

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra pícninářství a trávnickářství



Uplatnění vojtěšky pro výrobu bioplynu

Diplomová práce

Vedoucí práce: Ing. Josef Hakl Ph.D.

Autor práce: Martin Langer

2013

Prohlášení

Prohlašuji, že svou diplomovou práci "Uplatnění vojtěšky pro výrobu bioplynu" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne: 12. 4. 2013

Podpis autora práce

Poděkování

Děkuji svému školiteli Ing. Josefu Haklovi Ph.D. za odbornou pomoc, konzultace, cenné připomínky při vedení diplomové práce a za zapůjčenou literaturu.

Souhrn

Téma diplomové práce „Uplatnění vojtěšky pro výrobu bioplynu“ shrnuje výsledky pokusu produkce bioplynu ze substrátu vojtěšky s možností využití pro BPS. Literární přehled vystihuje základní vlastnosti vojtěšky a seznamuje nás s aktuálními poznatky k tématu produkce bioplynu (BPS). Hlavním cílem práce bylo posoudit, jestli změna termínu sklizně vojtěšky nemá vliv na výtěžnost a produkci bioplynu

Pro účel pokusu byl v letech 2009 – 2010 hodnocen porost vojtěšky, založený na pokusném pozemku FAPPZ ČZU Praha Suchdole v roce. Odběr vzorku se uskutečnil ve vegetačních fází butonizace a kvetení. Laboratorní testy výtěžnosti byly testovány v lahvích o objemu 120 ml v pěti opakováních pro každou variantu. Kultivace probíhala v termoboxu při 40 °C po dobu 40 dnů. Produkce bioplynu byla u laboratorních testů biomasy zjišťována 1x denně na plynoměrné byretě. Získaná data byla zanesena do tabulek a grafů popisujících např. výtěžnost, dynamiku výnosu a zisk bioplynu dle fáze.

Pokus prokázal, že dynamika výnosu bioplynu ze substrátu píce vojtěšky je závislá na fázi a starší píce (fáze kvetení má pomalejší dynamiku tvorby bioplynu). Hlavním výsledkem pokusu je zjištění, že celkový průměrný výnos metanu ve fázi kvetení je o 23,2 % větší než ve fázi butonizace. Pěstování vojtěšky dále umožňuje obohacení půdy dusíkem (schopnost dodávat pomocí symbiózy s půdními bakