je ocel, beton a plasty a to podle konkrétních specifických podmínek.

Existuje několik systémů výroby bioplynu. Dnes je standardním průtokový (kontinuální) systém. K dalším základním typům patří zásobníkový (diskontinuální) systém a systém střídavých zásobníků.

Obr. č. 2 : Průběh čtyřfázové anaerobní fermentace



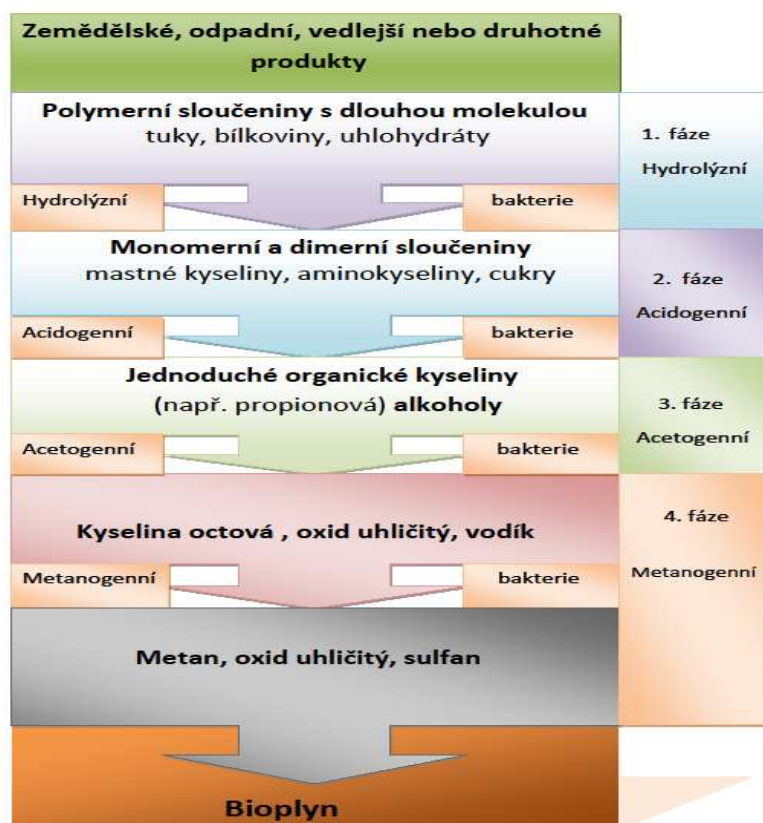
Zdroj : NORDBERG (1996)

Tento model zahrnuje čtyři hlavní skupiny mikroorganismů:

1. **Hydrolytické bakterie**, které rozkládají organické polymery na kyselinu octovou,  $H_2$ ,  $CO_2$ , jiné jedouhlíkaté látky, organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol;
2. Vodík produkující **acetogenické bakterie** (obligátní a fakultativní anaeroby), jež mohou fermentovat organické kyseliny vyšší než kyselina octová a alkoholy vyšší než metanol na  $H_2$  a  $CO_2$ ;
3. **Homoacetogenické bakterie**, které mohou přeměňovat široké spektrum jedno a víceuhlíkatých látek na kyselinu octovou;
4. **Metanogenní**, které mohou z acetátu,  $H_2$ ,  $CO_2$  a některých dalších jedouhlíkatých organických látek vytvářet metan.

Klíčovým momentem produkce metanu je přenos vodíku mezi acetogenními a metanogenními bakteriemi.





Obr. č. 3 : Fáze výroby bioplynu anaerobní fermentací

Podle VÁNI a ŠLEJŠKY (1998) bioplyn obsahuje 55 - 80 % metanu, 20 - 45 % oxidu uhličitého, síru ve formě sirovodíku, dusík, vodu aj. Bioplyn je nízko výhřevný plyn, jehož energetická hodnota je 20 000 - 25 000 kJ.m<sup>-3</sup>(při 60 % metanu). Jeho kvalitu lze zvýšit čištěním. Obtížný je obsah sirovodíku v bioplynu. Tento plyn je toxický a má korozivní účinky. Proto se obvykle provádí odsiřování bioplynu. Nejjednodušším řešením je aplikace 3 až 5 % vzduchu do bioplynu v nádrži, jehož působením dojde k rozložení sirovodíku na vodu a elementární síru. Po zapravení fermentovaného materiálu na pole je síra zpětně využita rostlinami.

Bioplyn má mnohostranné využití. V plynových motorech se používá na pohon tlakových ventilátorů, čerpadel, generátorů, po malých úpravách i v plynových spotřebičích. V plynových motorech se dá měnit na elektrický proud. Z 1 m<sup>3</sup> se vyrobí 1,6 - 1,9 kWh. V poslední době se konají pokusy s využitím bioplynu na pohon traktorů a automobilů. Anaerobní fermentací lze v závislosti na druhu zpracovávaného substrátu a na podmínkách fermentace převést 64 až 78 % energie ze zpracovávaného materiálu do

bioplynu. Využitím bioplynu kogenerací lze dosáhnout výtěžnosti elektrické energie 0,9 až 1,20 kWh el na kg sušiny zpracovávaného materiálu. (DEUBLEIN, STEINHAUSER, 2008)

Tab. č. 3 : Teoretické hodnoty výnosů bioplynu z vybraných surovin

Surovina	Výnos bioplynu m <sup>3</sup> /t	Obsah metanu (%)
Kukuřičná siláž	550 – 710	51
Travní senáž	450 - 690	52
Hovězí hnůj	210 - 400	53
Hovězí kejda	250 - 450	57
Vepřová kejda	250 - 550	55

Zdroj : RUTZMOSEK K., SPANN B., BAYRISCHE L. , 2001

#### 4. PODMÍNKY PRO VYUŽITÍ FYTOMASY V BPS

##### 4.1 Druh rostlin pro BPS

Nejdůležitější pro dobrou výtěžnost bioplynu je výběr druhu rostlin nebo jejího hybridu. Požadavky na volbu odrůdy jsou následující:

- ranost - je třeba volit tak, aby byl dosažitelný obsah sušiny minimálně 25 %
- výkonost - výběr druhu s co nejvyšším výnosovým potenciálem hmoty siláže z hektaru - vyšší výnos metanu
- stabilita výnosu - dobrý zdravotní stav rostlin, tolerance vůči přísušku, rychlý vzrůst a ročníková stabilita
- nutriční požadavky – rozdíl pro výživu zvířat a využitím v BPS – méně škrobu – více vlákniny (DEUBLEIN, STEINHAUSER, 2008)

##### 4.2 Sklizeň a konzervace siláže

Nejdůležitějším prvkem celé technologie pěstování je sklizeň, ke které je nutno přistupovat se stejnou pečlivostí přípravy siláže pro užitková zvířata.

Při vlastní sklizni je nutno dbát na:

- optimální obsah sušiny mezi 28 – 34 %
- narušení zrna pomocí drtičů (v případě kukuřice)

- délka řezanky do 8 mm (obrázek č. 19)

Při sklizni je nutno dbát právě na správnou délku řezanky a narušení všech zrn, řezačka se musí přizpůsobit sušině celé rostliny. Správnou délkou řezanky nám taktéž klesají náklady na dopravu, snáze se siláž zhutňuje, průběh kvašení řezanky je lepší spolu se zrychlením uvolňování buněčné šťávy s vyšším obsahem kyselin díky vyšší aktivitě bakterií mléčného kvašení. Krátkou řezankou také docílíme menší aktivity kvasinek a zabrání se druhotnému zahřívání a kvašení, což vede k delší aerobní stabilitě siláže.

#### 4.3 Termíny sklizní

Nejpodstatnějším kritériem pro vysokou výtěžnost metanu je sklizeň rostlin se správným obsahem sušiny.

Její optimální rozsah je mezi 28 – 34 %. Tento obsah zajišťuje výnosové maximum rostlin, stabilitu siláže při její přípravě, vysokou degradaci siláže ve fermentoru a optimální průběh fermentace v zařízení pro výrobu bioplynu. Pozdní sklizní se zpravidla výnos snižuje, zvyšuje se obsah sušiny spolu s nárůstem vlákniny, řezanka může být napadena plísněmi, fermentace může probíhat nesprávně a vytvoření tzv. plovoucího koláče ve fermentoru se zbytečně zatěžuje čerpací a mísící zařízení. Naopak příliš časnou sklizní může dojít ke tvorbě silážních šťáv se ztrátou výživných látek, výnosový potenciál nemusí být vyžit zcela a dochází pak i k nežádoucí tvorbě amoniaku (PETŘÍKOVÁ, 2006).

#### 4.4 Požadavky na uskladnění

Cílem kvalitní přípravy siláže je konzervace sklizené hmoty v optimální kvalitě s minimalizací ztrát silážní hmoty. Její stabilizace se dosáhne za podmínek rychlého „vydýchání“ kyslíku, zabránění dalšímu přístupu vzduchu a vznikající oxid uhličitý se důsledným zakrytím zadrží ve hmotě.

Plnění silážní jámy uskladňovanou řezankou je nutno provádět rychle se správným naskladňováním - správná tloušťka vrstvy by neměla přesáhnout 30 cm s vysokým stupněm zhutnění s pojezdovou rychlostí při dusání 4 km/h. Po ukončení naskladňování je nutné pokračovat v dusání ještě 1,5 – 2 hodiny. Následně se rychlým a vzduchotěsným uzavřením silážní jámy zabezpečí proti poškození vnějšími vlivy. Zakrytí silážního žlabu se

provádí transparentní folií nebo kvalitní polyetylénovou folií, tkaninovými foliemi a ochrannými sítěmi s dostatečným zatížením celé plochy silážního žlabu.

#### 4.5 Odběr substrátu

Po otevření silážního žlabu je nutno velmi dobře hospodařit s naskladněnou hmotou s cílem co nejmenšího provzdušnění stěny siláže při odběru, protože přívodem vzduchu dochází ke zmnožení kvasinek se zahříváním siláže a více se spotřebovává cukr s úbytkem bakterií mléčného kvašení (obrázek č. 20).

Proto je nutno hmotu okamžitě naskladnit bez zbytečného meziskládkování do fermentoru, folie se neodstraňuje z celé plochy najednou (pouze z plochy potřebné pro denní odběr) a se zabezpečením dostatečného denního odběru (v zimním období 1,5 m, v letním 2 m za týden).

Těmito opatřeními se vyhneme šíření nežádoucích organismů, jež spotřebovávají uhlohydráty, chybějící pak bakteriím ve fermentoru k přeměně na bioplyn, a které mohou též produkovat toxiny s nežádoucím vlivem na výtěžnost bioplynu. Též pak dochází k ohřevu siláže, způsobenému rozkladným alkoholovým kvašením kvasinek, a ke ztrátám.

### **5. KUKUŘICE – NEJČASTĚJI POUŽÍVANÝ SUBSTRÁT V BPS**

Prostřednictvím výroby elektrické energie z bioplynu dokáží kontrolovat uzavřený cyklus od prvovýroby až po prodej konečného výrobku. Budoucí bioplynové stanice pak mohou následně vyrobeným teplem a elektřinou zásobovat nejen svůj provoz, ale mohou případné přebytky energií nabídnout do celostátní sítě. A právě takovéto projekty podporuje Evropská unie ve snaze snížit závislost na spotřebě fosilních paliv. Při výběru vhodného substrátu pro tyto stanice jsou vhodné zejména rostliny bohaté na škrob.

Proto se při realizaci projektů a provozu zemědělských bioplynových stanic hlavní pozornost věnuje přípravě kvalitního substrátu, tj. výrobě kvalitní kukuřičné siláže, která se jeví jako nejvhodnější a nejekonomičtější substrát v současnosti. Z těchto důvodů se řada firem zabývá šlechtěním kukuřice pro využití na bioplyn, kdy hlavním rozdílem mezi hybridem určeným pro výrobu bioplynu a hybridem určeným pro skot je větší podíl stonků a listů a menší podíl zrna či škrobu (obrázek č. 11). Důvodem je fakt, že se ze zrna vyprodukuje zhruba o 20 % méně bioplynu než ze zelených částí rostliny. Na druhou stranu určitý podíl zrna či škrobu na výnose hmoty je potřebný i z důvodu, aby při

požadované sušiny hmoty 30 – 33 % při silážování netekly silážní šťávy. To je o to důležitější, že při sklizni na bioplyn se zkracuje řezanka na 3 - 8 mm, ale současně musí být rostlina zelená, aby byla využitelná co největším výtěžkem bioplynu.

Kukuřice, která díky vysoké fotosyntetické činnosti generuje do listů a stonku velké množství rozpustných cukrů jako základní zdroj energie mikroorganismů, je pro fermentační proces a získání metanu tou nejlepší základní surovinou pro výrobu elektřiny v bioplynové stanici.

Pokud bychom hodnotili polní plodiny podle směru využití, nejlepší předpoklady má pro tyto účely silážní kukuřice, která je stabilní plodinou v prvovýrobě, přinášející trvalý a pravidelný příjem do podnikové pokladny. Většina provozovaných zařízení pro výrobu bioplynu využívá v současné době právě kukuřici. Dále je využívána kejda, a to jak vepřová, tak hovězí, stejně jako hovězí hnůj, a to nejen jako transportní a očkovací materiál základního substrátu, ale jako samostatná složka, a např. kukuřice je naopak využívána jako druhotná.

Aby byla zabezpečena kvalitní a dostatečná surovina, je třeba správně zvolit kukuřičný hybrid. Ne každý silážní hybrid je vhodný do bioplynové stanice. Základním předpokladem je vysoký výnos hmoty, pevné a vůči lámavosti odolné stéblo, silný a hluboký kořen zamezující vyvracení rostliny. Každý pěstitel by měl respektovat místní podmínky a vybrat hybrid, který je schopen dozrát do silážní kvality do příchodu mrazíků, jež mohou výrazně snížit kvalitu sklizené hmoty. (BUKVIC, ANTUNOVIC, POPOVIC, RASTIJA, 2003)

Při pěstování je možné držet se stejných zásad jako v případě intenzivní silážní kukuřice. Je možné mírně navýšit hustotu porostu a získat tím co nejvíce zelené hmoty jako zdroje lehce rozpustných cukrů. Vysoký obsah škrobu není příliš vhodným zdrojem energie při fermentačním procesu. Při krmení dobytka je škrob důležitý. Silážní hmota je v tomto případě zpracována přibližně za 24 hodin. U bioplynové stanice však proces trvá déle, asi 40 až 100 dnů, a proto je důležité dostatečné množství cukrů z listů a stonků. (ZIMOLKA, 2008)

Kukuřici je možné sklízet o něco dříve než v optimální silážní zralosti, v sušiny hmoty asi 26 až 34 %. Velmi záleží na typu hybridu v dané oblasti. Mělo by být dbáno na to, aby byla schopnost zabezpečit co nejhomogennější hmotu.

Pro výrobu bioplynu je možné využít i hybridy s vyšším FAO v relativně ranější oblasti. To potvrzují i zkušenosti z Německa, které je největším výrobcem elektřiny z bioplynu. Hlavním substrátem pro zásobování zařízení na výrobu bioplynu se v

Německu stala kukuřičná siláž. Má to své opodstatnění. Pro provozovatele jsou rozhodující výrobní náklady na metr krychlový získaného metanu, přesněji výnos metanu z jednotky plochy půdy.

Kukuřice zhodnocuje vzhledem ke svému vysokému výnosu, kterého lze novými pěstitelskými postupy dosáhnout, výrobní faktor půdy lépe než jiné plodiny. Následně pokračuje proces podobně, jako při výrobě siláže pro krmení. Základním předpokladem je také nezávadnost hmoty – bez plísní, popřípadě poškození zavíječem, kde by následné fermentační procesy snižovaly produkci metanu a profitovost výroby elektřiny.

JANDA (2007) píše, že pěstování kukuřice pro energetické účely má jednu vadu, která může vyznít dost paradoxně. Je totiž velmi náročné na energii. Kukuřičná pole se proto musejí často a hodně hnojit, k čemuž se používá zemědělská technika, která přitom vypouští do ovzduší další skleníkové plyny. Kukuřice není schopná samostatné existence bez pomoci zemědělce. I následný proces vzniku paliva spotřebuje velké množství energie.

## **6. DALŠÍ ZDROJE SUBSTRÁTŮ PRO VÝROBU BIOPLYNU**

### **6.1 Travní senáž**

Jako vstupy do bioplynové stanice se může využít dalších několik zdrojů, které se nacházejí v zemědělském podniku. Žádoucí jsou zejména rostliny bohaté na lehce rozpustné cukry. Tyto typy rostlin jsou stále častěji využívány jako substrát pro výrobu bioplynu. Produktivitu bioplynu podstatně zvyšuje případné zamíchání do kejdy.

ANDERT (2006) píše, že travní fytomasa je dalším materiálem, který lze pro anaerobní fermentaci velmi dobře využít, neboť splňuje základní předpoklady, které jsou na vstupní substrát pro výrobu bioplynu kladeny. Obsahuje vysoké procento organické hmoty, blíží se optimálnímu poměru C:N a obsahuje málo popelovin.

Podle výzkumu, ve kterém se kofermentovala travní fytomasa s kejdou a digestátem, by měl být optimální podíl travní fytomasy ve zpracovávaném substrátu 35 – 50 %, aby bylo dosaženo co nejvyšší produkce bioplynu. Při vyšším podílu trávy produkce bioplynu klesá. Proces je ovlivněn i stářím fytomasy, přičemž nejvhodnější je fytomasa z ranějších sklizní (vegetativní fáze). (GERNDTOVÁ, ANDERT, 2009)

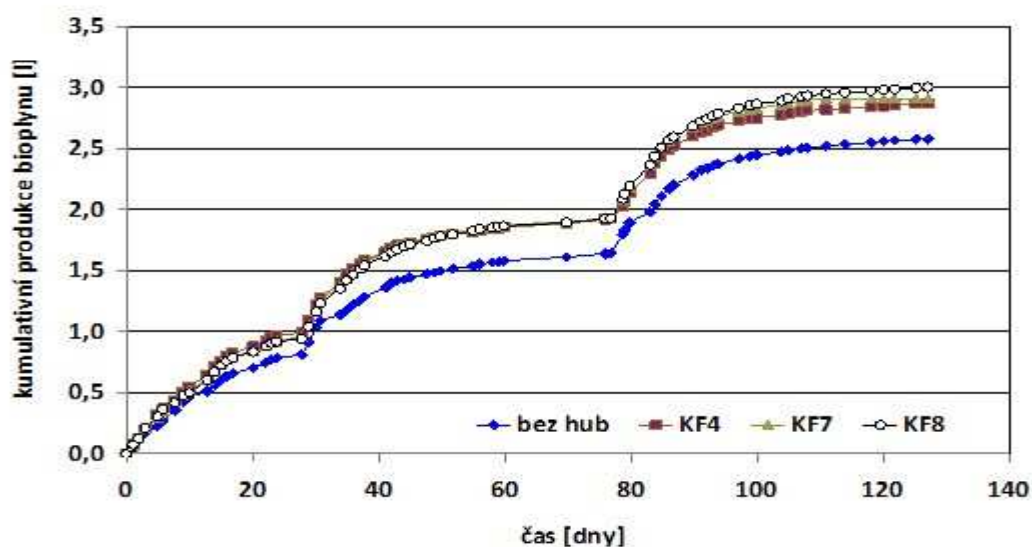
Tabulka č. 4: Produkce bioplynu ze základních složek organické hmoty (travní senáž)

Substrát	Produkce bioplynu z tunyorganické sušiny (Nm <sup>3</sup> )	CH <sub>4</sub> (%)	Produkce CH <sub>4</sub> z tuny organické sušiny (Nm <sup>3</sup> )
Cukry	790	50	395
Tuky	1250	68	850
Bílkoviny	700	71	497

Zdroj: Trávy jako energetická plodina : (Stražil, Kohoutek, Moudrý, Diviš, Kajan, 2011)

Při přechodu do fáze generativní se produkce bioplynu snižuje a rovněž kvalita bioplynu klesá (nižší podíl metanu). Pozitivně lze proces ovlivnit dezintegrací fytohmoty, při které dochází k nárůstu produkce bioplynu o 3 – 24 %, přičemž účinnost tohoto zásahu klesá se stářím fytohmoty (KOCOURKOVÁ, FUKSA, 2006).

Graf. č. 2 : Kumulativní produkce bioplynu při rozkladu travní siláže



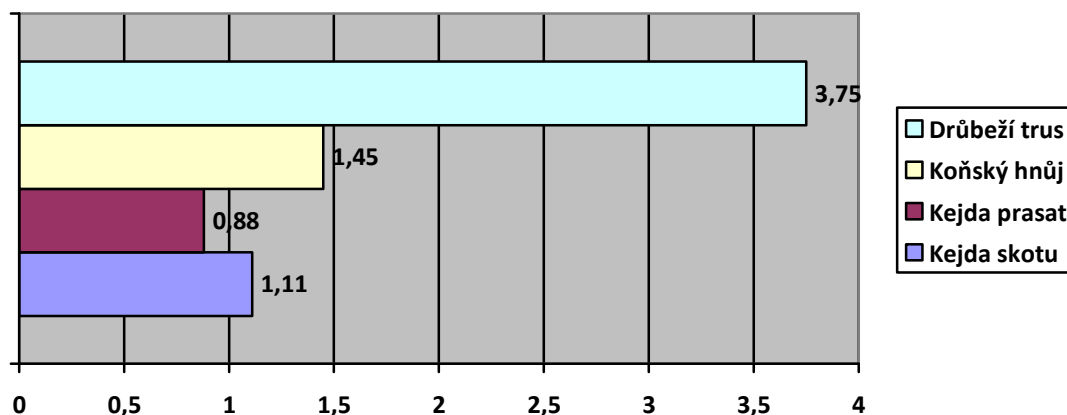
Zdroj: Jana Zábranská, Biom.cz

## 6.2 Kejda vepřová, hovězí, hnůj hovězí

V poslední době stavy hospodářských zvířat v České republice klesají, ale i přesto tvoří statková hnojiva významný potenciál substrátů pro bioplyn. Hovězí i prasečí kejda se dají díky relativně nízkému obsahu sušiny dobře kombinovat s ostatními substráty. Obtížnější je situace u slamatého hnoje, neboť ten musí, kvůli svému vysokému podílu

sušiny, být zpravidla naředěn, aby byl pumpovatelný. Kejda je obvykle přiváděna k bioplynové stanici přímo nebo přes předjímku.

Tab. č. 5 : Orientační denní produkce bioplynu m<sup>3</sup>/DJ



Kejda a slamnatý hnůj obsahují 70 – 85 % organických látek v sušině. V provozních podmínkách lze metanizací rozložit největší podíl organických látek u trusu drůbeže (asi 65 %) a u exkrementů prasat (asi 50 %). U kejdy skotu je to kolem 25 - 40 %. U slamnatého hnoje rozložitelnost vlivem pomalé hydrolyzy slámy klesá na 20 – 25 %. (KAJAN, 2005)

Tab. č. 6 : Porovnání hodnot výnosů plynu z jednotlivých statkových hnojiv

Substrát	Výnos plynu		Obsah metanu [objem. %]
	[m <sup>3</sup> /t substrátu]	[m <sup>3</sup> /t org. sušiny]	
kejda skotu	20–30	200–500	60
kejda prasat	20–35	300–700	60–70
hnůj skotu	40–50	210–300	60
hnůj prasat	55–65	270–450	60
hnůj kuřat a slepic	70–90	250–450	60

### 6.3 Žitná siláž z celých rostlin (GPS)

Dalším zdrojem substrátu může být siláž triticales nebo žitná siláž z celých rostlin. Toto obilí má nízké nároky na kvalitu půdy a na podnebí, proto může být pěstováno v chladnějších oblastech, popřípadě také na lehkých půdách. Výnos zrna žita činí přibližně



5 – 6 tun z hektaru, poměr zrna ku slámě cca 1:1,6. Z tohoto vyplývá celkový výnos od 13 do 15 tun čerstvé hmoty na hektar. Výtěžnost bioplynu z tohoto substrátu tak může být mezi 170 – 220 m<sup>3</sup>/t čerstvé hmoty a 550 – 680 m<sup>3</sup>/t ze sušiny.

#### 6.4 Řepa

Řepa se pro výrobu bioplynu hodí zejména díky vysokým výnosům hmoty (krmná nebo cukrová řepa). Řepa však vyžaduje vysoké nároky na půdu a podnebí, potřebuje spíše mírné podnebí a hlubokou ornou humózní půdu. Výnosy jsou rozdílné vždy podle půdních předpokladů a pohybují se u cukrové řepy kolem 50–60 t/ha.

Problémy ovšem nastanou při suchém čištění řep. Ulpívající zemina musí být pokud možno úplně odstraněna, neboť se jinak usadí a nahromadí na dně fermentoru. Také kameny musí být odstraněny ještě před rozdrolením. Řepa i řepný list jsou sklizeny jen sezónně, je potřebné vyřešit uskladnění, abychom měli substrát po celý rok k dispozici, což se zpravidla děje silážováním drcených rostlin.

Tab. č. 7 : Materiální vlastnosti řepy a řepného listu

Substrát	Sušina (%)	Org. sušina ( v % sušiny)	Výnos bioplynu (m <sup>3</sup> /t)		Obsah metanu (objem %)
			m <sup>3</sup> /t čerst. hmoty	m <sup>3</sup> /t sušiny	
Cukrová řepa	23	90-95	170-180	800-860	53-54
Krmná řepa	12	75-85	75-100	620-850	53-54
Travní senáž	25-50	70-95	170-200	550-620	54-55
Řepný list	16	75-80	cca 70	550-600	54-55

#### 6.5 Výroba alkoholu

Výpalky vznikají jako vedlejší produkt při výrobě alkoholu z obilí, brambor nebo ovoce. Při výrobě alkoholu obvykle vzniká na každý litr alkoholu asi 12 – ti násobné množství výpalků, které jsou v současnosti používány hlavně jako krmivo pro dobytek nebo jako hnojivo.

Uskladnění je relativně jednoduché. Při delším skladování se vyskytnou ztráty energie a napadení plísněmi a houbami, kvůli čemuž lze v takovém případě doporučit

silážování. Zvláštní požadavky na hygienická opatření nejsou stanoveny, výpalky vykazují obvykle nízké koncentrace škodlivin nebo těžkých kovů.

Tab. č. 8 : Materiální vlastnosti výpalků

Substrát	Sušina (%)	Org. sušina (v % sušiny)	Výnos bioplynu (m <sup>3</sup> /t)		Obsah metanu (objem %)
			m <sup>3</sup> /t čerst. hmoty	m <sup>3</sup> /t sušiny	
Obilné výpalky	6-7	83-88	30-50	430-700	58-65
Bramborové výpalky	6-8	85-95	36-42	400-700	58-65
Ovocné výpalky	2-3	cca 95	10-20	300-650	58-65

### 6.6 Výroba škrobu

Při výrobě škrobu z brambor vznikají vedle organicky zatížených odpadních vod také tzv. bramborové zdrťky (dřeň). Ta se sestává hlavně ze slupek, buněčných stěn a nerozpuštěných škrobových buněk, které zbývají po získání škrobu. Z každé tuny zpracovaných brambor vzniká přibližně 240 kg drti. Obvykle jsou zbytky dováženy zemědělcům jako krmivo pro dobytek.

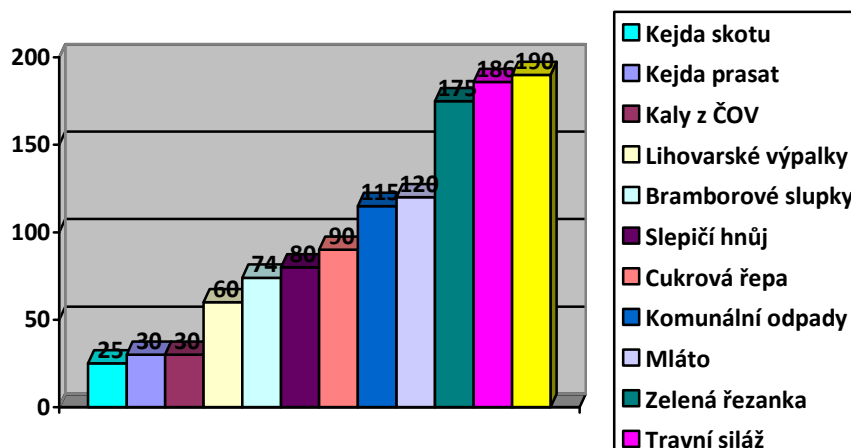
### 6.7 Získávání cukru

Při zpracovávání cukrové řepy pro výrobu cukru vznikají další vedlejší produkty, které jsou používány jako krmivo pro dobytek. Jsou to jednak tzv. vyslazené řízky, které odpadávají po extrakcích cukru, dále je to melasa, která je získávána oddělováním cukerných krystalů od zahuštěného cukerného sirupu. Jednou z možností je zhodnocení v bioplynových stanicích, neboť se tu jedná o dobře zfermentovatelné substráty. U řepných řízků je třeba počítat s relativně vysokým obsahem draslíku a chloru, které mohou za jistých okolností vést k inhibici (brzdění) fermentačního procesu. Cizí látky a mechanické příměsi se tu neočekávají, neboť už byly odděleny před nebo během získávání škrobu. Zvláštní požadavky na hygienická opatření nebo na skladování neexistují. Melasa je používána jako krmivo pro zvířata, jako surovina v továrnách na výrobu droždí nebo v lihovarech.

Tím jsou její zdroje na výrobu bioplynu omezeny, ovšem řepné řízky a melasa představují dobrý přídatný substrát pro produkci bioplynu. Produkty cukrovarnictví jsou jako substrát pro bioplynové stanice vhodné. Tyto substráty se ovšem na základě

vysokého obsahu sušiny nehodí k monofermentování. Ve spojení např. s kejdou představují ale dobrý přídatný substrát. Lisované řízky jsou silážovány, aby se docílilo delší trvanlivosti, melasa je uskladňována do odpovídajících předjímek. Skladování melasy a řepných řízků je nutné s ohledem na sezónnost produkce.

Graf č. 3 : Výnos bioplynu z jedné tuny čerstvé biomasy (m<sup>3</sup>/t)



Zdroj: vlastní zpracování na základě CZ Biom 2007: 7

## 6.8 Další plodiny s možností využití v BPS

### Šťovík

Krmný šťovík je vytrvalá plodina, u nás známá především jako netradiční plodina pro energetické využití, zejména ve formě pevné biomasy v suchém stavu pro vytápění budov. Hlavní výhodou šťovíku je jeho vytrvalost, čímž se šetří náklady na každoroční orbu a další základní agrotechnické zásahy. Každoročně brzy z jara obrůstá a ochrání tak dokonale půdu proti vodní erozi. Je vhodný zvláště do svažitých pozemků i chladnějších oblastí, neboť je také velmi tolerantní vůči mrazu. Krmný šťovík lze využívat k více účelům, některé lze i vhodně kombinovat (PETŘÍKOVÁ, 2009).

Pro využití šťovíku pro BPS je nutné jej sklízet zpravidla už v polovině května, kdy má nejlepší krmnou hodnotu, neboť má vysoký obsah dusíkatých látek (NL) i redukovaných cukrů. Později začíná rychle snižovat obsah NL a zvyšuje se obsah vlákniny, ale obsah cukrů je stále vysoký, což je také jedna z jeho dalších výhod. Pro využití šťovíku v BPS je důležité jeho snadné a kvalitní konzervování, což šťovík plně

zajistí právě díky vysokému obsahu cukrů. Také proto má krmný šťovík pro využití v BPS velkou perspektivu. Mimo to jej lze pěstovat i v chladnější oblasti, zvláště na svažitých pozemcích, kde se ne vždy dobře daří kukuřici, která je v současné době téměř výhradní plodinou používanou v zemědělských BPS. Šťovík tak může být vhodným doplňkem či částečnou náhradou kukuřice, protože náklady na jeho pěstování jsou nepochybně nižší (vydrží až 10 let bez nového setí), než náklady na každoroční nové setí kukuřice.

Reálné uplatnění krmného šťovíku bylo již potvrzeno přímo v provozu BPS v Podkrkonoší. Porost sklizený v květnu byl konzervován formou senáže ve vaku (zcela bez konzervačních přísad) a v průběhu zimy byl pak přidáván do fermentoru v BPS.

Průběh fermentace pokračoval po přidávku šťovíkové senáže bez jakýchkoliv závad, vývin bioplynu byl zcela plynulý, takže bylo možné výkon postupně zvyšovat až na maximum, tj. 250 KWh (v 1 generátoru). Tato bioplynová stanice je představitelem typické „zemědělské“ BPS, neboť se zde pro fermentaci využívá biomasa výhradně z vlastní zemědělské produkce, včetně cíleně pěstovaných plodin (kukuřice, čirok, šťovík) a travních porostů.

### Čirok

Celkové náklady na 1 tunu suché biomasy čiroku zrnového jsou relativně vysoké a pohybují se při výnosu kolem 11 t/ha kolem 1400 Kč. Čiroky navíc mají i v pozdějších termínech sklizně vysoký obsah vody proto se musí, pokud je máme skladovat nebo přímo spalovat v malých kotlích, dosušet. Z hlediska vysokého obsahu vody v rostlinách během celé vegetace jsou čiroky vhodnější pro výrobu bioplynu (obrázek č.12).

Uvedené výsledky prokázaly, že v našich teplejších oblastech především v zemědělské výrobní oblasti kukuřičné je možné pro energetické účely využít čiroku zrnového. Zatím však nemáme praktické poznatky s velkovýrobním pěstováním hlavně se sklizní a zpracováním biomasy čiroku na fytopalivo. Proto v současné době nelze s produkcí tohoto fytopaliva běžně počítat (PETŘÍKOVÁ a kol., 2006).

### Kostřava rákosovitá

Je to vysoká hustě trsnatá tráva, mohutnější než kostřava luční, na jaře brzy obrůstá a zůstává zelená dlouho do podzimu. Vyznačuje se vysokou tolerancí k půdním a

klimatickým podmínkám, snáší dobře sucho i krátkodobé zamokření, daří se jí dobře na stanovištích i s vyšší hladinou podzemní vody. Je vytrvalou rostlinou, dorůstá do výšky až 2 metrů. Kostřava má mimořádnou přizpůsobivost, je vyhraněně ozimého charakteru, odolná k suchu, odolná k záplavám, náročnější na živiny v půdě, dává přednost těžším půdám, avšak je citlivá k okyselení půd.

Kostřava rákosovitá má dle FRYDRICHA (2000) výnos suché hmoty 3,98 - 5,29 t/ha s energetickou výtěžností 78,7 - 105 GJ/ha

Kromě výnosu je dalším důležitým parametrem obsah sušiny. Ideální je co nejvyšší podíl sušiny v době sklizně, aby nebylo nutné sklízenou biomasu dosoušet, případně aby dosoušení proběhlo co nejrychleji a bez nutnosti dalšího vstupu energie. Pro využití v BPS je třeba sušiny v rozsahu 25 – 40 %.

### Křídlatka česká

Křídlatka je jednou z nejvýnosnějších plodin, se standardními výnosy sušiny od 15 do 30 tun na hektar. Jako pícnina nebo surovina pro bioplynovou stanici se může sklízet i vícekrát za rok v zeleném stavu, stejně i pro účely zpracování listů na biologicky účinné výtažky. Výtěžnost bioplynu v závislosti na době sklizně je však nutné ještě upřesnit. Mezi sklizněmi však musí zůstat nejméně jednoměsíční přestávka, aby rostliny mohly regenerovat. Z jednoho hektaru je možné docílit až 200 až 400 GJ/ha primární energie. (MOUDRÝ, STRAŠIL, 1996)

### 6.9 Komunální – biologicky rozložitelný odpad

Mezi tento druh substrátu pro bioplynové stanice patří například biologicky rozložitelný komunální odpad (BRKO), odpady z potravinářského průmyslu, maloobchodu – prošlé potraviny, zemědělské odpady, kaly z ČOV aj. Vstupní materiál je nesourodý, obsahuje nečistoty a může obsahovat choroboplodné zárodky. Z toho důvodu musí před vstupem do fermentace projít třídící linkou, homogenizací (podrcením na jemnou frakci) a hygienizací, neboli likvidací choroboplodných zárodků zahřátím substrátu na stanovenou teplotu. Vzhledem k různorodosti složení bioodpadů, musí být celý proces fermentace vhodně řízen, aby fermentace probíhala optimálně a nedocházelo ke kolapsům procesu. Fermentační zbytek je potom využitelný jako organické hnojivo – pro zemědělce či zahrádkáře.

Výhody:

- V ČR zatím není ani jedna čistě odpadová stanice – možnost využít potenciál
- Stanice má příjem nejen z prodeje energií, ale i za zpracování bioodpadu
- Cena za zpracování bioodpadu nadále poroste s tím, jak se bude zdražovat skládkovné
- Moderní odpadové bioplynové stanice mají vyspělé automatizované technologie, které eliminují negativní vlivy na své okolí.
- S dotacemi má investice zajímavou ziskovost s dobou návratnosti okolo 5 až 7 let
- Odpadají náklady na cíleně pěstovanou biomasu (kukuřičnou siláž)

Nevýhody:

- Složitější povolovací proces - lidé často nejsou takovým projektům nakloněni, což povolovací proces komplikuje.
- Investiční náklady jsou vysoké.
- Získání vstupních surovin – neexistuje trh s bioodpadem

## 7. DIGESTÁT

Digestát je zbytek po fermentačním procesu vznikající anaerobní fermentací při výrobě bioplynu. Skládá se z nerozloženého zbytku nerozloženého substrátu a biomasy organismů, které jsou přítomny v anaerobní fermentaci. Hnojení digestátem je podobné jako při hnojení kejdou, vždy je však vhodné vzít v úvahu aktuální obsah dusíku. Při průměrném obsahu 0,5 % celkového dusíku a při dávce jedné tuny digestátu se do půdy dodá 5 kg N/ha. (VÁŇA, 2007)

Proti statkovým hnojivům mají digestáty obvykle vysoký celkový obsah dusíku od 0,2 do 1 % v původní hmotě, pH mezi 7 – 8 a sušinu v rozmezí od 2 do 13 %. (HAVLÍČKOVÁ, 2008)

Dělí se na dvě hlavní složky a to :

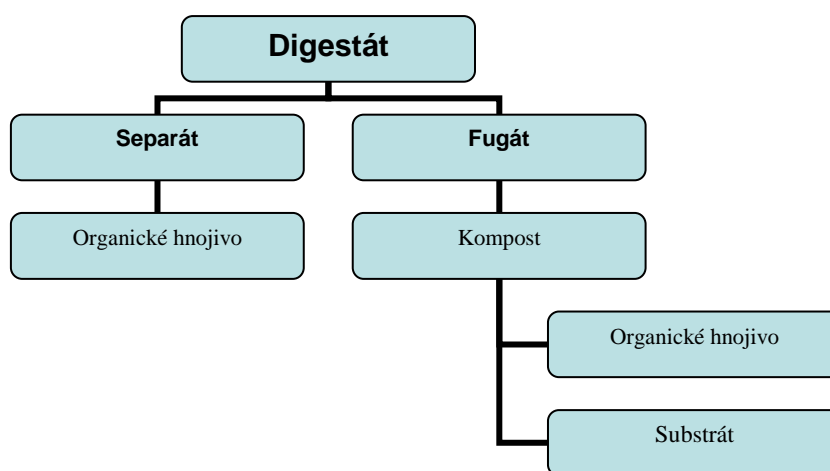
- separát – tuhý vyhnílý zbytek, má snížený obsah biologicky rozložitelných látek – dle doporučení MŽP lze využít k terénním úpravám, jako hnojivo, nebo přídavek kompostů

- fugát – tekutý produkt anaerobního procesu s charakterem odpadní vody, s obsahem produktů po vyhnívacím procesu, pokud je separován, bývá zpravidla odváděn do ČOV (obrázek č. 14)

### 7.1 Použití digestátu

Podle legislativy je digestát (obrázek č. 13) organické hnojivo typové, pokud splňuje podmínku minimálně 25 % spalitelných látek v sušině a minimální obsah dusíku 0,6 % v sušině, a spadá do kategorie hnojiv s rychle uvolnitelným dusíkem. Využití i dávkování digestátu jako hnojiva je srovnatelné s kejdou, s ohledem na obsah živin, především dusíku. Pro aplikaci platí obdobné zásady definované pro hnojení tekutými organickými hnojivy. Pro kukuřici je vhodné rozdělit celkovou aplikovanou dávku na 2 – 4 aplikace. První dávku je vhodné aplikovat při předseťové přípravě, druhou ve fázi 4 – 6 listů. Případné další aplikace jsou závislé na aplikační technice a průjezdnosti porostem (KOUTNÝ, 2010).

Obr. č. 4 : Schema složení digestátu



Při využívání digestátu jako hnojiva mohou vznikat regionální problémy v souvislosti se změnou využívání zemědělských pozemků a osevních postupů zejména tam, kde extenzivní obhospodařování nahrazuje intenzivní. Například podíl kukuřice nad 70 % je z hlediska ochrany vod problematický, i když evropská směrnice (Cross Compliance) jej připouští. Zvýšené pěstování kukuřice pro energetické využití s sebou nese zvýšené

nebezpečí eroze, často nadměrné hnojení (zejména digestátem) a zvýšené používání prostředků proti nemocem a škůdcům rostlin.

Technická a ekonomická stránka využití digestátu je při přípravě výstavby a provozu bioplynové stanice často opomíjená. Potenciální vlastník a provozovatel bioplynové stanice si ne vždy uvědomuje, že při fermentaci nejenom kejdy hospodářských zvířat, ale i fytomasy, vzniká objemově prakticky stejné množství digestátu, jako byl objem zpracovávané suroviny. U bioplynové stanice s instalovaným elektrickým výkonem 1 MW, zpracovávající rostlinnou biomasu (kukuřičnou a travní siláž), vzniká ročně 15 – 20 tisíc tun digestátu. To znamená, že je potřeba do projektu zahrnout náklady na uskladnění a potřebnou techniku pro aplikaci vzniklého digestátu, v souladu s platnými legislativními předpisy (SZIF, 2008).

Separát, pevný odpad z bioplynové stanice, lze používat nejen ke hnojení, ale i ke spalování. Po vysušení se na peletovací lince zpracuje do formy pelet a lze jej nabídnout pro topné účely. Do separátu je možno přimíchávat i další příměsi, např. slámu, seno, rostlinné zbytky a piliny. Digestát v bezvodém stavu může mít výhřevnost i kolem 18 MJ/kg.

## **8. BIOPLYNOVÉ STANICE**

### **8.1 Rozdělení bioplynových stanic**

Bioplynové stanice (BPS) v naší republice v dnešní době dodávají do sítě elektřinu vyrobenou z různorodých substrátů, kde největší podíl tvoří rostlinná biomasa. Rozvoj využití biomasy i jejího pěstování pro energetické účely je součástí řešení ekologických a energetických otázek. Součástí je také řešení problémů zemědělské politiky rozvoje venkova, která je intenzivně podporována Evropskou unií. Využití alternativních zdrojů pro výrobu elektřiny se výrazně zlepšilo zavedením státní podpory podle zákona č. 180/2005 Sb., o podpoře výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, který garantuje výkupní ceny na dobu nejméně 15 let.

Tyto stanice rozdělujeme do tří základních kategorií:

- zemědělské (farmářské) – zpracovávají pouze substráty ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj) a plodiny cíleně pěstované k energetickému využití s největším zastoupením kukuřice. Jsou nejméně problematické z hlediska



zpracovávaných vstupů a jejich schvalovací proces je nejjednodušší (obrázek č. 16 a 17)

- kofermentační (průmyslové) – zpracovávají výhradně, anebo podílově rizikové substráty (jateční odpady a kaly z čističek odpadních vod)
- komunální – zde se zpracovávají komunální bioodpady z údržby městské zeleně, odpady z jídelen a tříděných odpadů z domácností

## 8.2 Princip bioplynové stanice

Principiálně se setkáváme se dvěma druhy procesů, a těmi jsou mokrá fermentace - zpracování biomasy s obsahem sušiny < 12 %, a suchá fermentace - zpracování biomasy s obsahem sušiny 20 % až 60 %. Z hlediska reakční teploty (resp. druhu anaerobních mikroorganismů) se v praxi nejčastěji setkáme s procesy:

- mezofilní (35 °C až 40 °C) - např. při zpracování prasečí a hovězí kejdy v zemědělství
- termofilní (55 °C) - např. zpracování kalů na ČOV (vyšší teplota pro hygienizaci kalů).

Anaerobní fermentace je doprovázena velmi výraznou redukcí přirozené pachové zátěže (fermentace probíhá v plynotěsném reaktoru). Průměrná doba zdržení biomasy v reaktoru činí 20 - 30 dnů.

Zásobování bioplynové stanice (obr. č. 18) je od počátku až do konce proces řízený člověkem. Z jednotlivých druhů biomasy dostupných v zemědělském podniku můžeme využít k fermentaci např. kukuřici, trávu, zbytky cukrovky, obiloviny, řepku, odpady z živočišné výroby apod. Aby došlo k maximální efektivitě při výrobě elektřiny z biomasy, je nutné zabezpečit pravidelný přísun kvalitního a homogenního substrátu v dostatečném množství. Jako hlavní zdroj k tomuto účelu je využívána právě kukuřice, která představuje přes 50 % hmotnosti všech substrátů. V přepočtu na obsah energie to může být až 80 % energetického obsahu všech substrátů.

Hlavním důvodem pro využití kukuřičné píce k výrobě bioplynu je relativně vysoká produkce bioplynu z jednotky hmotnosti a v praxi už dobře zavedené agrotechnické postupy při jejím pěstování, následné sklizni a konzervaci. Produkce z tuny kukuřičné siláže může být až 220 m<sup>3</sup> bioplynu, ale i zde jsou rozdíly mezi pěstovanými hybridy kukuřice.

PASTOREK, KÁRA (2003) popisují, že řízená anaerobní fermentace je způsob ve kterém směsná kultura mikroorganismů a bakterií rozkládá biologicky odbouratelnou

organickou hmotu bez přístupu vzduchu s výslednými produkty bioplynu s obsahem metanu 55 – 70 % a digestátu, který lze dále využít jako hnojivo. V „suché“ technologii anaerobní digesce se pracuje se sušinou vsádky vyšší než 25 %, většinou v rozpětí 30 – 35 %, protože v tomto rozpětí byla zjištěna největší produkce bioplynu až 1,5 m<sup>3</sup> na 1 m<sup>3</sup> fermentačního prostoru a den při 40 % destrukci organické hmoty bez překročení meze inhibice koncentrace nižších mastných kyselin (obrázek č.15). Nejjednodušší technologický systém pro biozplynování tuhých biodegradabilních odpadů použitelný mimo jiné i pro fytomasu je diskontinuální vsádkový systém (Batch – systém), který byl během posledních 60 let vytvořen v různých modifikacích. Nejvíce rozšířenou variantou jsou tři vsádkové fermentory, které jsou střídavě plněny a vyprazdňovány v kombinaci s integrovaným plynojemem v jednom subjektu. Technologie založené na tomto principu se liší přípravou substrátu, očkovaním, perkolací procesní tekutiny a způsobem odvodnění. Tyto fermentory navrhl Žilka v r. 1979. Substrát se nasype do drátěného koše s průměrem 6 m, na který se po naplnění nasadí tepelně izolovaný zvon, který má zařízení pro odvod plynu do plynojemu. Tento systém je využitelný pro kofermentaci fytomasy s chlévskou mrvou.

Kontinuální systém pracující se sušinou substrátu kolem 30 %, vznikl zdokonalením fermentoru z návrhu Wong – Chong (1975), ve které substrát kontinuálně prochází fermentorem, přičemž část zfermentovaného substrátu se vrací na počátek procesu, kde se mísí znovu s čerstvým substrátem.

Nejnámější je systém vzniklý v Belgii, kde se používá válcový biofermentor, který se vyprazdňuje šnekovým mechanismem (obr. č. 21), a externí čerpadlo pro recirkulaci tekuté části substrátu. Švýcarský systém je založen na ležatém válci, ve kterém se část substrátu pohybuje horizontálně a je promíchávána s recirkulující procesní kapalinou.

Významným technologickým prvkem většiny systémů pro anaerobní digesci fytomasy je recirkulace kapalné fáze. V jednostupňových systémech je zpravidla tato recirkulace spojena s odvodněním zfermentovaného substrátu. Recirkulací procesní kapaliny (VÁŇA, ŠLEJŠKA, 1998) stoupá doba jejího zdržení v systému ve srovnání s dobou zdržení sušiny, prodlužuje se zdržení mikrobiálních částí a zvyšuje se mikrobiální hustota ve fermentorech. Akumulace nezmetabolizovaných rozpustných látek např. anorganických solí, je v tuhé části substrátu zpravidla vyšší než v tekuté části. Tím se stabilizuje fermentační proces a snižují se teplotní ztráty. Tento systém byl navržen spolu s kompostovací linkou Váňou a Šlejškou r. 1998.

Zvýšení biologické rozložitelnosti a tím i výtěžnosti metanu lze dosáhnout vhodnou předúpravou suroviny. Všechny metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymovému rozkladu, u některých metod dochází i k hydrolýze makromolekulárních látek.

### 8.3 Základy kvasné biotechnologie BPS

VÁŇA, ŠLEJŠKA (1998) popisují, že bioplyn vzniká při anaerobním rozkladu organických látek při zamezení přístupu kyslíku. Z principu je každý organický materiál vhodný pro výrobu bioplynu, ale ne všechny složky jsou kvalitně rozložitelné, silné dřevité rostliny s vysokým podílem ligninu se rozkládají jen velmi pomalu. Proto nejsou ekonomicky vhodné pro výrobu bioplynu. S dozráváním všech energetických plodin postupně dochází ke zvyšování podílu ligninu, kterému se můžeme vyhnout pouze včasnou sklizní a jejich dobrou konzervací.

Cílem kvasného procesu je vytvoření hořlavého metanu s podílem 50 – 75 %. Vyššího podílu je možno dosáhnout pouze s přidavkem kosubstrátů.

Vedle metanu je další složkou v plynné směsi nejvíce zastoupen oxid uhličitý v rozsahu 25 – 50 %, dále voda 2 - 7 %, sirovodík 2 %, dusík - méně než 2 %, vodík – méně než 1 % a amoniak do 1 %.

Kvalitu bioplynu je určena poměrem hořlavého metanu k nehořlavému oxidu uhličitému, který zvyšuje náklady na skladování bioplynu. Obsah metanu je přímo ovlivněn složením živných látek substrátu, teplotou a v neposlední řadě i dobrým řízením celého procesu. S obsahem metanu menším než 50 % přichází problémy v podobě nezaručené správnosti chodu a výkonnosti motoru kogenerační jednotky tepelné elektrárny.

Dále je problémovým plynem sirovodík, který způsobuje škody na vedení plynu a motoru jeho korodováním, proto je nutno bioplyn odsiřovat, spolu s odkondenzováním vody a amoniaku.

### 8.4 Předúprava surovin

V běžném provozu se však mohou vyskytnout situace, kdy některé živiny se stanou limitujícími a naruší optimální rovnováhu společenství mikrobů. Výzkum v této

oblasti je na svém počátku a výsledky ukazují, že každý fermentor představuje individuální prostředí, a že velká část bakterií a metanogenních archeí (některé studie uvádějí až 80 %) fungujících v bioplynovém fermentoru je dosud neznámá, nepopsaná a tyto mikroorganismy se řadí mezi tzv. nekultivované.

To na jedné straně poukazuje na to, že bioplynový fermentor je do jisté míry dosud neznámým prostorem, na druhé straně však jeho pochopení, prozkoumání a identifikace neznámých mikroorganismů může přinést významný posun v jeho fungování, a tedy i v účinnosti (VÁŇA, 2006).

Zvýšení biologické rozložitelnosti a tím i výtěžnosti metanu lze dosáhnout vhodnou předúpravou suroviny. Všechny metody předúpravy jsou založeny na zpřístupnění složek materiálu enzymovému rozkladu. Zmenšením velikosti částic mechanickou nebo jinou dezintegrací dochází k podstatnému zvětšení povrchu a tím i k větší dostupnosti enzymového rozkladu, u některých metod dochází i k hydrolýze makromolekulárních látek.

Vzhledem k tomu, že v případě rostlinných substrátů je limitujícím krokem pro rychlost celkového rozkladu hydrolýza lignocelulóзовého komplexu, budou s úspěchem aplikovatelné jen ty technologie, které hydrolýzu podporují.

Metody předúpravy jsou většinou ekonomicky a technicky náročné a byly vyvinuty pro zpracování fytomasy na jiné produkty (high value products) a pro BPS se v provozním měřítku zatím neuplatňují. Tyto technologie většinou vyžadují vnos chemikálií a energie. V případě chemických nebo i termických metod produkt předúpravy často vykazuje toxické účinky na anaerobní biomasu.

Zatím nejsou prozkoumány závislosti funkce enzymových přípravků různých výrobců na změny technologických podmínek anaerobní fermentace. Negativním faktorem je také vysoká cena a nutnost pravidelného dávkování do reaktoru.

Další úkoly zdokonalování funkce BPS spočívají v optimalizaci procesů anaerobní fermentace z hlediska požadavků jednotlivých skupin mikroorganismů, hledání a selekci unikátních mikroorganismů pro intenzifikaci metanizačního procesu nebo některého jeho stupně, izolace vhodných mikrobů z BPS, izolace vhodných mikrobů z jiných nik, než jsou BPS, ve studiu dosud nekultivovaných mikroorganismů bioplynového fermentoru, aplikaci nových hydrolytických bakterií do bioplynových fermentorů a aplikaci anaerobních hub do bioplynových fermentorů.

V oblasti předúprav se bude jednat o vylepšení metod skladování (silážování) ke zlepšení rozložitelnosti skladovaného materiálu a v hledání vhodných biologických metod předúpravy – např. oddělená hydrolýza, využití speciálních mikroorganismů apod.

## 8.5 Vznik bioplynu

Proces bioplynu se rozděluje do čtyř vzájemně po sobě jdoucích dílčích kroků. Za prvé je to hydrolýza (štěpení substrátu), okyselení (acidogeneze), tvorba kyseliny octové (acetogeneze) a nakonec tvorba metanu (metanogeneze).

Jednotlivé stupně přeměny organického materiálu jsou řízeny různými skupinami bakterií, pracujících nezávisle na sobě.

## 8.6 Hydrolýza

Substrát, který se vkládá do zařízení na výrobu bioplynu je ve formě vysokomolekulárních nerozpuštěných sloučenin, jež se v procesu hydrolýzy rozloží na jednotlivé elementy, které jsou pak rozloženy bakteriemi, uhlohydráty, proteiny a tuky jsou rozloženy na nízkomolekulární sloučeniny – uhlohydráty na jednoduché cukry, proteiny na aminokyseliny a tuky na mastné kyseliny působením hydrolytických bakterií.

Hydrolýza je krokem, určujícím rychlost výroby bioplynu. Pomalý rozklad je příčinou dalšího pomalého procesu, proto je nutno používat substráty dobře hydrolyzovatelné.

## 8.7 Okyselení

Produkty hydrolýzy se dále v tomto procesu rozkládají v této další fázi. Bakterie přijímají do vnitřku buněk vzniklé nízkomolekulární sloučeniny, dochází tak k dalšímu rozkladu, hlavně na kyseliny propionovou, máselnou, valerovou a mléčnou.

Dále pak vznikají alkoholy, aldehydy, kyselina octová a mravenčí, vodík a oxid uhličitý.

Při této přeměně spotřebovávají bakterie zbývající kyslík a vytváří tak anaerobní prostředí pro vznik metanu. V této fázi se může odehrát i přeměna kyseliny octové přímo na metan metanotvornými bakteriemi (WARD, 2008).

Tab. č. 9 : Optimální teplotní pásma pro různé druhy bakterií

Bakterie	Teplota fermentovaného materiálu ° C
Bakterie psychrofilní	15 - 20
Bakterie mezofilní	37 - 43
Bakterie termofilní	55

## 8.8 Vznik kyseliny octové

Látky, které vznikly při acidogenezi se dále přeměňují na kyselinu octovou, vodík a oxid uhličitý. Vstupními látkami pro tento proces jsou kyselina propionová, valerová, mléčná a mravenčí, které vznikly v předchozím procesu.

## 8.9 Vznik metanu

Tento proces je posledním krokem k výrobě bioplynu. Metan se tvoří pomocí příslušných bakterií bez přístupu vzduchu – anaerobně, jeho přítomnost by inhibovala nebo zničila metanogenní bakterie, které jsou schopny měnit oxid uhličitý, některé umí přeměnit vodík, ale jen málokteré přeměňují kyselinu octovou.

Až 70 % vytvořeného metanu vzniká využitím kyseliny octové, vyvinuté v acetogenní fázi a 30 % vzniká metanizací oxidu uhličitého a vodíku. Tvorba metanu z ostatních látek např. z alkoholů hraje pouze druhotnou roli.

## 8.10 Prostředí pro bakterie

S různou úrovní generační doby bakterií (doba, za kterou jsou schopny se množit – zdvojnásobit počet buněk) hrozí nebezpečí, že dojde k překyselení zařízení – kyselinotvorné bakterie se zmnoží rychleji a metanobakterie nebudou schopny zvládnout přebytek kyselin – omezí se aktivita bakterií, čímž klesne výtěžnost metanu a nakonec může dojít i ke zhroucení celého procesu.

Proto se tomuto úkazu čelí omezením nebo zastavením přísunu substrátu, čímž se poskytne dostatek času metanobakteriím rozložit kyseliny.

## 8.11 Bioplyn

ČERNÝ (2010) popisuje, že bioplyn je produktem látkové výměny metanových bakterií, kdy za nepřístupu vzduchu ve vlhkém prostředí dochází k tzv. anaerobní fermentaci. Jedná se o směs plynů, z nichž hlavními jsou metan  $\text{CH}_4$  a oxid uhličitý  $\text{CO}_2$ . Vznikají mikrobiálním rozkladem organické hmoty za nepřístupu vzduchu (tzv. anaerobní fermentací nebo digescí). Energeticky využitelný bioplyn je vyráběn ve specializovaných technologických zařízeních tzv. bioplynových stanicích. Bioplyn také vzniká v tělesech komunálních skládek, kde bývá pro další využití jímán systémem sběrných studní a čerpacích stanic. V principu se jedná o podobný proces jako při silážování rostlinné

biomasy v silážních žlabech, kde chceme konzervovat píci v nejlepší možné kvalitě tak, jak byla získána po sklizni.

Hlavní výhřevnou složkou bioplynu je  $\text{CH}_4$ . V závislosti na původu bioplynu (= druh biomasy, ze které vznikl) může obsahovat některé nežádoucí sloučeniny. Tyto komponenty mají především vliv na životnost vybraných technologických celků. Z hlediska legislativy ochrany ovzduší je nutno především věnovat pozornost dodržení emisních limitů sirnatých sloučenin. Proto jsou některé bioplynové stanice osazeny i odsiřovacími systémy (Metodický pokyn Ministerstva ŽP).

### 8.12 Čištění bioplynu

Dále je nutné klást důraz na čištění bioplynu, tj. odstranění vody a stopových nečistot (amoniak, sulfan) a vlastní upgrading (zušlechtnění), kdy je separován oxid uhličitý a metan. V úvodu výčtu jednotlivých technologií je pak třeba zdůraznit, že neexistuje jediná nejlepší technologie separace plynů a jakákoliv z následujících technologií může být v daném projektu vyhodnocena technologicky nejvhodnější. Při vlastním posuzování je zapotřebí vždy komplexně posuzovat požadovanou kapacitu zařízení, výstupní kvalitu plynů a předávací tlaky. Zvláštní kapitolou je pak integrace tepelných toků předešlých a následných technologií (STRAKA, 2010) (obrázek č. 23).

PSA (Pressure Swing Adsorption, adsorpce se změnou tlaku) patří v současné době spolu s absorpcí v kapalinách mezi nejpoužívanější technologie zušlechťování bioplynu. Při adsorpci se váží oddělované molekuly (adsorbáty) ze směsi plynů na porézní pevné látky (adsorbenty). Účinek adsorpce je podpořen nízkou teplotou a vysokým tlakem.

Vliv teploty na adsorpci je však spíše malý, a proto není nutné přes vývin tepla během adsorpce adsorbér chladit. Z bezpečnostně-technických důvodů by však u některých adsorbérů měla být teplota kontrolována, a to z důvodu zabránění požáru adsorbéru, případně by mělo být připraveno nouzové chlazení. Jako adsorbent může sloužit řada různých materiálů, avšak pro zušlechtnění bioplynu se přednostně využívá aktivní uhlí.

Před vlastním procesem PSA je bioplyn zbaven sulfanu, případných alkylsulfanů a dalších stopových nečistot. Hlavním důvodem je vysoká afinita těchto látek k použitým adsorbentům, čímž se výrazně zkracuje životnost hlavních separačních modulů technologie PSA. Následuje komprese na provozní tlak 4 – 7 barů. Stlačením zahřátý plyn (cca 170 °C) je nutné ochladit na teploty mezi 10 a 20 °C, což je spojené s oddělením kondenzátu. V dalším kroku proudí stlačený a předupravený surový plyn zdola

adsorbérem. Přitom je do adsorbentu navázán oxid uhličitý, voda a malé množství metanu (cca 4 %). Z adsorbéru vychází plynný produkt s 95 – 98 % obj. metanu, a rosném bodu -70 až -100 °C. Po určité době provozu, která závisí na velikosti zařízení, je adsorbent téměř nasycen. Proud surového bioplynu je proto přepnut do zregenerované adsorpční nádrže. V dalším kroku je tlak v adsorbéru snížen na tlak okolí. Uvolněný plyn obsahuje jako hlavní složku oxid uhličitý a malé množství metanu. Pro zvýšení výkonu a urychlení desorpce je adsorbér evakuován na podtlak od 50 do 100 mbarů. Odtahovaný plyn obsahující metan je vždy spalován, aby nedocházelo k nepřipustným emisím metanu do atmosféry. Vznikající teplo je možné technologicky využít. Pro kontinuální provoz je vždy nutné pracovat s několika adsorbéry, přičemž jejich počet, objem, způsob zapojení, provozu a regenerace mohou být různé podle konkrétních podmínek a dodavatelů.

## 9. EKONOMICKÁ EFEKTIVNOST BPS

Náklady i výnosy související se zařízeními k výrobě bioplynu a produktů bioplynu nelze dobře jednotně generalizovat, neboť souvisí velmi úzce s konkrétním provedením daného projektu a mnoha dalšími doprovodnými faktory. Lze o nich hovořit pouze v teoretické rovině a tím tak přibližněji charakterizovat tuto oblast nákladovosti a výnosnosti trhu s bioplynem.

Průměrné investiční náklady bioplynových stanic se dle literatury pohybují:

- pro zemědělské bioplynové stanice v hodnotě přibližně 100 tis. Kč/kW instalovaného výkonu
- a pro komunální bioplynové stanice mezi 200-250 tis. Kč/kW (VÁŇA, 2009)

Jejich výše je mimo jiné dána odlišným charakterem zpracovávaných surovin a tím i náročnějšími požadavky na technická zařízení pro komunální BPS. Obecně platí, že čím menší BPS tím vyšší investiční náklady na jednotku kW.

Výše investičních nákladů se odvíjí od zvolené technologie k výrobě a zpracování bioplynu, konkrétní dodavatelské firmy, instalovaného výkonu a dalších. Vhodná volba technologií patří k základním pilířům provozuschopnosti a udržitelnosti bioplynové stanice. Důležitým ukazatelem při výběru technologie by neměla být pouze cena, ale i kvalita projevující se jak dlouhou životností zařízení, pravidelným servisem či bezpečnostními parametry tak i optimální energetickou náročností. Investiční náklady je možné snížit



například využitím stávající infrastruktury zvoleného pozemku (přístupové cesty, vodovod, kanalizace atd.), a také, což je běžná praxe, z části využít možnosti vhodných dotačních titulů.

K jedné z nejvýznamnějších položek těchto nákladů patří například náklady na pořízení materiálu k anaerobní fermentaci. Nejefektivnější je prvně odhadnout vlastní dostupnost vstupních surovin a teprve poté zvolit typy a velikosti zařízení k jejich zpracování. V praxi bývá postup u řady provozovatelů právě opačný. Z pozice maximálního zefektivnění by BPS měla v první řadě zpracovávat ten materiál, který má k dispozici zdarma, v souvislosti s tím vznikají pouze náklady za manipulaci. Nejčastější je např. hnůj nebo kejda hospodářských zvířat, rostlinná výroba a odpady z ní či zbytky krmiv, a teprve potom přicházejí na řadu ostatní suroviny.

Spíše nevýhodné z pohledu finanční náročnosti (a paradoxně nejčastěji využívaným řešením) se jeví cílené pěstování energetických plodin, mezi kterými díky vysokým energetickým výnosům a malým nákladům na pěstování je právě kukuřice. Komunální bioplynová stanice na rozdíl od zemědělské, může na straně využívaných vstupů kumulovat už příjmové položky rozpočtu. Jsou to hlavně příjmy z poplatků za zpracování a odvoz odpadu, které se v ČR pohybují mezi 350 - 500 Kč za 1 t bioodpadu, v zahraničí jsou tyto hodnoty ale zpravidla až dvakrát vyšší. V obou případech je nutné smluvně zajistit dodávky vstupů z hlediska dlouhodobosti, stálosti a plynulosti a dále na minimum snížit náklady s jejich přepravou.

Mezi provozní nákladové položky (individuálně závislé na konkrétních bioplynových stanicích) patří dále náklady na:

- pracovní sílu (obsluha zařízení, administrativa, řízení atd.);
- náklady na servis a údržbu objektu, které se úměrně zvyšují se stářím a opotřebením zařízení (opravy, výměna...);
- dále například náklady na manipulaci se vstupem nebo s digestátem;
- možné náklady na uplatnění digestátu
- náklady na monitoring vyplývající z řady zákonů (zákon o odpadech, zákon o ovzduší, veterinární zákon)
- případné další jako nájmy, odpisy, úhrady úvěrů, pojištění atd. (VÁŇA, 2009)

Největším zdrojem příjmů bioplynových stanic v České republice je zejména výroba elektrické energie v kogenerační jednotce.

Dalším zdrojem příjmů mohou být například:

- příjmy z prodeje tepla
- příjmy z případného prodeje upraveného digestátu na palivo
- příjmy za zpracování a odvoz odpadu (komunální BPS)

V souvislosti s provozem bioplynové stanice vznikají provozovatelům též značné úspory. Například úspora z vlastního zásobování elektrickou energií či teplem nebo úspora hnojiv pokud se jedná o zemědělskou BPS.

Po zohlednění všech potencionálních nákladů a výnosů se dle MATĚJKY z CzBA pohybuje reálná doba návratnosti investice do bioplynových stanic v rozmezí od 6 do 12 let.

Tab. č. 10 : Producenti bioplynu v ČR

	<b>Bioplyn z ČOV</b>	<b>Skládkový plyn</b>	<b>Zemědělské BPS</b>	<b>Komunální BPS</b>
Počet instalací	44	61	124	6
Instalovaný výkon v MW	17,198	20,25	88,998	3,114
Vyrobená elektřina v GWh	47,3	89,7	439,52	14,28
Produkce biometanu v Nm <sup>3</sup> /rok	0	0	0	0

*Zdroj: vlastní zpracování na základě dat Dr. Jana Štambaského (CzBA)*

Příjmy za prodej elektrické energie jsou tvořeny výkupními cenami nebo tržní smlouvenou cenou a zeleným bonusem. Dotované ceny zatím stále zvýhodňují při prodeji elektřiny zemědělské bioplynové stanice, které jsou ve výhodě oproti ostatním menší spotřebou elektrické energie potřebné k vlastnímu provozu.

V současné době je na stránkách ERÚ ([www.eru.cz](http://www.eru.cz)) již zveřejněn návrh cenového rozhodnutí pro obnovitelné zdroje na rok 2013 a v krátké době bude podepsána jeho konečná verze. Do konečného výpočtu se oproti doposud platnému stavu promítl nový zákon o podporovaných zdrojích energie, který stanovuje, aby cena byla vypočtena na prostou patnáctiletou návratnost, kde není započtená hodnota peněz v podobě úroků.

BELADA (2012) píše, že výraznější snížení nastalo od 1.1.2013 u bioplynových stanic o velikosti nad 550 kW, kde je základní cena 3,04 Kč/ kWh, a u stanic do 550 kW je základní cena 3,55 Kč/kWh. K těmto základním cenám je možné připočíst příplatek za odchylku 0,035 Kč/kWh + příplatek za decentrální výrobu 0,014 Kč/kWh + očekávaný lepší prodej obchodníkovi, než jsou spotové ceny o cca 0,03 Kč/kWh a až 0,5 Kč/kWh za využití efektivního tepla v podobě příplatku KVET (kombinovaná výroba elektřiny a tepla), který ale nebude nikdy čerpán v plné míře. Podle našeho odhadu bude z KVET maximálně čerpáno 0,35 Kč/ kWh, protože do efektivně využitého tepla není kalkulován ohřev fermentorů. Když se tyto jednotlivé ceny sečtou, tak vyjde konečná cena u BPS do 550 kW = 3,9 až 4,0 Kč/kWh a u BPS nad 550 kW = 3,4 až 3,5 Kč/kWh. Pro porovnání do 31.12. 2012 platila garantovaná cena 4,12 Kč/kWh. U BPS, které byly uvedeny do provozu do 31.12. 2012, se podmínky nemění.

U BPS spuštěných do konce minulého roku se podařilo, oproti zveřejněnému návrhu, vyjednat navýšení zeleného bonusu. Konečný zelený bonus bude 3,06 Kč/kWh (původně byl v návrhu 2,97 Kč/kWh) a po dlouhém jednání je na stránkách ERÚ zveřejněn výklad, který uvádí, že provozovatelé bioplynových stanic spuštěných do konce roku 2012 budou moci v průběhu 20 let garantované ceny, kdykoliv přestoupit ze systému zelených bonusů do systému garantované výkupní ceny.

Tab. č. 11 : Návrh výkupních cen pro BPS na rok 2013

Technicko-ekonomické parametry	2012	2013
měrné investiční náklady [tis. Kč/kWe]:		
do 550 kW vč.	100	115
nad 550 kW		85
doba využití [h]:	7500	7300
palivové náklady [Kč/kWe]	1,6	1,8

*Zdroj : Energetický regulační úřad (2012)*

## 10. SLOŽENÍ BIOPLYNU

Jednou měsíčně se provádí analýza a rozbor biomasy nacházející se ve fermentoru. Týká se obsahu sušiny, chemického složení, pH a dalších hodnot. Tyto naměřené

jednotky udávají, v jakém stavu se obsah fermentoru nachází, jak aktivní jsou metanogenní bakterie produkující plyn.

Parametry měření jsou:

- CH<sub>4</sub> (metan)
- CO<sub>2</sub> (oxid uhličitý)
- O<sub>2</sub> (kyslík)
- H<sub>2</sub> (vodík)
- H<sub>2</sub>S (sirovodík)
- NH<sub>3</sub> (amoniak)
- C/N (poměr uhlíku a dusíku)
- FOS-TAC ( poměr těkavých organických kyselin a celkového organického uhlíku)

Tab. č. 12 : Složení bioplynu

Složka bioplynu	Obsah v %
Metan CH <sub>4</sub>	45 -75
Oxid uhličitý CO <sub>2</sub>	25 -48
Vodík H <sub>2</sub>	0-3
Sulfan, sirovodík H <sub>2</sub> S	0,1 - 1
Dusík N	1 - 3
Amoniak NH <sub>3</sub>	stopy

*Zdroj : Jelínek a kol, 2001*

Rušivé látky v bioplynu :

#### Sirovodík H<sub>2</sub>S

- silně toxický pro člověka, napadá sliznici očí a horních cest dýchacích
- silně korozivní účinky na částech, které se dostávají do kontaktu s H<sub>2</sub>S
- zvláště citlivě reagují kogenerační jednotky, v důsledku okyselení motorových olejů se snižují chladicí a mazací účinky olejů – častější výměna
- poškození oxidačních katalyzátorů kogeneračních jednotek
- vyšší náklady na údržbu

#### Amoniak NH<sub>3</sub>

- vysoké hodnoty NH<sub>3</sub> důsledkem proteinových substrátů

- permanentní odplyňování od hodnoty pH nad 8,2
- příliš vysoké spalovací teploty v kogenerační jednotce
- omezení životnosti kogeneračních jednotek
- vyšší náklad na údržbu

### Analýza FOS – TAC

Parametrem vyhodnocování FOS (těkavé organické kyseliny), TAC (celkový anorganický uhlík) a FOS – TAC (vypočtený poměr obou hodnot) získáváme nejrychlejším způsobem poznatky o stavu biologie v zařízení na výrobu bioplynu. Vyjma hodnoty kyselosti se zde získává též vyrovnávací (pufrovací) hodnota. Stanovením FOS-TAC zjistíme vlastní stabilitu procesu při anaerobní fermentaci.

Kyseliny, které vzniknou ve fermentoru mohou brzdit činnost metanogenních bakterií, tento jev se zvětšuje se zvětšující se hodnotou pH substrátu.

Vzhledem k tomu, že substrát ve fermentoru je vyrovnávacím systémem (když je hodnota pH přechodně stabilní), nestačí nám hodnota pH jako jediná veličina při posouzení stability procesu. Hodnota FOS-TAC zohledňuje přítomnost vyrovnávacího systému a tím umožní včasnou změnu procesu ve fermentoru.

Výhody :

- rychlé výsledky v řádu několika hodin po analýze vzorku
- velmi dobré biologické vyhodnocení
- vyhodnocuje biologický stav v zařízení
- upozornění na změny ve fermentačním procesu

Tab. č. 13 : Teoretické hodnoty výnosů bioplynu z vybraných surovin

Surovina	Výnos bioplynu m <sup>3</sup> /t	Obsah metanu (%)
<b>Kukuřičná siláž</b>	<b>550 – 710</b>	<b>51</b>
<b>Travní senáž</b>	<b>450 - 690</b>	<b>52</b>
<b>Hovězí hnůj</b>	<b>210 - 400</b>	<b>53</b>
<b>Hovězí kejda</b>	<b>250 - 450</b>	<b>57</b>
<b>Vepřová kejda</b>	<b>250 - 550</b>	<b>55</b>

*Zdroj : RUTZMOSEK K., SPANN B., BAYRISCHE L. , 2001*

## 11. MATERIÁL A METODY

Pro vyhodnocení své diplomové práce byly získány údaje ze tří bioplynových stanic v ZD Horní Tošanovice, ZD Kouty a ZD Žlutice., ve kterých se používají různé druhy vstupních substrátů a které si jednotlivá družstva zajišťují vlastní výrobou.

Jednotlivé společnosti se nachází v různých oblastech jak teplotně, tak rozdílnou nadmořskou výškou. V práci je hodnocen výkon bioplynových stanic provozovaných těmito společnostmi v závislosti na druhu substrátu, který používají.

Cílem práce bylo zpracování výsledků z jednotlivých BPS, v průběhu jednoho roku, se zaznamenáním vlastního průběhu vývoje bioplynu a výkonu stanice v závislosti na vyrobenou energii, vzhledem k různým druhům plynících substrátů, které jsem pak v jednom daném období porovnal.

Pro porovnání jednotlivých stanic byly zvoleny tyto kritéria hodnocení :

- denní vsázka do BPS
- hodnocení teplot ve fermentoru
- hodnoty energie vyrobené za období jednoho měsíce
- hodnoty množství vyrobeného a kogenerační jednotkou spotřebovaného plynu
- průměrný obsah H<sub>2</sub>S v bioplynu
- druh požívaného substrátu (vsádka)

### 11.1 Porovnání výkonu BPS z hlediska druhu substrátu

Z hlediska srovnání jednotlivých bioplynových stanic jsem vybral a oslovil stanice s rozdílným používaným substrátem v rámci ČR, jejichž znázornění na mapě je přílohou.



Obr. č. 5 : Znázornění porovnávaných stanic na mapě

### 11.1.1 Charakteristika BPS Horní Tošanovice

Bioplynová stanice leží v katastrálním území Dolní Tošanovice, jižně od železniční zastávky Horní Tošanovice, západně od Třince v Moravskoslezském kraji. Provozuje ji společnost TOZOS spol. s.r.o. a dodavatelem vlastní BPS se stala firma Agrikomp Bohemia s.r.o.



Obr . č. 6 : Umístění BPS Horní Tošanovice

Firma TOZOS spol.s.r.o. hospodář na necelých 2000 ha, z toho 1300 orné, v podhůří Beskyd v nm. výšce kolem 400 m. Vznikla v r. 1993 privatizací několika středisek státního statku Hnojník. V současné době chovají 420 dojnic černého holštýnského plemene při dojivosti přes 11 tis.l a cca 220 jalovic. Mají též výkrm prasat s průměrným stavem kolem 4000 ks.

RV se věnuje výrobě JTT senáže pro skot, kukuřičné siláže pro skot i BPS, obilovin na 550 ha a řepky na 250 ha. Dále na 600 ha luk vyrábí seno, částečně pro sebe a na prodej.

S výstavbou stanice se započalo v roce 2007 a spuštěna do provozu koncem roku 2008. Její instalovaný výkon je 500 kW (2008) a v současné době je rozšířen na 750 kW. Kogeneračními jednotkami jsou 3 motory Schnell, 1x fermentor o obsahu 2280 m<sup>3</sup> a 1x dofermentor o stejném obsahu. Záměr výstavby bylo využití vepřové a hovězí kejdy, která se doplňuje siláží a senáží. Energií dodávají do sítě přes ČEZ a Eon. Odpadní teplo je využíváno na vytápění hal pro prasata a celé administrativní i technické zázemí farmy.

Digestát je pak vyvážen na pole a spolu s meziplodinou, případně drcenou slámou zapraven do půdy.



Obr. č. 7 : BPS Horní Tošanovice

*Zdroj : TOZOS s.r.o., 2011*

Tato BPS je navržena jako poloautomatická. Její koncepce vychází z osvědčené koncepce mokré fermentace v oblasti mezofilního procesu se sklady s dohníváním o objemu 2280 m<sup>3</sup>, přečerpávací jímkou vyfermentovaného materiálu, vstupní jímkou pro suroviny, budovou pro kogeneraci a pasterizaci a stáječícími místy.

Bioplynová stanice zpracovává biologické obnovitelné zdroje energie formou mokré anaerobní kofermentace.

Čerstvá kejda, která je hlavní vstupní surovinou, přitéká do vstupní jímky. Při dávkovacím cyklu, dochází k promísení tekutých a tuhých vstupů v těle čerpadla, které je k tomu uzpůsobeno. Materiál ve směsi končí ve fermentoru, kde jsou ideální podmínky pro fermentaci a tvorbu bioplynu. Dalšími používanými substráty pro vlastní provoz je pak kukuřičná siláž a hovězí hnůj. Hmota po fermentaci je přečerpávána do skladovacích jímek, odkud se pak tekutá část aplikuje na ornou půdu.

Vstupní jímka – pro příjem tekutých vstupů, zejména vepřové kejdy

Čerpání substrátu – čerpání potrubím do fermentoru, dofermentoru a skladovacích jímek

Fermentory – rozklad organické hmoty (mokrý anaerobní digesce) na metan a stabilizovaný výstupní substrát – kruhové nádrže o objemu 2280 m<sup>3</sup> s vestavěnými membránovými plynojemy na střeších. Rozmělněná biomasa je zde promíchávána, doplňována a odváděna. Zadržení hmoty probíhá v období 25 – 40 dnů v závislosti na druhu vstupního substrátu. Údaje o složení bioplynu, kyselosti v nádržích s dohníváním (pH), teplotách a obsahu celkové sušiny i organické sušiny jsou



pravidelně sledovány laboratoří firmy Agrikomp Bohemia s.r.o.

Havarijní hořák – pro neškodné bezpečné spálení nadbytečného množství bioplynu, jež nemůže být pojmut plynojemem, nebo v době údržby kogenerační jednotky či extrémně špatné kvalitě bioplynu

Plynojemy – vnitřní plynojemy - jsou umístěny na střeších fermentorů a slouží k vytvoření zásobního objemu k čerpání do kogeneračních jednotek. Plynojem u kontinuálně doplňovaných nádrží má za úkol plyn shromažďovat a oddělovat od pěny a kapalných částí.

Přečerpávací jímka vyhnílého substrátu – slouží k přečerpání vyhnílého substrátu do skladovacích nebo nebo dohnívacích nádrží

Rozvod bioplynu – v blízkosti BPS je proveden jako nadzemní, mezi BPS a kogenerační jednotkou je veden pod terénem z bezešvých svařovaných trubek. Vnější plynovod spojuje fermentační zařízení se zvyšovací stanicí tlaku a odtud ke kogeneračním jednotkám. veškeré vedení je vybaveno zabezpečovacími, odvzdušňovacími a odvodňovacími zařízeními

Kogenerační jednotky – dopravování plynu dmychadly, motory Schnell, elektrická energie je dodávána do sítě, teplo pak do bioplynové technologie a provozních budov, provoz řízen automatikou v závislosti na množství dodávaného bioplynu. Jmenovitý výkon jednotek je 3 x 250 kW, při hodinové produkci bioplynu cca 350 m<sup>3</sup> a obsahu metanu 52 % je denní výroba elektrické energie  $3 \cdot 250 \cdot 24 \cdot 365 = 6\,570\,000$  kWh a  $3 \cdot 230 \cdot 24 \cdot 365 = 6\,044\,400$  GJ tepla za rok

Produkce tuhých odpadů a nakládání s nimi – z mokré fermentace je jako cenný materiál pro hnojení zemědělských pozemků je získáváno denně 50 m<sup>3</sup> zfermentovaného substrátu. Tento materiál je využíván jako hnojivý substrát s vysokým obsahem humusu a určitým obsahem základních živin pro půdu jako druhotná surovina pro zemědělskou výrobu, odkud je průběžně odvážen.

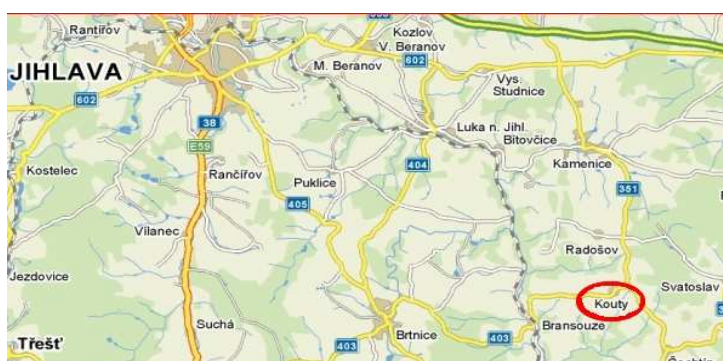
#### 11.1.2 Vstupní substráty

Jak bylo výše zmíněno, hlavní vstupní surovinou této bioplynové stanice je čerstvá kejda hovězí a vepřová, do které jsou dále vpravovány ve vstupní jímce další substráty jako kukuřičná a travní siláž, hovězí hnůj a obilí.

Denně je zde zpracováno přibližně 35 t čerstvé kejdy hovězí, 4 t hovězího hnoje, 1,2 t obilí (zrno), 4 t travní senáže spolu s 10 t kukuřičné siláže, 30 t kejdy vepřové a 10 litrů Fermexxu

## 11.2. Charakteristika BPS Kouty

Bioplynová stanice leží ve Středočeském kraji, katastrálním území Kouty u Poděbrad, obec Kouty. Nachází se v nadmořských výškách od 590 m.n.m. a je součástí ZD. Provozuje ji Zemědělské družstvo Kouty a dodavatelem vlastní BPS se stala firma Agrikomp Bohemia s.r.o.



Obr. č . 8 : Umístění BPS Kouty

Zemědělské družstvo Kouty hospodaří na 1600 ha zemědělské půdy na Vysočině, v okrese Třebíč. Pozemky se nacházejí v průměrné nadmořské výšce 590 m.n.m.. Hospodaří na pozemcích obcí Kouty, Chlum, Radošov, Horní Smrčné, Svatoslav a Kamenice. Z toho cca 500 ha tvoří TTP.

V rostlinné výrobě se zaměřuje na pěstování obilovin, řepky a zajištění krmiv pro živočišnou výrobu. V živočišné výrobě chová 430 kusů červenostrakatých krav s uzavřeným obratem stáda.

Jako další činnost je výroba elektrické energie a tepla z bioplynové stanice o výkonu 750 kW. Hlavním důvodem pro výstavbu BPS bylo využití hmoty z TTP a zbytků ze zemědělské výroby. Hlavní surovinou pro BPS je pro velkou plochu TTP travní senáž, kukuřičná siláž a hovězí kejda. Vedlejším je pak hnůj a zbytky z čištění obilovin, řepky..

S výstavbou stanice se započalo v únoru 2008 a spuštěna do provozu v říjnu roku 2008. Její instalovaný výkon je 750 kW. Kogeneračními jednotkami jsou 3 motory Schnell

o výkonu 250 kW, 1x fermentor o obsahu 1885 m<sup>3</sup> a 2x dofermentor o obsahu 2280 a 2713 m<sup>3</sup>.

Tato BPS je taktéž navržena jako poloautomatická. Konstrukce je stejná jako u předcházející BPS Horní Tošanovice.

Zbytkové teplo je využíváno k vytápění dílen, garáží, kanceláře, víceúčelové budovy obecního úřadu, kulturního domu a tří bytových jednotek (bytovky). Dále pro sušku obilovin ve žnících.



Obr. č. 9 : BPS Kouty

*Zdroj : Agrikomp (2009)*

#### 11.2.1. Vstupní suroviny

Hlavními vstupními surovinami této bioplynové stanice je kejda a hnůj hovězí v objemu 24 t u kejdy a 6 t u hnoje , do které jsou dále vpravovány ve vstupní jímce další substráty jako kukuřičná (15 t), travní siláž (12 t), obilí v množství jedné tuny a 10 l Fermexxu.

#### 11.3. Charakteristika BPS Žlutice

Bioplynová stanice se nachází na severním okraji obce Žlutice, ve východní části Karlovarského kraje, obec Žlutice. Provozuje ji firma REGENT PLUS Žlutice, spol s.r.o. a dodavatelem vlastní BPS se stala firma Agrikomp Bohemia s.r.o.



Obr. č. 10 : BPS Žlutice

*Zdroj : REGENT PLUS ŽLUTICE (2009)*

Nachází se 550 m nad mořem a je zařazena do LFA. Společnost se výhradně zabývá zemědělskou prvovýrobou, což je především chovem hovězího skotu bez tržní produkce mléka, chovem ovcí a dále pěstováním zemědělských komodit. Okrajově se také zabývá službami vlastní zemědělskou technikou pro ostatní zemědělce v blízkém okolí. V současné době společnost hospodaří celkem na 1346 ha zemědělské půdy, a to : 636 ha orné půdy využívané pro vlastní rostlinnou výrobu, 474 ha pastvin a 236 ha luk využívaných pro vlastní potřeby chovu skotu.

S výstavbou stanice se započalo v srpnu roku 2008 a spuštěna do provozu v lednu roku 2009. Její instalovaný výkon je 750 kW. Kogeneračními jednotkami jsou 3 motory Schnell o výkonu 250 kW, 2x fermentor o obsahu 3024 m<sup>3</sup>, 1x dofermentor o obsahu 1526 m<sup>3</sup> a koncový sklad o objemu 4823 m<sup>3</sup>.

Tato BPS je navržena stejně jako předcházející, liší se pouze objemy fermentorů, dofermentorů a absencí či přítomností koncových skladů. Energii z BPS prodávají 100% ČEZu, teplo je využíváno pro sušičku ovoce (pomocí výměníků voda/vzduch) a pro vytápění objektů. Digestát z BPS separován a ukládán jako vstupní materiál do kompostárny, která bude dokončena k 30.4.2013.

### 11.3.1. Vstupní suroviny

Hlavními vstupními surovinami BPS Žlutice je vepřová kejda, hovězí hnůj, kukuřičná siláž a travní senáž. Objem jednotlivých substrátů je : vepřová kejda 20 t, hovězí hnůj 6 t, kukuřičná siláž 6 t, travní senáž 4,5 t, GPS 2,5 t a voda a digestát je dávkován podle potřeby mezi 5 – 25 m<sup>3</sup>.

## 12. DOSAŽENÉ VÝSLEDKY A DISKUZE

### 12.1 DENNÍ VSÁDKA DO BPS

#### 12.1.1 BPS Horní Tošanovice

Denní vsádkou je myšleno množství a druh, které se používá ve fermentoru a je nutné stále během 24 hodin doplňovat. Jednotlivá množství používaného substrátu je znázorněno v tabulce za období jednoho měsíce a dále shrnuty do průměrné hodnoty v grafu.

#### Vysvětlivky k použitým zkratkám :

K.H. – kejda hovězí    H.H. – hnůj hovězí    O – obilí    V + D – voda a digestát    T.S. – travní senáž    K.S. – kukuřičná siláž    K.V. – kejda vepřová    F – fermexx

Tab. č. 14 : Měsíční hodnoty dávkování a výroby energie v BPS  
Horní Tošanovice

Datum	Jímka	Teplota st.C	H2S (ppm)	Dávkování								Výkon kW	Plyn m <sup>3</sup> /h	Výroba EE kWh	Vyr. E kWh	
				K.H.	H.H.	O	GPS	V+D	T.S.	K.S.	K.V.					F
1.6.	F1	43,5		35	4	1,2			4	10	30	10	250	111,2	5259577	
	F2												250	109,1	4995776	
	D1	43											250	107,8	4351133	
2.6.	F1	43		35	4	1,2			4,5	10	30	10	250	106		
	F2												250	105		
	D1	43											250	103		
3.6.	F1	43		30	4	1,2			4,5	10	30	10	250	112		
	F2												250	111		
	D2	43											250	109		

4.6.	F1	43		30	4	1,2			4	10	30	10	250	113		
	F2												250	112		
	D1	43											250	110		
5.6.	F1	43,5		30	4	1,2			4	10	30	10	250	117		
	F2												250	115		
	D1	43											250	113		
6.6.	F1	43,5		30	4	1,2			4,5	10	30	10	250	113,3		
	F2												250	112,8		
	D1	43											250	110,8		
7.6.	F1	43,5		30	4	1,2			4,5	10	30	10	250	110,5		
	F2												250	115,6		
	D1	43											250	112		
8.6.	F1	43		30	4	1,2			4	10	30	10	250	112,2		
	F2												250	116,7		
	D1	43											250	67,7		
9.6.	F1	42,5		30	4	1,2			4	10	30	10	250	109,8		
	F2												250	109,1		
	D1	43											250	106,5		
10.6.	F1	42,5		30	4	1,5			4	10	30	10	250	124,5		
	F2												200	98		
	D2	43														
11.6.	F1	42		30	4	1,5			4	10	30	10	250	114,6		
	F2												250	114,2		
	D1	43											250	111,5		
12.6.	F1	42,5		30	4	1,2			4	10	30	10	250	114,7		
	F2												250	113,7		
	D1	43											250	111,2		
13.6.	F1	43,5		30	4	1,2			4	10	30	10	250	62,3		
	F2												250	118,7		
	D1	43											250	114,5		
14.6.	F1	43,5	150	30	4	1,5			4	10	30	10	250	114,6		
	F2												250	117,3		
	D1	43	100										250	113,8		
15.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	30	10	250	111,3		
	F2												250	114,8		
	D1	43											250	111,5		
16.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	25	10	250	61,6		
	F2												250	117		
	D1	43											250	112,6		
17.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	25	10	250	112,8		
	F2												250	115		

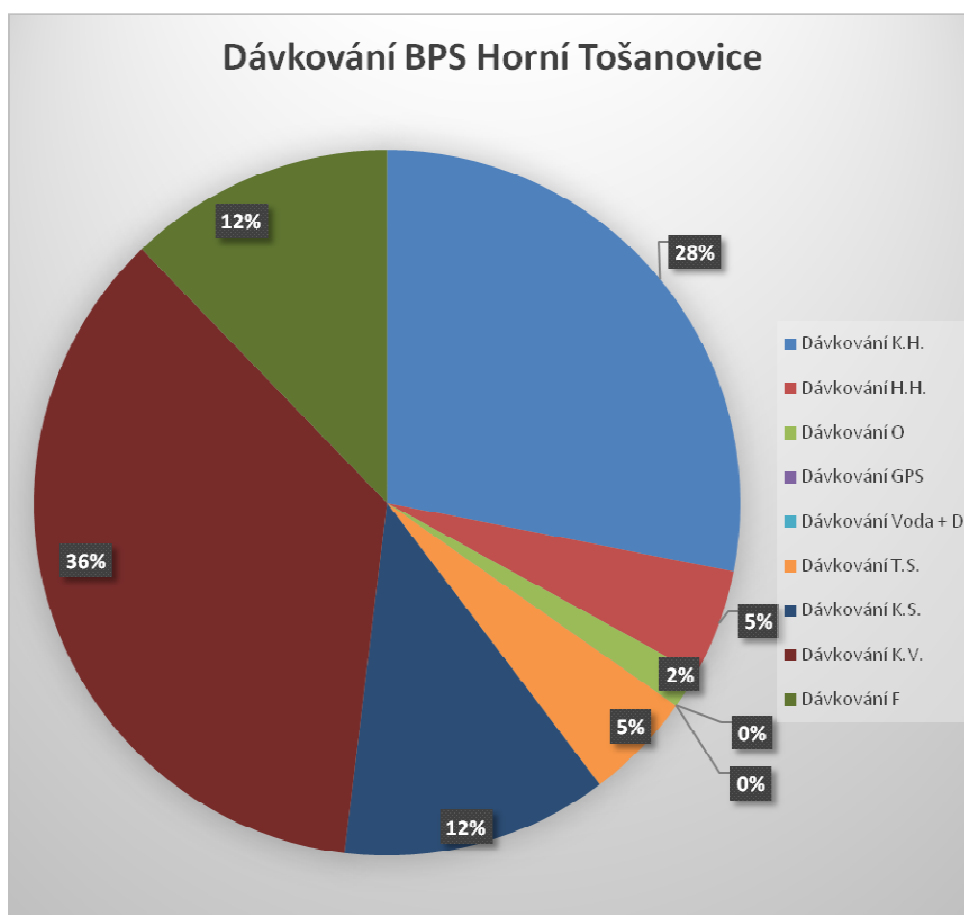
	D2	43,5											250	111,2		
18.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	30	10	250	111,8		
	F2												250	114,2		
	D1	43,5											250	112,3		
19.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	30	10	250	111,8		
	F2												250	114,2		
	D1	43,5											250	64,3		
20.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	25	10	250	111,2		
	F2												250	114		
	D1	43,5											250	111,2		
21.6.	F1	44		30	4	1,5			4	10	25	10	250	111,5		
	F2												250	112		
	D1	43,5											250	110,5		
22.6.	F1	44		10	4	1,5			4	10	30	10	250	115,6		
	F2												250	118,3		
	D1	43,5											250	113,8		
23.6.	F1	43,5		10	4	1,5			4	10	30	10	250	107,5		
	F2												250	109,1		
	D1	43,5											250	107,1		
24.6.	F1	43,5		10	4	1,5			4	10	30	10	250	108,3		
	F2												250	111,2		
	D2	43,5											250	110,8		
25.6.	F1	43		10	4	1,5			4	10	30	10	250	108,8		
	F2												250	110,8		
	D1	43,5											250	65,3		
26.6.	F1	43		10	4	1,5			4	10	30	10	250	113,5		
	F2												250	117		
	D1	43,5											250	112,8		
27.6.	F1	43			4	1,5			4	10	30	10	250	107,7		
	F2												250	110,8		
	D1	43,5											250	107,8		
28.6.	F1	43			4	1,5			4	10	30	10	250	110,2		
	F2												250	111,8		
	D1	43,5											250	110,2		
29.6.	F1	43,5			4	2			4	10	30	10	250	114,2		
	F2												250	117,6		
	D1	43,5											250	114,2		
30.6.	F1	43,5			4	2			4	10	30	10	250	113,6	5424869	165292
	F2												100	55,2	5164330	168554
	D1	43,5											250	112,2	4508692	157559
<b>měsíční průměr</b>		<b>43,29</b>	<b>125,00</b>	<b>690</b>	<b>120</b>	<b>42,7</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>122</b>	<b>300</b>	<b>880</b>	<b>300</b>	<b>247,75</b>	<b>9676,90</b>		<b>491405,00</b>

Z tabulky vyplývá, že průměrné naměřené hodnoty teplot ve fermentoru a dofermentoru se pohybují v rozmezí 42,5 – 44 °Celsia, průměrně bylo vyvinuto 125 ppm H<sub>2</sub>S.

Do fermentoru bylo v průběhu měřeného měsíce postupně nadávkováno 690 tun hovězí kejdy, 120 tun hovězího hnoje, 42,7 tun obilního zrna, 122 tun travní senáže, 300 tun kukuřičné siláže, 880 tun kejdy vepřové a 300 litrů Fermexxu.

Z této receptury se vyvinulo 9676,9 m<sup>3</sup> bioplynu a při výkonu 247,75 kWh bylo vyrobeno 491 405 kWh elektrické energie.

Graf č. 4 : Dávkování surovin v BPS Horní Tošanovice





## 12.1.2. BPS Kouty

Jednotlivá množství používaného substrátu v BPS Kouty jsou znázorněny v tabulce za období jednoho měsíce a dále shrnuty do průměrné hodnoty v grafu.

Tab.č.15 : Měsíční sledování hodnot dávkování a výroby energie v BPS Kouty

Datum	Jímka	T st.C	H2S (ppm)	Dávkování								Výkon kW	Plyn m3/h	Výroba EE kWh	Vyrobená energie kWh		
				K.H.	H.H.	O	GPS	V+D	T.S.	K.S.	K.V.					F	
1.6.	F1	43	50	24	6	1				12	15		10	250	110	5737262	
	D1	43	50											250	116	5676719	
	D2	43												250	114	3676094	
2.6.	F1	43	50	24	6	1				12	15		10	250	118		
	D1	43	50											250	116		
	D2	43												250	112		
3.6.	F1	43	50	24	6	1				12	15		10	250	118		
	D1	43	50											250	116		
	D2	43															
4.6.	F1	43	50	24	6	1				12	15		10	220	104		
	D1	43,5	50											220	106		
	D2	43	50											200	91		
5.6.	F1	43,5	50	24	6	1				12	15		10	250	122		
	D1	42,5	50											250	118		
	D2	42,5	50											250	98		
6.6.	F1	44	50	24	6	1				12	15		10	250	123		
	D1	44	50											250	120		
	D2	43												250	117		
7.6.	F1	44	60	24	6	1				12	15		10	250	122		
	D1	44	60											250	118		
	D2	43												250	115		
8.6.	F1	44	50	24	6	1				12	15		10	250	123		
	D1	44	50											250	119		
	D2	43												250	118		
9.6.	F1	43,5	150	24	6	2				12	15		10	225	108		
	D1	43,5	150											225	107		
	D2	43												225	104		
10.6.	F1	44	60	24	6	1				12	15		10	220	105		
	D1	43	60											220	106		
	D2	43												220	103		
11.6.	F1	43,5	100	24	6	1				12	15		10	250	120		
	D1	44	100											250	115		
	D2	42,5															
12.6.	F1	44	100	24	6	1				12	15		10	250	119		
	D1	44	100											250	116		
	D2	42												250	114		
13.6.	F1	44	50	24	6	1				12	15		10	250	121		
	D1	44	50											250	116		
	D2	42,5												250	114		
14.6.	F1	44	50	24	6	1				12	15		10	250	124		
	D1	44	50											250	119		
	D2	43												250	117		
15.6.	F1	45	100	24	6	1				12	15		10	250	123		
	D1	44	100											250	120		
	D2	42												250	120		
16.6.	F1	46	80	24	6	1				12	15		10	250	122		
	D1	44	80											250	119		
	D2	43												250	114		
17.6.	F1	46	110	24	6	1				12	15		10	250	121		

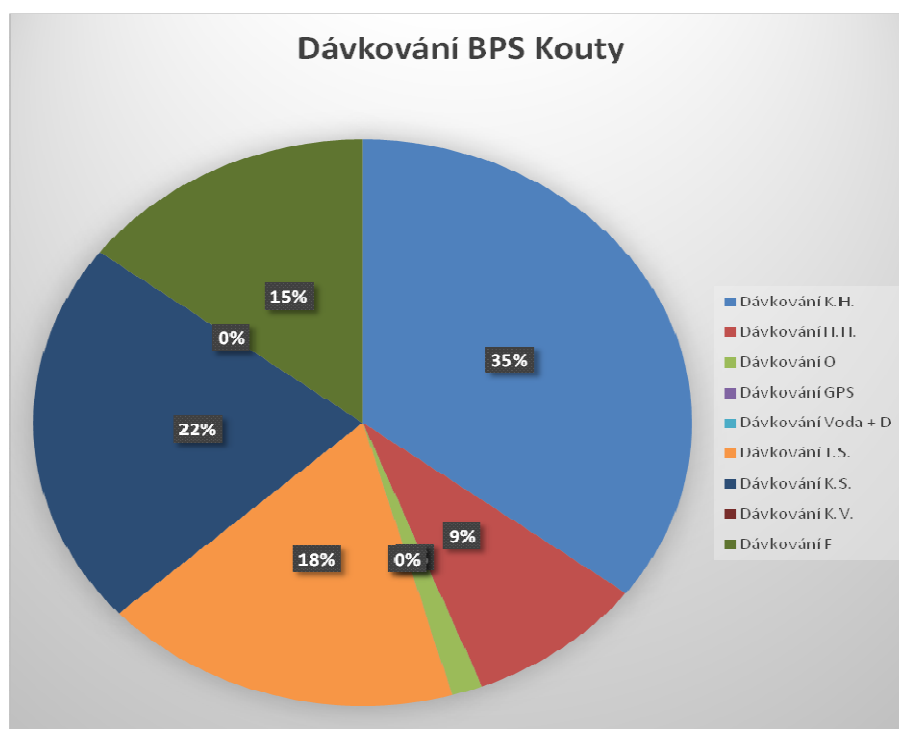
	D1	44	110										250	118		
	D2	43											250	117		
18.6.	F1	46	50	24	6	1			12	15		10	250	124		
	D1	44	50										250	119		
	D2	43											250	118		
19.6.	F1	46	100	24	6	1			12	15		10	250	120		
	D1	44	100										250	118		
	D2	42											250	118		
20.6.	F1	46	100	24	6	1			12	15		10	250	122		
	D1	44	100										250	119		
	D2	42											250	118		
21.6.	F1	46	70	24	6	1			12	15		10	250	123		
	D1	45	70										250	120		
	D2	43											250	117		
22.6.	F1	46	50	24	6	1			12	15		10	250	124		
	D1	45	50										250	120		
	D2	43											250	119		
23.6.	F1	46	50	24	6	1			12	15		10	250	120		
	D1	45	50										250	117		
	D2	43											250	114		
24.6.	F1	46	50	24	6	1			12	15		10	250	122		
	D1	46	50										250	119		
	D2	42											250	116		
25.6.	F1	45	50	24	6	1			12	15		10	250	102		
	D1	46	50										250	117		
	D2	42											250	112		
26.6.	F1	46	50	24	6	1			12	15		10	250	118		
	D1	46	50										250	117		
	D2	42,5											250	112		
27.6.	F1	46	150	24	6	1			12	15		10	250	123		
	D1	46	150										250	120		
	D2	43											250	117		
28.6.	F1	46	100	24	6	1			12	15		10	250	120		
	D1	46	100										250	118		
	D2	43											250	116		
29.6.	F1	44	100	24	6	1			12	15		10	250	121		
	D1	46	100										250	119		
	D2	43											250	116		
30.6.	F1	44	50	24	6	1			12	15		10	250	121	5885840	148578
	D1	46	50										250	118	5842220	165501
	D2	43											250	150	3801194	125100
<b>měsíční průměr</b>		<b>43,92</b>	<b>71,94</b>	<b>720</b>	<b>180</b>	<b>31</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>360</b>	<b>450</b>	<b>0</b>	<b>300</b>	<b>246,88</b>	<b>10280,00</b>		<b>439179,00</b>

Tabulka znázorňuje, že průměrné naměřené hodnoty teplot ve fermentoru a dofermentorech se pohybují v rozmezí 42,5 – 46 °C e l s i a, průměrně bylo vyvinuto 71,9 ppm H<sub>2</sub>S.

Do fermentoru bylo v průběhu měřeného měsíce postupně nadávkováno 720 tun hovězí kejdy, 180 tun hovězího hnoje, 31 tun obilního zrna, 360 tun travní senáže, 450 tun kukuřičné siláže a 300 litrů Fermexxu.

Z této receptury se vyvinulo 10 280 m<sup>3</sup> bioplynu a při výkonu 246,88 kWh bylo vyrobeno 439 179 kWh elektrické energie.

Graf č. 5 : Dávkování substrátů v BPS Kouty



### 12.1.3. BPS Žlutice

Jednotlivá množství používaného substrátu v BPS Žlutice jsou shrnuta do tabulky za období jednoho měsíce a dále shrnuty do průměrné hodnoty v grafu.

Tab. č. 16 : Měsíční sledování hodnot dávkování a výroby energie v BPS Žlutice

Datum	Jímka	Teplota st.C	H2S (ppm)	Dávkování									Výkon kW	Plyn m3/h	Elektroměr výroba kWh	Vyrobená energie kWh
				K.H.	H.H.	O	GPS	V+D	T.S.	K.S.	K.V.	F				
1.6.	F1	37	150		6		2,5	15	4,5	6			200	96	2673184	
	F2	36,5	200		6		2,5	15	4,5	6			200	91,5	2879509	
	D1	38,5	150										200	90	3063216	
2.6.	F1	38	180		6		2,5		4,5	6			200	94,6		
	F2	38,5	160		6		2,5		4,5	6			200	92		
	D1	41,5	100										200	90,3		
3.6.	F1	38	100		6		2,5	25	4,5	6			200	94		
	F2	38,5	190		6		2,5	25	4,5	6			200	95		
	D2	42	250										220	100,7		
4.6.	F1	38	150		6		2,5	10	4,5	6	15		200	90,5		
	F2	39,5	130		6		2,5	10	4,5	6	15		200	91,8		
	D1	42	120										220	98		
5.6.	F1	38	260		6		2,5	5	4,5	6	20		200	89		
	F2	40,5	270		6		2,5	5	4,5	6	20		200	90,5		
	D1	41,5	100										220	97		
6.6.	F1	36	260		6		2,5	10	4,5	6	20		200	89		

	F2	39	200		6	2,5	10	4,5	6	20		200	90,5		
	D1	42	200									240	107		
7.6.	F1	37,5	250		6	2,5	10	4,5	6	25		215	99,6		
	F2	38,5	260		6	2,5	10	4,5	6	25		215	100		
	D1	42	50									250	114,6		
8.6.	F1	37,5	200		6	2,5		4,5	6	20		215	91,5		
	F2	38,5	250		6	2,5		4,5	6	20		205	91		
	D1	43	50									250	115		
9.6.	F1	38	170		6	2,5	20	4,5	6	5		215	97		
	F2	37	190		6	2,5	20	4,5	6	5		205	95,6		
	D1	41	180									250	117		
10.6.	F1	38	150		6	2,5	5	4,5	6	20		215	98		
	F2	38,5	180		6	2,5	5	4,5	6	20		205	93		
	D2	44	200									250	116,6		
11.6.	F1	39	160		6	2,5	5	4,5	6	20		215	99,6		
	F2	39	250		6	2,5	5	4,5	6	20		215	94		
	D1	44	200									250	113,2		
12.6.	F1	38	250		6	2,5	5	4,5	6	20		215	89		
	F2	38	260		6	2,5	5	4,5	6	20		205	91,5		
	D1	43	150									250	112,2		
13.6.	F1	38,5	200		6	2,5	5	4,5	6	20		215	97		
	F2	39	250		6	2,5	5	4,5	6	20		205	94,5		
	D1	41,5	150									250	115,2		
14.6.	F1	37,5	250		6	2,5	5	4,5	6	25		215	95,6		
	F2	36	270		6	2,5	5	4,5	6	25		205	93,8		
	D1	42,5	100									250	114,5		
15.6.	F1	38	150		6	2,5	5	4,5	6	20		215	90,5		
	F2	39	200		6	2,5	5	4,5	6	20		205	94		
	D1	44	150									250	114,5		
16.6.	F1	37,5	100		6	2,5	5	4,5	6	20		200	91		
	F2	37	200		6	2,5	5	4,5	6	20		200	89,5		
	D1	44	150									230	100		
17.6.	F1	37,5	180		6	2,5	5	4,5	6	20		200	92,2		
	F2	37,5	100		6	2,5	5	4,5	6	20		200	91,5		
	D2	44	60									230	103,3		
18.6.	F1	38	200		6	2,5	6	4,5	6	20		200	90,7		
	F2	37,5	220		6	2,5	6	4,5	6	20		200	90,7		
	D1	44	70									230	102		
19.6.	F1	38,5	250		6	2,5	5	4,5	6	20		205	92,5		
	F2	38,5	270		6	2,5	5	4,5	6	20		205	93,2		
	D1	43,5	180									240	107		
20.6.	F1	38	260		6	2,5	5	4,5	6	20		205	93		
	F2	37,5	280		6	2,5	5	4,5	6	20		205	92,2		
	D1	44	180									250	112,8		
21.6.	F1	38,5	260		6	2,5		4,5	6	20		215	95,6		
	F2	38,5	280		6	2,5		4,5	6	20		215	94,2		
	D1	43,5	180									250	110		
22.6.	F1	38,5	250		6	2,5	5	4,5	6	20		215	97,6		
	F2	38	300		6	2,5	5	4,5	6	20		215	94,6		
	D1	44	100									250	110,8		
23.6.	F1	39	250		6	2,5		4,5	6	20		210	95,7		
	F2	38,5	300		6	2,5		4,5	6	20		210	93,8		
	D1	44	50									240	107		
24.6.	F1	39	50		6	2,5	10	4,5	6	15		205	95		
	F2	38,5	280		6	2,5	10	4,5	6	15		205	93,2		
	D2	43,5	50									240	108,3		
25.6.	F1	39	190		6	2,5	5	4,5	6	20		200	93		
	F2	39,5	280		6	2,5	5	4,5	6	20		200	92		
	D1	43,5	30									210	93		
26.6.	F1	39	380		6	2,5	10	4,5	6	20		200	92,3		
	F2	41,5	300		6	2,5	10	4,5	6	20		200	93,8		
	D1	43,5	30									210	93,3		
27.6.	F1	39	300		6	2,5	5	4,5	6	20		205	92,2		
	F2	40,5	320		6	2,5	5	4,5	6	20		205	93,8		
	D1	44	20									240	104,7		
28.6.	F1	38,5	300		6	2,5	15	4,5	6	20		205	89		
	F2	41	300		6	2,5	15	4,5	6	20		205	92,8		

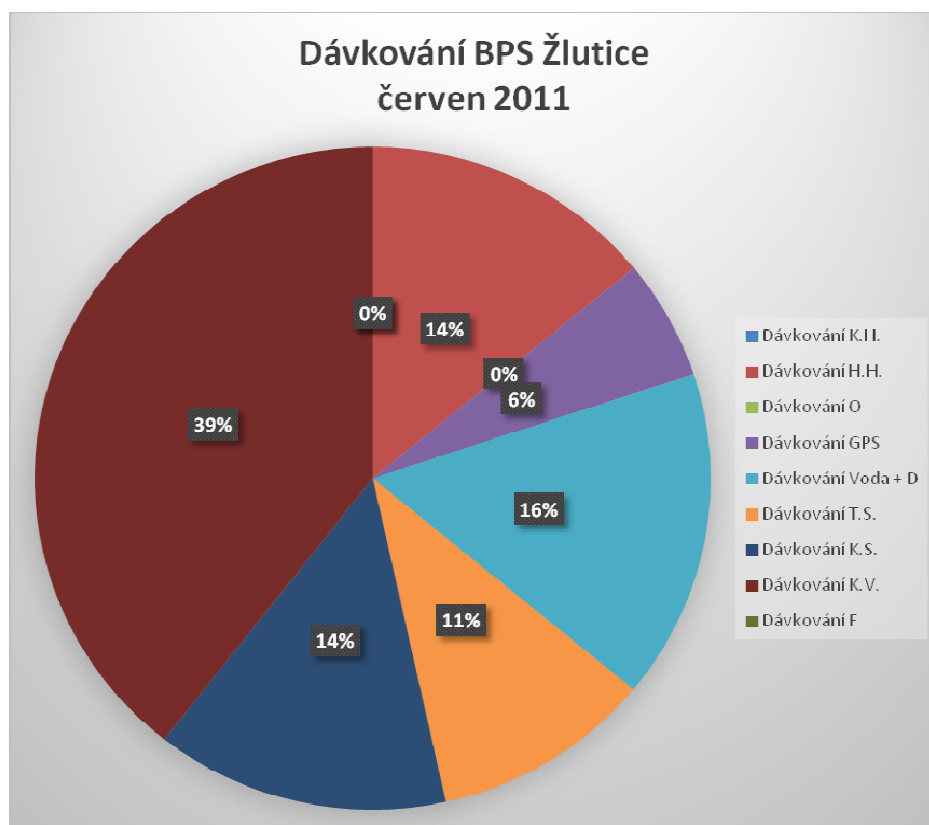
	D1	44	20									250	110,5		
29.6.	F1	38,5	340		6	2,5	5	4,5	6	20		205	91		
	F2	38,5	330		6	2,5	5	4,5	6	20		205	92,8		
	D1	44	20									250	111,5		
30.6.	F1	38	220		6	2,5		4,5	6			200	89,5	2813846	140662
	F2	38	330		6	2,5		4,5	6			200	82,5	3020139	140630
	D1	44	20									235	105	3226515	163299
	<b>měsíční průměr</b>	<b>39,89</b>	<b>189,67</b>	<b>0</b>	<b>360</b>	<b>0</b>	<b>150</b>	<b>412</b>	<b>270</b>	<b>360</b>	<b>1010</b>	<b>0</b>	<b>216,06</b>	<b>8775,50</b>	<b>444591,00</b>

V tabulce je uvedeno, že průměrné naměřené hodnoty teplot ve fermentoru a dofermentorech se pohybují v rozmezí 38,5 - 44 °C e l s i a, průměrně bylo vyvinuto 189,67 ppm H<sub>2</sub>S.

Do fermentoru bylo v průběhu měřeného měsíce postupně nadávkováno 360 tun hovězího hnoje, 150 tun GPS, 412 tun travní senáže, 270 tun kukuřičné siláže a 1010 m<sup>3</sup> vepřové kejdy.

Z této receptury se vyvinulo 8775,5 m<sup>3</sup> bioplynu a při výkonu 216,6 kWh bylo vyrobeno 444 591 kWh elektrické energie.

Graf č. 6 : Dávkování substrátu v BPS Žlutice

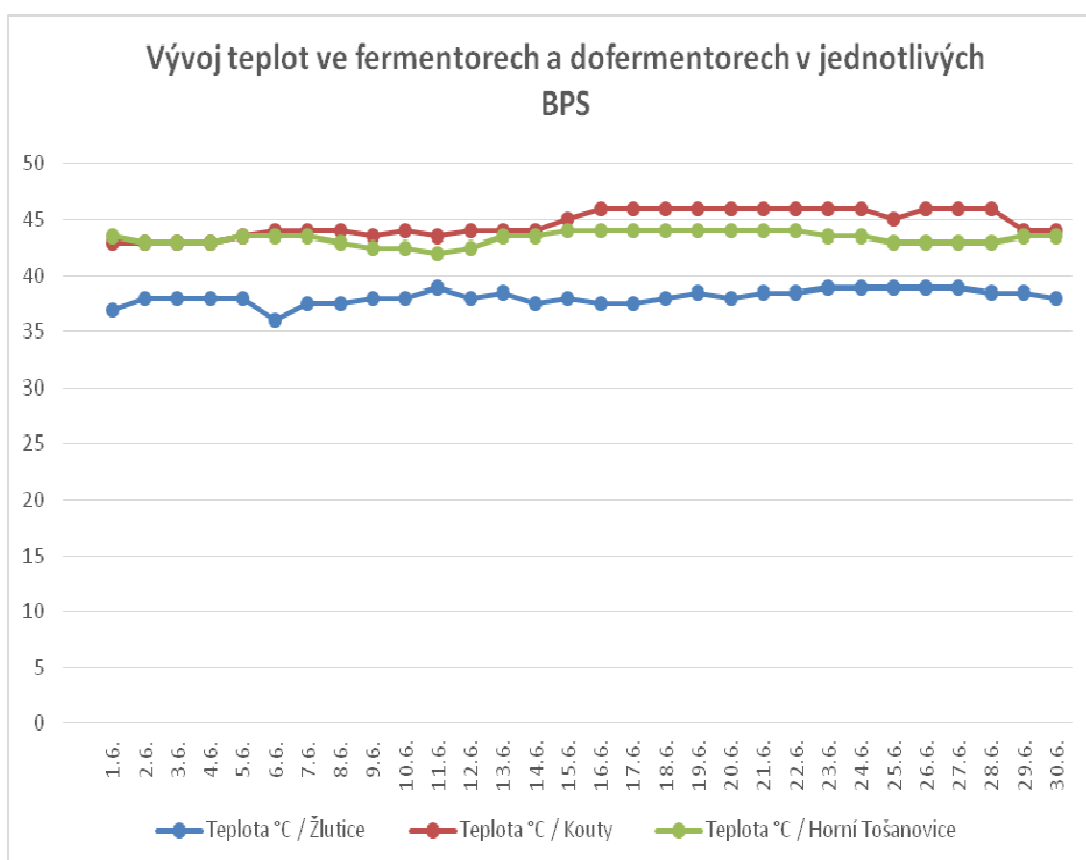


## 12.2 VÝVOJ TEPLOT VE FERMENTORU

Podmínky České republiky – mírné klimatické pásmo – vyžadují dohřívání vlastního fermentoru z důvodu udržení požadované teplotní úrovně a vyrovnání tepelných ztrát únikem tepla. Při poklesu teplot by mohlo dojít k nežádoucím změnám ve fermentačním procesu až k jeho inhibici. Doporučené teploty se pohybují v rozmezí 39 – 44 °Celsia.

Z hlediska dosažených hodnot vývoje teplot bylo zjištěno, že průměrných hodnot dosahuje stanice ZD Kouty a to až 46 °Celsia. U ZD Žlutice jsou průměrné teploty 39 °Celsia a u ZD Horní Tošanovice 44 °Celsia.

Graf č. 7 : Vývoj teplot ve fermentorech jednotlivých BPS



Nejvyšší hodnoty jsou tak dosaženy právě u ZD Kouty, čemuž odpovídá i vývoj plynu a vyrobené energie.

### 12.3 POROVNÁNÍ HODNOT ENERGIE VYROBENÉ ZA OBDOBÍ JEDNOHO MĚSÍCE

Ve sledovaný měsíc u jednotlivých stanic byly naměřeny tyto hodnoty vyrobené energie.

Bioplynová stanice Žlutice vyrobila 3 288 428 kWh energie, při použití hovězího hnoje, travní senáže, kukuřičné siláže a jako hlavní suroviny - vepřové kejdy.

BPS Kouty vyprodukovala 3 664 650 kWh elektrické energie, se surovinami : hovězí hnůj, obilní zrno, travní senáž, kukuřičná siláž a hlavní surovinou je hovězí kejda.

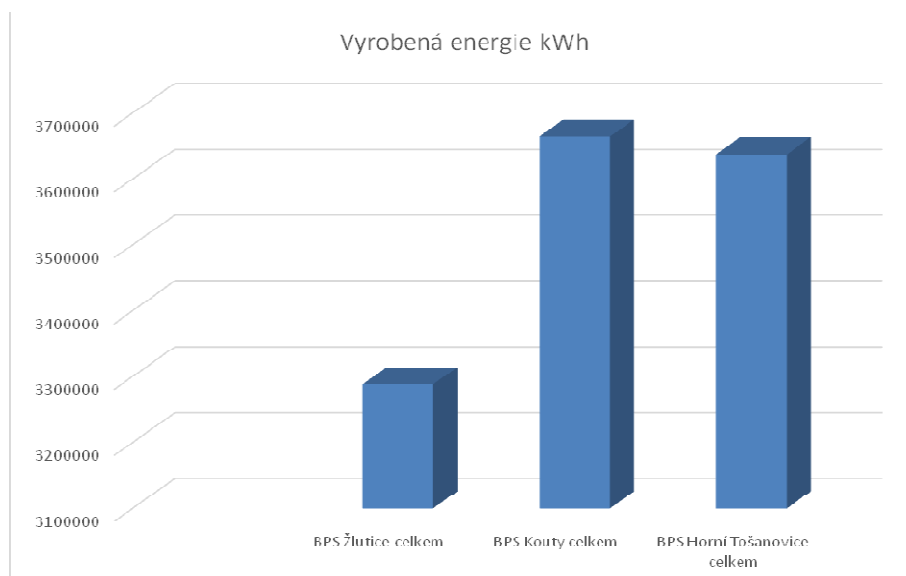
BPS Horní Tošanovice vyrobila 3 637 699 kWh se vstupy z hovězí kejdy jako hlavní, hovězího hnoje, obilního zrna, travní senáže, kukuřičné siláže a kejdy vepřové.

Elektrická energie je vykupována za stálem garantované ceny, které jsou dány sazebníkem. Aktuální cena EE je nyní stanovena na 4,12 Kč/ kWh, která je fixována na 20 let.

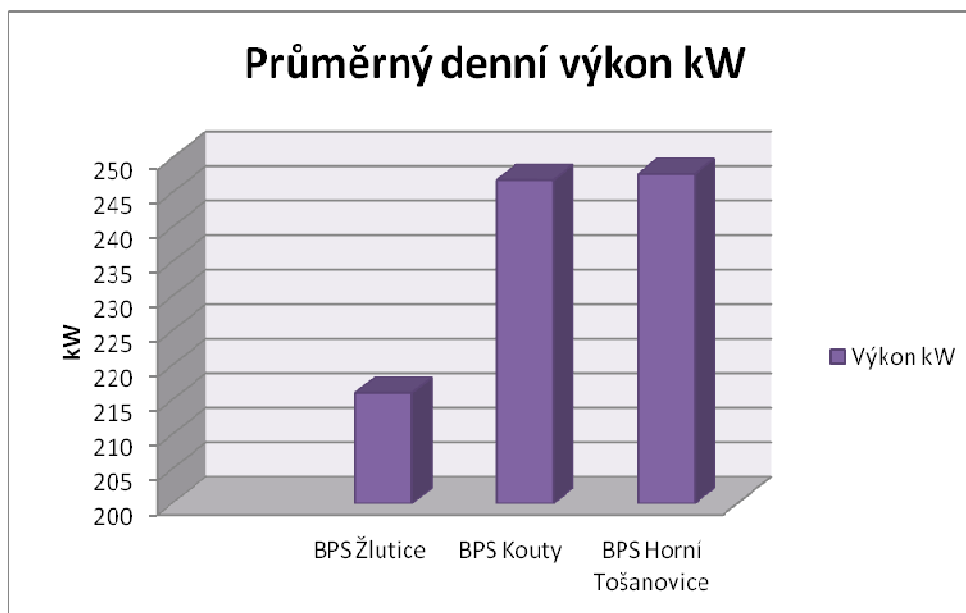
Tab. č. 17: Roční souhrn vyrobené energie v jednotlivých BPS

<b>Bioplynová stanice</b>	<b>Vyrobena energie kWh</b>
BPS Žlutice celkem	3 288 428
BPS Kouty celkem	3 664 650
BPS Horní Tošanovice celkem	3 637 699

Graf č. 8 : Celkem roční úhrn vyrobené energie u jednotlivých BPS



Graf č. 9 : Průměrný denní výkon jednotlivých BPS



#### 12.4 HODNOTY MNOŽSTVÍ VYROBENÉHO A KOGENERAČNÍ JEDNOTKOU SPOTŘEBOVANÉHO PLYNU

Ve sledovaný měsíc u jednotlivých stanic byly zaznamenány tyto hodnoty vyrobeného bioplynu.

Tab. č. 18 : Vývinu plynu v jednotlivých stanicích

Den a čas	Plyn m <sup>3</sup> /měsíc
BPS Žlutice	8775,5
BPS Kouty	10280
BPS Horní Tošanovice	9676,9

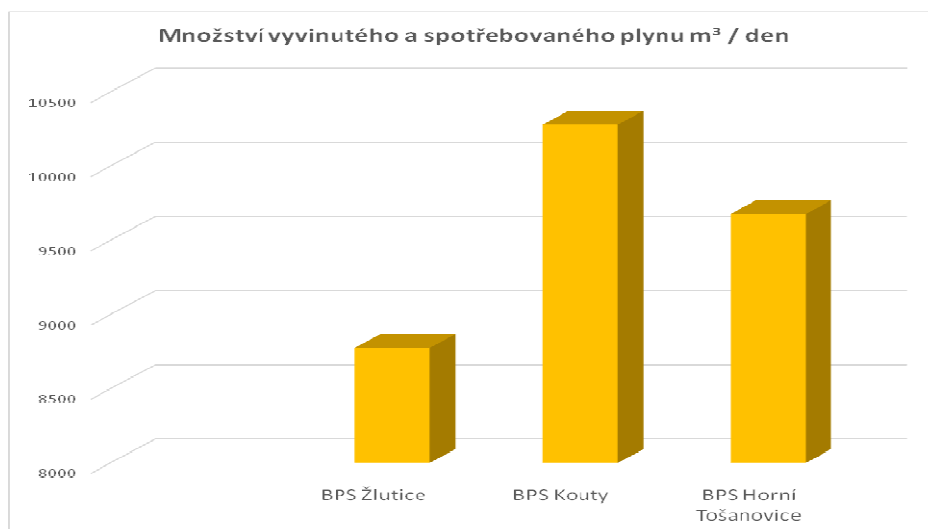
BPS Žlutice vyrobila 8775,5 m<sup>3</sup> bioplynu, při použití hovězího hnoje, travní senáže, kukuřičné siláže a jako hlavní suroviny - vepřové kejdy.

BPS Kouty vyprodukovala 10 280 m<sup>3</sup> bioplynu, se surovinami: hovězí hnůj, obilní zrno, travní senáž, kukuřičná siláž a hlavní surovinou je hovězí kejda.

BPS Horní Tošanovice vyrobila 9676,9 m<sup>3</sup> se vstupy z hovězí kejdy jako hlavní, hovězího hnoje, obilního zrna, travní senáže, kukuřičné siláže a kejdy vepřové.



Graf č. 10 : Souhrn vyvinutého bioplynu u sledovaných BPS



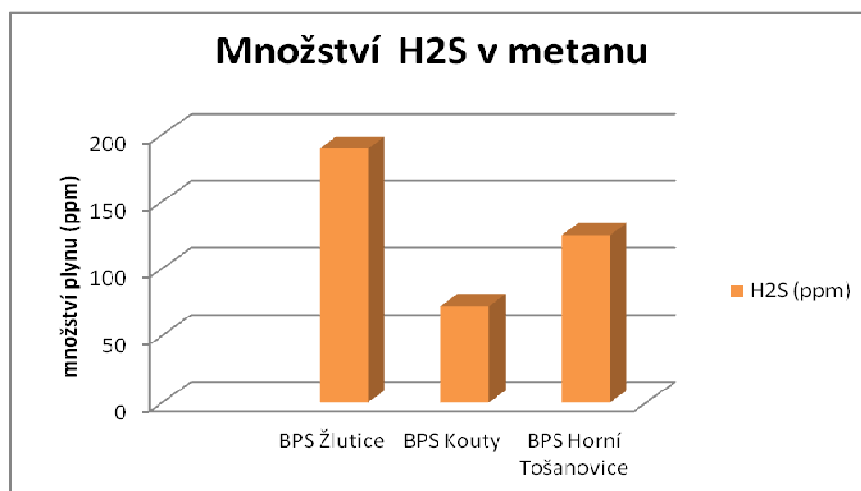
## 12.5 PRŮMĚRNÝ OBSAH H<sub>2</sub>S V BIOPLYNU

V jednotlivých bioplynových stanicích byly v hodnoceném měsíci naměřeny tyto hodnoty sirovodíku (sulfanu) H<sub>2</sub>S.

Tab. č. 19. : Obsah H<sub>2</sub>S v metanu

Den a čas	H <sub>2</sub> S (ppm)
BPS Žlutice	189,6
BPS Kouty	71,9
BPS Horní Tošanovice	125

Graf č. 11 : Množství H<sub>2</sub>S v metanu

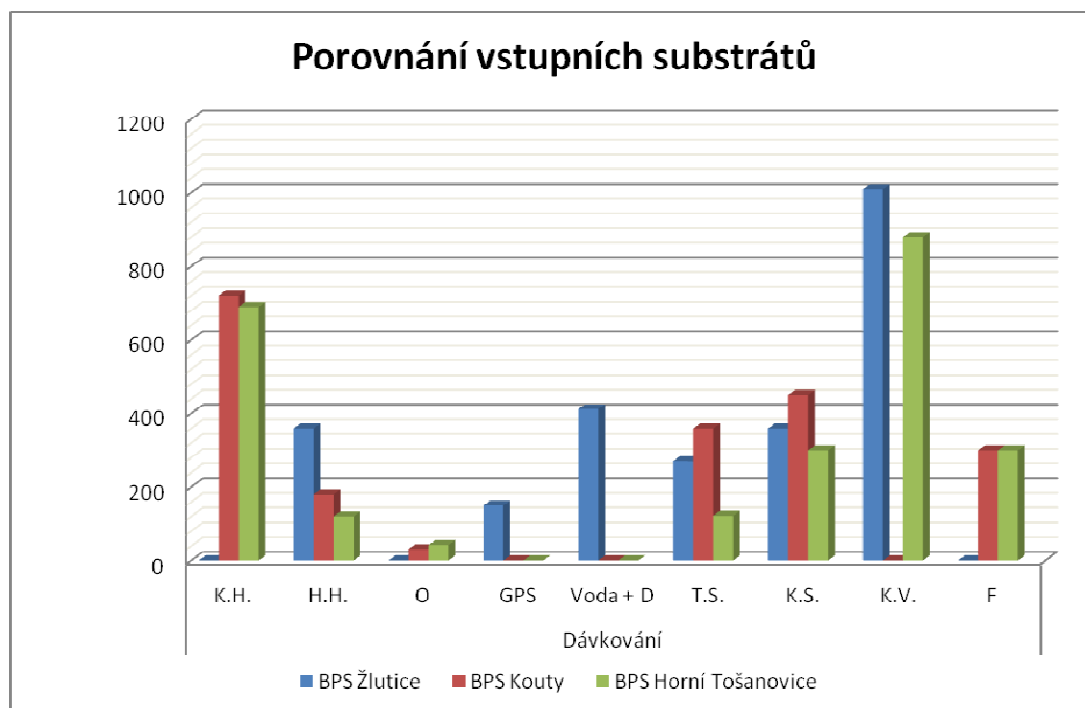


V BPS Žlutice byly průměrné hodnoty sulfanu 189,6 ppm , v BPS Kouty 71,9 ppm a v BPS Horní Tošanovice 125 ppm.

## 12.6 DRUH POUŽÍVANÉHO SUBSTRÁTU - VSÁDKA

Denní vsádka u všech bioplynových stanic se skládá zejména z hovězího hnoje, dále kukuřičné siláže a v menší míře travní senáže. Další substráty jsou pak v jednotlivých bioplynových stanicích odlišné. Zisk z hovězí kejdy (průměrně cca 22 m<sup>3</sup>/t) využívané v BPS Kouty a Horní Tošanovice, je obvykle nižší než u kejdy vepřové (průměr cca 30 m<sup>3</sup>/t), která je naopak jako hlavní substrát v BPS Žlutice a Horní Tošanovice. Hovězí hnůj je používán ve všech třech BPS, v největší míře ve Žluticích. U BPS Žlutice se jako u jediné používá jako doplněk GPS a dále voda a digestát. Travní senáž je užívána taktéž ve všech třech BPS, díky velkému množství TTP je aplikována v ZD Kouty – průměrný zisk bioplynu je 185 m<sup>3</sup> z 1t sušiny. Kukuřičná siláž je taktéž využita ve všech třech BPS, zhruba ve všech ve stejném obsahu, mírně více je ZD Kouty – průměrný zisk bioplynu bývá kolem 190 m<sup>3</sup>/t sušiny. FERMEX je využíván v ZD Kouty a Horní Tošanovice.

Graf č. 12 : Porovnání typů vstupních substrátů



## 13. ZHODNOCENÍ

Na základě výše popsaných skutečností a výsledků je možno jednotlivé body vyhodnotit takto :

### 13.1 Denní vsádka do BPS

Denní vsádka v jednotlivých bioplynových stanicích je v základě hodně podobná. Hlavní složkou je kejda a to jak vepřová, tak hovězí. Další významnou složkou je pak hovězí hnůj, který je substrátem u všech sledovaných bioplynových stanic. V různém objemu se dále používá kukuřičná siláž a travní senáž. Ostatní používané substráty jsou pak rozdílné a to zejména využívaná voda s digestátem v BPS Žlutice, dále obilí u BPS Kouty a Horní Tošanovice a GPS ve Žluticích. BPS Kouty a Horní Tošanovice dále využívají Fermex.

Potvrzuje se, že v ČR je nejčastěji využívaným substrátem a to pro téměř 90 % bioplynových stanic, kejda a hnůj hospodářských zvířat a dále kukuřice. V oblasti Vysočiny (BPS Kouty) se zvýšenou plochou TTP je jako jeden z hlavních substrátů travní senáž.

### 13.2 Hodnocení teplot ve fermentoru

Jak je uvedeno v literatuře (PASTOREK, KÁRA 2003) ideální stabilní teplotou uvnitř fermentoru pro anaerobní procesy je rozmezí mezi 39 °C a 44 °C. Při poklesu těchto teplot může dojít až k zastavení procesu, proto je nutné v tomto rozmezí fermentor udržet.

Tyto teploty bioplynové stanice Kouty a Horní Tošanovice splňují, či mírně překračují a BPS Žlutice se pohybuje na spodní hraně doporučených teplot.

### 13.3 Hodnoty energie vyrobené za období jednoho měsíce

Vzhledem ke stejným osazeným kogeneračním jednotkám o stejném výkonu, přibližně stejné doby provozu, tak se hodnoty jednotlivých stanic příliš neliší. Nejvyšších hodnot dosáhla bioplynová stanice Kouty s 3 664 650 kWh/rok, druhou je BPS Horní Tošanovice s vyrobenými 3 637 669 kWh/ rok a BPS Žlutice vyrobila 3 288 428 kWh/rok.

Elektrická energie je u všech tří stanic dodávána do rozvodné sítě ČEZ a EON, který je vykupuje za sazebníkové dotované ceny, garantované na 20 let. Aktuální výkupní cena elektrické energie je 4,12 Kč/kWh.

#### 13.4 Hodnoty množství vyrobeného a kogenerační jednotkou spotřebovaného plynu

Parametry vyrobeného a spotřebovaného plynu u jednotlivých bioplynových stanic se mírně lišily.

U bioplynové stanice Žlutice bylo ze spotřebovaného substrátu vyrobeno 8775,5 m<sup>3</sup> bioplynu, který byl následně kogenerační jednotkou spotřebován na výrobu elektrické energie. V BPS Kouty se vyrobilo 10 280 m<sup>3</sup> bioplynu a v BPS Horní Tošanovice 9676,9 m<sup>3</sup> bioplynu.

#### 13.5 Průměrný obsah H<sub>2</sub>S v bioplynu

Obsah sulfanu v surovém bioplynu se odvíjí jednak od organického substrátu, tak od předcházejícího výrobního procesu (v případě odpadních substrátů a nebo odpadů z prvovýroby). Typické hodnoty se pohybují mezi 0,05 – 5 % obsahu bioplynu, což je 500 – 5000 ppm (parts per milion = částic na milion). Při spalování v KJ sulfan oxiduje na korozivní oxidy síry, což se negativně projevuje na životnosti plynových motorů. Průměrné obsahy nežádoucích příměsí v bioplynu se v jednotlivých stanicích liší a to u některých hodnot poměrně znatelně. Nejnižší hodnoty byly získány ze bioplynové stanice ZD Kouty, jejichž průměrná hodnota dosahovala pouhých 72 ppm. V BPS Horní Tošanovice hodnoty dosáhly 125 ppm a v BPS Žlutice hodnot nejvyšších, více jak dvojnásobných jak v ZD Kouty a to 189 ppm. Všechny hodnoty jsou pod normou doporučenou výrobcem kogeneračních jednotek.

#### 13.6 Druh používaného substrátu (vsádka)

Vsádka u všech bioplynových stanic se skládá zejména z hovězího hnoje, dále kukuřičné siláže a v menší míře travní senáže. Pak se složení jednotlivých denních vsádek liší. Zisk z hovězí kejdy (průměrně cca 22 m<sup>3</sup>/t) využívané v BPS Kouty a Horní Tošanovice, je obvykle nižší než u kejdy vepřové (průměr cca 30 m<sup>3</sup>/t), která je naopak jako hlavní substrát v BPS Žlutice a Horní Tošanovice. Hovězí hnůj je používán ve všech

třech BPS, v největší míře ve Žluticích. U BPS Žlutice se jako u jediné používá jako doplněk GPS a dále voda a digestát. Travní senáž je užívána taktéž ve všech třech BPS, díky velkému množství TTP je nejvíce aplikována v ZD Kouty – průměrný zisk bioplynu je 185 m<sup>3</sup> z 1t sušiny. Kukuřičná siláž je taktéž využita ve všech třech BPS, zhruba ve všech ve stejném obsahu, mírně více je ZD Kouty – průměrný zisk bioplynu bývá kolem 190 m<sup>3</sup>/t sušiny. FERMMEXX je využíván v ZD Kouty a Horní Tošanovice. Nejvíce využívaným substrátem hodnocených stanic je tedy kukuřičná siláž a hovězí kejda.

## 14. ZÁVĚR

Cílem úkolu bylo vytvořit ucelené údaje o procesech anaerobní kofermentace zemědělských odpadů a dalších biogenních látek ve zvolených bioplynových stanicích. V literárním přehledu byl vytvořen souhrn substrátů využitelných k výrobě bioplynu anaerobní digescí.

Výsledky tohoto sledování byly získány ze zvolených zařízení a shrnuty v tabulkách a grafech spolu s hodnocením.

### • **Denní vsádka do BPS**

U sledovaných bioplynových stanic byl potvrzen výrok, že nejdůležitějšími a nevhodnějšími substráty v České republice je stále z fytomasy kukuřičná siláž a doplnkově travní senáž, podle možností jednotlivých bioplynových stanic a dále použití vepřové či hovězí kejdy a hnoje. Další substráty se v jednotlivých stanicích liší z důvodu optimalizace výkonu vyvíjení bioplynu.

### • **Hodnocení teplot ve fermentoru**

Zpracováním grafu z měsíčního vývoje teplot v bioplynových stanicích Horní Tošanovice, Kouty a Žlutice, bylo zjištěno, že mají minimální výkyv a vývoj jejich teplot se neliší od průměrných teplot zmiňovaných v literárním přehledu. Z hodnot dále vyplývá, že bioplynové stanice s vyšší teplotou ve fermentoru dosahují vyšších hodnot vývoje bioplynu.

### • **Hodnoty energie vyrobené v období jednoho měsíce**

Vyrobená energie v bioplynových stanicích ve stanicích se liší jen minimálně, je poplatná době provozu. Všechny stanice byly v provozu celý měsíc, 24

hodin denně, výkon kogeneračních jednotek je přímo úměrný vyvinutému plynu ve fermentorech a dofermentorech

- **Hodnoty množství vyrobeného a kogenerační jednotkou spotřebovaného plynu**

Fermentory a dofermentory v BPS Kouty, Žlutice a Horní Tošanovice vyvinuly mírně odlišné hodnoty množství bioplynu, v závislosti na používané směsi substrátů. Jejich hodnoty jdou s literaturou jen obtížně porovnat, protože dané kombinace substrátů nebyly mnou v literatuře nalezeny.

Kogenerační jednotky spotřebovaly 100 % vyvinutého plynu.

- **Průměrný obsah H<sub>2</sub>S v bioplynu**

Obsah sulfanu v bioplynu, který byl ve zvolených stanicích vyvinut, je pod normou popsanou v literatuře. Menší obsah sulfanu méně ohrožuje životnost kogeneračních jednotek korozí pohyblivých částí.

- **Druh používaného substrátu (vsádka)**

V bioplynových stanicích Kouty, Žlutice a Horní Tošanovice jsou jako hlavní substráty kejda hovězí a vepřová, spolu s hovězím hnojem a kukuřičnou siláží a travní senáží. Jejich používání odpovídá datům popsaným v literatuře. Jednotlivé receptury se pak v jednotlivých stanicích liší, jsou pak doplněny o další složky, které mají ZD k dispozici nebo se přidávají pro optimalizaci výkonu.

Výroba bioplynu v zemědělských bioplynových stanicích je integrální součástí hospodářství venkova. Vychází z produktů zemědělství, využívá zemědělské odpadní suroviny a vedlejší produkty, digestát jako hnojivo vrací minerální prvky zpět do půdy a dochází tak k lepšímu využití zemědělských výrobních prostředků. Tepelná i elektrická energie je přímo využitelná v provozu podniku, stejně jako případný biometan vyrobený úpravou bioplynu (např. jako palivo do zemědělské techniky a dopravních prostředků).

Dalším zásadním přínosem je stabilizace hospodaření zemědělského podniku jako vlastníka BPS, a to z titulu stabilních a bezpečných finančních výnosů z prodané elektřiny či tepla.

S provozováním bioplynových stanic v běžném zemědělském provozu nejsou rozsáhlé a dlouhodobé zkušenosti. Přesto lze konstatovat, že každá BPS kromě udržení pracovních míst v zemědělské prvovýrobě vytváří další pracovní příležitosti – obsluha BPS, případně navazujících provozů. Bioplynová stanice zakládá v daném místě potenciál dalšího rozvoje lokality a zejména malého a středního podnikání – při využití tepla z BPS (skleníky, sušení dřeva, komunální otopné soustavy, vytápění místních průmyslových provozů a zajištění technologické páry), surového nebo čištěného bioplynu (lokální energetické sítě, plničky bio - CNG/LNG, chemická výroba) a dalších produktů.

Výroba bioplynu může být značně decentralizovaná, protože stejně efektivně vyrábí bioplyn v malých bioplynových stanicích jako ve velkých. Při existenci velkého množství menších bioplynových stanic může být materiál vhodný pro anaerobní fermentaci zpracováván co nejbližší místa svého vzniku. Tím se sníží nároky na dopravu a mohou tak být využity i ty zdroje, které by se jinak nevyplatilo na větší vzdálenosti vozit.

Napojení těchto bioplynových stanic na rozvodnou plynovou síť zajistí flexibilitu celého systému. V České republice zatím není podporováno využívání biometanu do plynové rozvodné sítě ani užití bioplynu jinak než na kombinovanou výrobu elektrické energie a tepla. Alternativní využití bioplynu jinak než v kogeneraci je tak relativně znevýhodněno.

Rozvoj v oblasti lokálních sítí může otevřít příležitosti v oblasti energetického zásobení obcí (vytápění domů), podniků (skleníky, sušárny, bazény, průmyslové podniky atd.) a využívání lokálních obnovitelných zdrojů. To povede k vyšší energetické účinnosti provozu BPS jako celku. Lepší koordinovanost a vyšší energetická soběstačnost regionů by měla zabránit odlivu kapitálu, podpořit tvorbu nových podnikatelských příležitostí a větší bezpečnost v krizových stavech. Je třeba se zaměřit na využívání a synergii potenciálu bioplynových stanic v kombinaci s ostatními odvětvími obnovitelných energetických zdrojů.

Z vodohospodářského hlediska může vést pěstování zemědělských plodin pro energetické využití cestou výroby bioplynu ke konfliktům, bude-li mít za následek zvýšení vnosu látek, zejména nitrátového dusíku, mikrobiologického nebo toxického znečištění do vod. Pro trvalé zamezení konfliktům mezi cíli ochrany klimatu na jedné straně a ochrany vod na straně druhé, musí být požadavky vodohospodářů důsledně zahrnuty do politiky podpory a výkonu státní správy.

Osevní postupy současných zemědělských podniků se v posledních letech postupně mění. V tomto procesu, který je mimo jiné ovlivněn úbytkem produkce v živočišné výrobě, ztrátou kvót na cukrovku a tržními vlivy, se zvyšují plochy kukuřice. Tato plodina je důležitá nejen jako zdroj krmné základny, ale v posledních letech především jako zdroj energie a tím i jako základní surovina pro bioplynové stanice.

Vzhledem k tomu, že plochy kukuřice rostou, roste i nárok pěstitelů na kvalitu a způsob založení porostu. Technologie setí kukuřice se zásadně mění také proto, že konvenční technologie silně zvyšuje riziko vodní eroze, a proto je pěstování kukuřice možné pouze v souladu se zásadami GAEC. U půd ohrožených erozí budou plodiny zakládány pouze s využitím půdoochranných technologií.

Současný početní stav bioplynových stanic nevytváří ještě dostatečný objem pro realizaci obchodů se substráty, digestátem, energetickými či vedlejšími produkty BPS a pro vytvoření standardního trhu. Během tří let se však počty BPS více než zdvojnásobí a postupně bude překonána hranice, kdy i tento sektor bude z hlediska obchodního zajímavý, přestože bude vždy limitován regionálními a místními podmínkami. Je proto velmi důležité již nyní podpořit tržní prostředí mapováním a zveřejňováním cen a obchodních možností či zhodnocení možnosti využití a dopadů jejich produktů na lokální a celostátní úrovni.

Budoucí vývoj energetické situace v České republice jistě nebude jednoduchý. Dnes zde existuje téměř naprostá závislost na dovozu ropy, zemního plynu a jaderného paliva, jediným domácím palivem je uhlí a pouze omezené množství nabízí obnovitelné zdroje. Jejich rozvoj je v současnosti v centru pozornosti politiků a veřejnosti a nemělo by se zapomínat, že je zapotřebí rozvíjet všechny dostupné zdroje energie a neupřednostňovat přitom žádný z nich. O tom, že se tak často neděje, svědčí návrh koncepce české energetiky z dílny MŽP, kde je růst podílu OZE na spotřebě primárních zdrojů navrhován takto: 6 % v roce 2010, 20 % v roce 2030 a více než 50 % v roce 2050.

Nedostatkem koncepčních variant, byť ne zásadním, je naprosté opomíjení role odpadů, zejména komunálních a živnostenských. Jejich energetické využívání je dobře zvládnuté a může pozoruhodně přispět do bilance spotřeby primárních energetických zdrojů. Zvláště když Evropská komise plánuje postupnou totální likvidaci skládek.

I když takto realizovatelný potenciál biomasy a bioplynu nepatří mezi obnovitelnými zdroji k nejvyšším, odhaduje se jeho plné uplatnění až na období okolo roku 2050



a faktem zůstává, že v současnosti využíváme jen asi třetinu tohoto potenciálu, svědčí o stále solidních rezervách, která je v možnostech této výroby. Že toto odvětví má stoupající úroveň, je nezpochybnitelné a důkazem je i počet každoročně přibývajících BPS a jejich výkonu, zda se ale podaří zrealizovat výrobou celý možný potenciál a zda se bude ubírat tím nejlepším možným směrem, nám teprve ukáže čas a vědeckotechnický pokrok.

Energetickou budoucnost proto není nutné dramtizovat, spíše je zapotřebí racionálně a pragmaticky situaci analyzovat a rozhodnout se pro všestranně nejvhodnější řešení. V něm pak nesmí chybět motivace k hospodárnému využívání energie a k jejím úsporám.

## 15. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- 1) ANDERT, D. a kol. (2006): Využití trav při produkci bioplynu. In: Energetické a průmyslové rostliny XI. - Sborník referátů CZ Biom, Chomutov 2006: 85 - 90 s.
- 2) BALÍK, J., VANĚK, V., TLUSTOŠ, P. (2001): Výživa a hnojení kukuřice In.: Sborník ze semináře „Kukuřice“ 2001. ČZU Praha, MZLU Brno, 23–26 s.
- 3) BUKVIC, G., ANTUNOVIC, M., POPOVIC, S., RASTIJA, M. (2003): Effect of P and Zn fertilisation on biomass yield and its uptake by maize lines (Zeamays L.). Plant Soil and Environment, 49, 11, pp. 535–539, 505–510 s.
- 4) ČERNÝ, O. (2010): Hybridy vyšlechtěné pro bioplyn, Úroda. – ročník LVIII, č. 11, ISSN 0139-6013, 16 – 18 s.
- 5) ČERNÝ, O. (2010): Modrá pro bioplyn, Úroda, ročník LVIII, č. 2, ISSN 0139-013, <http://www.dekalb.cz/dekalb/index.jsp?codeRubrique=81&siteCode=CS>  
staženo dne : 11.2.2011, 14–15s.
- 6) DIVIŠ, J., KAJAN, M. (2010): Energie využitelná z kukuřice, Úroda. – ročník LVII, č. 8, 26-28, ISSN 0139-6013, 26 - 28 s.
- 7) DIVIŠ, J., KAJAN, M., PROCHÁZKA, J. (2010): Kukuřice a bioplyn, (Maize and biogas), pokusy se silážním hybridem kukuřice LATIZANA a hybridem kukuřice ATLETICO, Sborník příspěvků z konference AKTUÁLNÍ POZNATKY V PĚSTOVÁNÍ, ŠLECHTĚNÍ, OCHRANĚ ROSTLIN A ZPRACOVÁNÍ PRODUKTŮ, Vědecká příloha časopisu Úroda, Brno, 11. - 12.11. 2010, ISSN: 0139-6013, Úroda 12, vědecká příloha, 111 - 114 s.
- 8) FRYDRYCH, J., ANDERT, D., KÁRA J., JUCHELKOVÁ, D. (2006): Nové poznatky ve výzkumu energetických trav, Úroda, 54, 12: ISSN 0139-6013, 31-33 s.

- 9) HAVLÍČKOVÁ, K. a kol. (2008): Rostlinná biomasa jako zdroj energie. VÚKOZ, Průhonice, ISBN 80–85116–38-3, 82 s.
- 10) HLUŠEK, J., RICHTER, R. (2003): Úloha některých biogenních prvků ve výživě kukuřice In.: Sborník ze semináře „Kukuřice v praxi 2003“. MZLU Brno, ISBN 80-7157-640-9, 15– 24 s.
- 11) HOFMANOVÁ, D. (2006): Budoucnost patří energii z bioplynu. Úroda (12), ISSN 0139-6013, 14 – 15 s.
- 12) HRUBÝ, J. (2001): Zpracování půdy k silážní kukuřici – poznatky z dlouhodobých pokusů. Agromagazín, 2, č. 3 , ISSN 1214-0643 , 19 – 20 s.
- 13) KADAR, I., GULYAS, F., GASPAR, L., ZILAHY, P. (2000): Mineralnutrition of maize (*Zeamays L.*) on chernozemsoil I. *Novenytermeles*, 49, 4, 371–388 s.
- 14) KOCOURKOVÁ, D., FUKSA P.(2006): Využití travní fytomasy pro výrobu bioplynu. In: Nové poznatky v pícninářství a trávníkářství. Sborník příspěvků z odborného semináře „Univerzitní pícninářské dny“, ČZU Praha, 12. – 13. 10. 2006, s. 49 – 51.
- 15) Kolektiv autorů, (2003): Obnovitelné zdroje energie a možnosti jejich uplatnění v České republice. ČEZ, Praha.
- 16) KOUTNÝ, R. (2010): Termické využití separátu po anaerobní fermentaci biologicky rozložitelných odpadů. Biom.cz [online]. 2010-01-25 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/termicke-vyuziti-separatu-po-anaerobni-fermentaci-biologicky-rozlozitelnych-odpadu>. ISSN: 1801-2655.
- 17) KOVAEVIC, V a kol. (2004): Fertilization impacts on the yield and nutritional status of maize (*Zeamays L.*). *Cereal Research Communications*, 32, 3, ISSN 0133-3720, 403–410 s.
- 18) LIBRA, M., POULEK, V. (2007): Zdroje a využití energie, ČZU v Praze, 140 s.

- 19) LOŠÁK, T., HLUŠEK, J. (2006): Zásady efektivního hnojení kukuřice, In.: Sborník ze semináře „Kukuřice v praxi 2006“, MZLU Brno, 19–23 s.
- 20) Metodický pokyn Ministerstva ŽP (sekce ochrany klimatu a ovzduší a sekce technické ochrany ŽP) k podmínkám schvalování bioplynových stanic před uvedením do provozu,  
Dostupné na: [http://iris.env.cz/AIS/web-pub2.nsf/cz/schvalovani\\_bioplynovych\\_stanic](http://iris.env.cz/AIS/web-pub2.nsf/cz/schvalovani_bioplynovych_stanic)
- 21) MOUDRÝ, J., SOUČKOVÁ, H. (2006): Nepotravinářské využití fytomasy. VÚZE v Praze a ZF JU v Č. Budějovicích, 95 s.
- 22) MOUDRÝ, J. - STRAŠIL, Z. (1996): Alternativní plodiny. Skriptum, Jihočeská univerzita, ZF, Č. Budějovice, 90 s.
- 23) MUNOZ, M. A., ARSCOTT, T. G. (1991): On phosphorus uptake and growth of corn (ZeaMays L). Journal of Agricultureofthe University of Puerto Rico, 75, 2,153 – 162 s.
- 24) MUŽÍK, Oldřich, SLEJŠKA, A.(2003): Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. Biom.cz [online]. 2003-07-14 [cit. 2011-03-16]. Dostupné z WWW: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>. ISSN: 1801-2655.
- 25) MUŽÍK, O., HUTLA, P.(2006): Biomasa – bilance a podmínky využití v ČR., Biom.cz,[cit. 2006-04-23], dostupné z www: <http://biom.cz/index.shtml?x=217755>., ISSN: 1801-2655.
- 26) MŽP ČR (2003): Scénář MŽP pro aktualizaci státní energetické koncepce ČR.
- 27) NOSKIEVIČ, P., KAMINSKÝ, J. (2004): Energie z biomasy, Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, Výzkumné energetické centrum, ISSN 1801- 4399, <http://www.tzb-info.cz/1936-fakta-a-myty-o-obnovitelnych-zdrojich-ii>, staženo dne : 8.1. 2011.

- 28) PASTOREK, Z., KÁRA, J.(2003): Suchá fermentace zemědělských a komunálních organických odpadů, *Biom.cz* (On-line), 2003/09, (cit 2006/04), dostupné na internetu [www:<http://biom.cz/index.shtml?x=147360>](http://biom.cz/index.shtml?x=147360), ISSN: 1801-2655, staženo dne : 8.3.2011.
- 29) PETŘÍKOVÁ, V. (2008): Biomasa pro bioplynové stanice zemědělského typu, *Úroda* (9), ISSN 0139-6013, 92 s.
- 30) PETŘÍKOVÁ, V a kol. (2006) : Energetické plodiny, 1. vydání, ISBN 80-86726-13-4, 95 - 96 s.
- 31) PETŘÍKOVÁ, V. (2005): Energetická biomasa z polních kultur. *Biom.cz* [online]. 2005-05-11 [cit. 2011-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/energeticka-biomasa-z-polnich-kultur>>. ISSN: 1801-2655.
- 32) PETŘÍKOVÁ, V.(2009): Rumex OK 2 – krmný šťovík. *Biom.cz* [online]. 2009-05-11 [cit. 2011-03-22]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/rumex-ok-2-krmny-stovik>>. ISSN: 1801-2655.
- 33) POVOLNÝ, M. (1998): Přehled odrůd kukuřice 1998, ÚKZÚ Brno, 1. vydání, ISBN 80-86051-26-9.
- 34) PROKEŠ, K. (2008): Výživa kukuřice v bramborářské výrobní oblasti, Doktorská disertační práce, MZLU Brno.
- 36) PROKOP, M. (2008): Sklizeň kukuřice na siláž v roce 2008, Agromanuál 9, ISSN 1801-4895, 44 – 45 s.
- 37) RICHTER, R., RYANT, P.(2008): Výživa kukuřice. In: Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry.1. Praha: ProfiPress, s. r. o., ISBN 978-80-86726-31-1, 111–134 s.

- 38) SKLÁDANKA, J. (1996): Multimediální učební texty píceinářství dostupné na <http://www.af.mendelu.cz/external/prezentace/picniny/uctext/sklady.php?odkaz=kukurice.html>.
- 39) STRAKA, F. a kol. (2010): Bioplyn, GAS s.r.o., Praha, ISBN 978-80-7328-235-6.
- 41) SZIF, (2008): Horizontální plán rozvoje venkova, Agroenvironmentální opatření. [cit. 24. 11. 2008], dostupné na internetu: <http://www.szif.cz/>
- 42) TRNAVSKÝ, J.(2010), Zemědělství je produkce energie, dostupné na internetu [www:http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Zemedelstvi-je-i-produkce-energie\\_\\_s303x47854.html](http://www.energie21.cz/archiv-novinek/Zemedelstvi-je-i-produkce-energie__s303x47854.html), staženo dne : 7.10.2010.
- 43) UTĚŠIL, T. (2009): Suška na biomasu. Sborník příspěvků ze semináře „Energie z biomasy X“, VUT v Brně, 2009, ISBN 978-80-214-4027-2.
- 44) VALENTA, S., ŠREIBER, P. (2001): Nové přístupy při zakládání porostů, Zemědělský týdeník, příloha Pěstování a využití kukuřice - únor 2001, 3-5 s.
- 45) VÁŇA, J. – SLEJŠKA, A.(1998): Bioplyn z rostlinné výroby. Stud. inform., Ř. rostl. výr., Praha, ÚZPI, č. 5, 41 s.
- 46) VÁŇA, J. (2007): Využití digestátů jako organického hnojiva. [cit. 24. 11. 2008], uveřejněno 25. 4. 2007, dostupné na internetu: <http://biom.cz/index.shtml?x=1996029>, ISSN: 1801-2655, staženo dne : 11.2.2011.
- 47) VÁŇA, J.(2006): Možnosti rozvoje bioplynových stanic v ČR, Biom.cz, [cit. 2006-04-23], dostupné z [www: http://biom.cz/index.shtml?x=45740](http://biom.cz/index.shtml?x=45740), ISSN: 1801-2655.
- 48) WARD, A.J. , HOBBS, P.J., HOLLIMAN, P.J., JONES, D.L., (2008): Optimisation of the anaerobidigestion of agricultural resources, Bioresource Technology, doi:10.1016/j.biortech.2008.02.044 in press, pp. 7928-7940.

- 49) ZIMOLKA, J. a kol. (2008): Kukuřice – hlavní a alternativní užitkové směry. 1. vyd. Praha: ProfiPress s.r.o., ISBN 978-80-86726-31-1, 300 s.
- 50) MUŽÍK, O., KÁRA, J. Možnost výroby a využití bioplynu v ČR. Biom.cz [online]. 04.03.2009 [cit. 2011-04-05]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborneclanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>>
- 51) HRŮZA, R., STOBER, K. Co ovlivňuje efektivitu provozu bioplynové stanice. Biom.cz [online]. 01.04.2009 [cit. 2011-05-19]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/co-ovlivnuje-efektivitu-provozu-bioplynovestanice>>
- 52) ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. O nás. online . cit. 2011-06-07 . Dostupný na WWW: <http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=vice-oczba>
- 53) ČESKÁ BIOPLYNOVÁ ASOCIACE. National Report on stateof CNG/biomethane filling station network – Czech Republic. GasHighWayonline . 2010 cit. 2011-04-15 . Dostupný na WWW:<<http://www.gashighway.net/default.asp?sivulD=25922&component=/modules/bbsView.asp&reclD=18993>>
- 54) KAZDA, M. a kol. Bioplynová stanice energeticky soběstačné obce Kněžice. Obec Kněžice [online]. [cit. 2011-05.27]. Dostupné z WWW: < [http://www.obecknezice.cz/images/stories/Brozura\\_Bioplynova\\_stanice\\_Knezice\\_-\\_copy\\_pdf.pdf](http://www.obecknezice.cz/images/stories/Brozura_Bioplynova_stanice_Knezice_-_copy_pdf.pdf)>
- 55) DEUBLEIN D., STEINHAUSER A., (2008) : Biogas from waste and Renewable Resources., An Introduction Wiley – VCH Verlag GmbH and Co., KGaA, Weinheim ISBN : 978-3-527-31841-4, 443 s.
- 56) GERNDTOVÁ I., ANDERT D., (2009) : Využití travních směsí při anaerobní digesci, Biom.cz [online] 2009 -11-18, [cit. 2010-01.18]. Dostupné z www: ISSN: 1801-2655

- 57) KAJAN, Miroslav, (2005): Bioplyn z odpadů živočišné výroby. *Biom.cz* [online]. 2005-08-23 [cit. 2013-03-31]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplyn-z-odpadu-zivocisne-vyroby>>. ISSN: 1801-2655.
- 58) BELADA B., (2012), ČMSZP: Vývoj výkupní ceny energií na rok 2013 u bioplynových stanic. Dostupné z WWW: <http://www.cmszp.cz/informace-ak-cr/267-informace-ak-cr-2012>.
- 59) KAJAN M., LHOTSKÝ R., (2006) :Možnosti zvýšení výroby bioplynu a stávajících zařízení, ENKI o.p.s. Třeboň, 2006, 1- 118
- 60) KÁRA J., PASTOR Z., PŘIBYL E. a kol., (2007) : Výroba a využití bioplynu v zemědělství, vydání první, VÚZT Praha , 2007 , 1-117 , ISBN 978 – 80 – 86884 -28 - 8



## 16. PŘÍLOHY

Obrázek č. 11: [Zeamays\(ČÍŽ, 8.1.2010\)](#)



Obrázek č. 12 : Čírok- [http://g.denik.cz/2/78/irok-p8300015\\_denik-380.jpg](http://g.denik.cz/2/78/irok-p8300015_denik-380.jpg)



Obrázek č. 13 : Digestát [http://g.denik.cz/2/78/irok-p8300015\\_denik-380.jpg](http://g.denik.cz/2/78/irok-p8300015_denik-380.jpg)

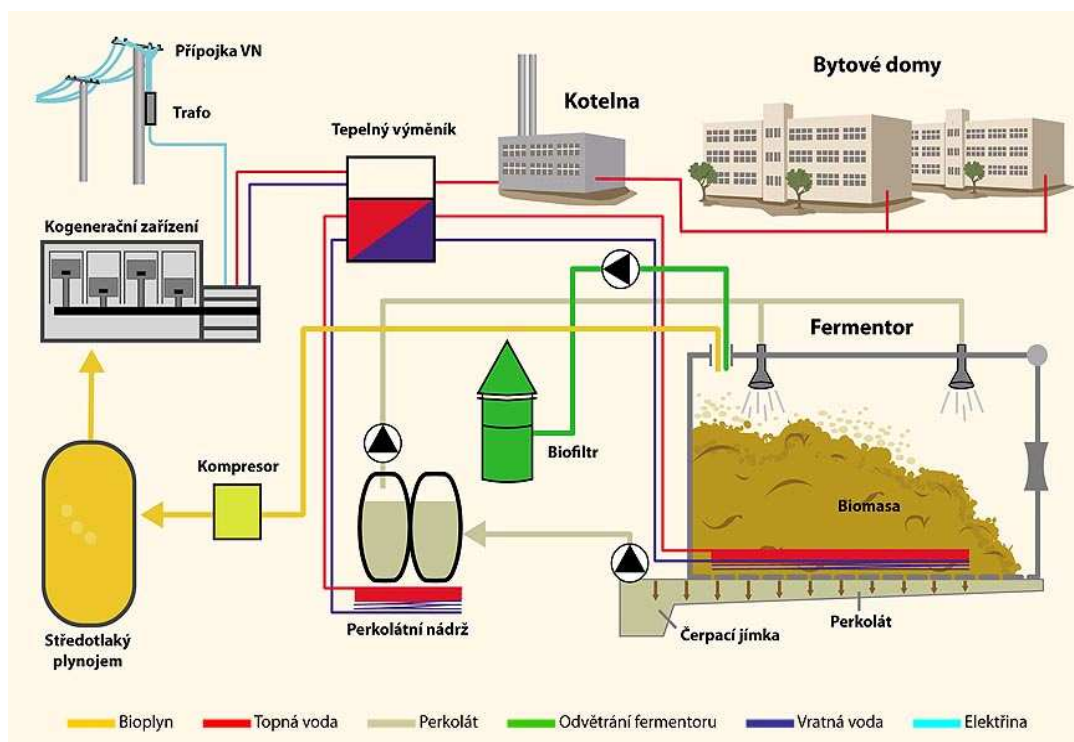


Obrázek č. 14 : Fugát - <http://biom.cz/cz/obrazek/tekuty-digestat-fugat>



Obrázek. č. 15 : Princip suché fermentace

<http://www.fortexbioplyn.cz/cz/bioplynové-stanice-sucha-fermentace/>



**Obrázek č.16 :** Bioplynová stanice, RYCHTERA Zd.

(2010) <http://www.enviport.cz/kraj-souhlasí-se-stavbou-ko-196423.aspx>



**Obrázek č. 17:** Bioplynová stanice o výkonu 250 kW, BÍLÝ Zd. (2010) Trutnov

[http://www.poettinger.at/sk/news\\_details/3414/](http://www.poettinger.at/sk/news_details/3414/)



**Obrázek č.18:** Návoz řezanky do bioplynové stanice,

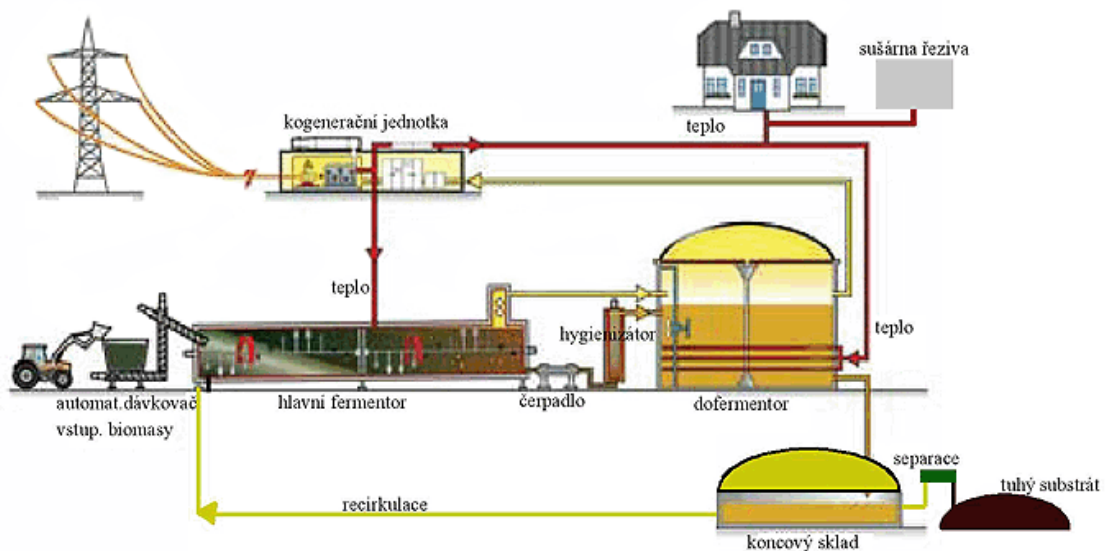
BÍLÝ Zd. (2010) Trutnov [http://www.poettinger.at/sk/news\\_details/3414/](http://www.poettinger.at/sk/news_details/3414/)

**Obrázek č. 19:** Kukuřičná drť (syká konzistence) VÚZT,  
KÁRA J.



**Obrázek č. 20:** Vzorek  
předfermentované kukuřičné siláže,  
DOHÁNYOS M.

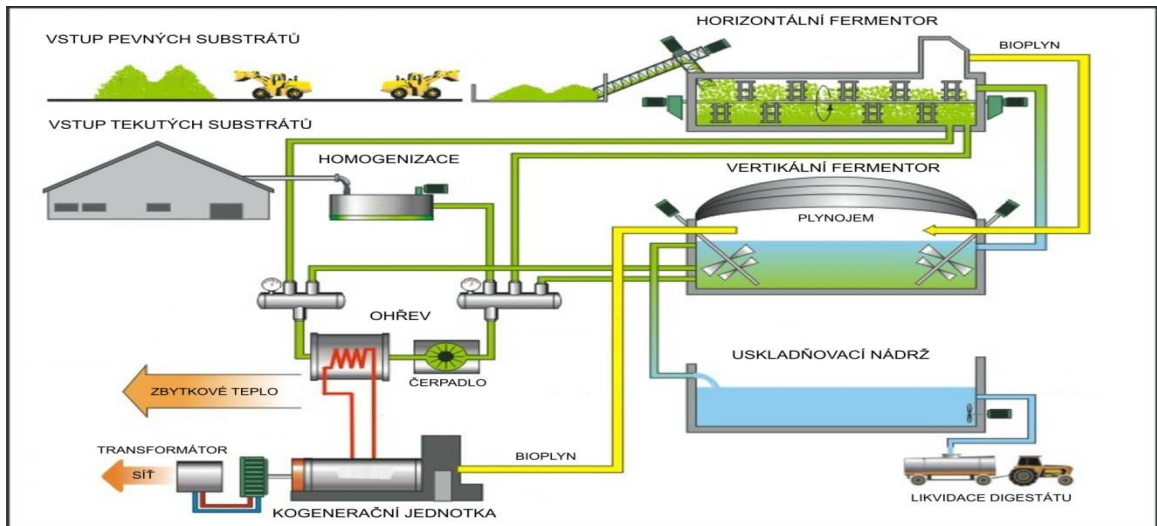
[http://www.czba.cz/index.php?art=page  
&parent=veda-a-  
vyzkum&nid=produkce-bioplynu-z-  
kukurice](http://www.czba.cz/index.php?art=page&parent=veda-a-vyzkum&nid=produkce-bioplynu-z-kukurice)



**Obrázek č. 21:** Schéma bioplynové stanice  
[http://www.agro-otrocin.cz/bioplynova\\_stanice.php](http://www.agro-otrocin.cz/bioplynova_stanice.php)

**Obrázek č. 22:** Schéma bioplynové stanice s horizontálním fermentorem, AGROMONT VIMPERK, spol. s r.o.

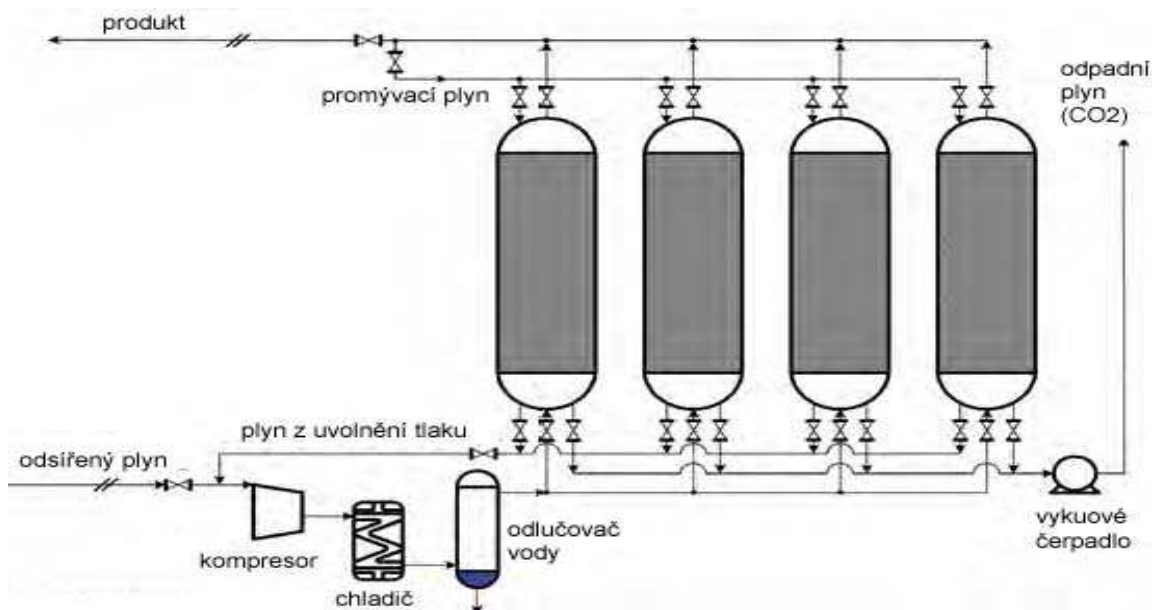
<http://www.agromont.cz/cs/11/section-40/energetika-biopllynové-stanice.htm>



**Obrázek č. 23 :** Příklad konkrétní technické realizace procesu PSA

(Biogasaufbereitungssysteme zur Einspeisung in das Erdgasnetz – ein Praxisvergleich“

(BASE TECHNOLOGIES GmbH, Institut Umwelt-, Sicherheits-Energetik UMSICHT), 2008)



Obrázek č. 24: Mapa bioplynových stanic v ČR – Zemědělské BPS - [www.biom.cz\(2012\)](http://www.biom.cz(2012))

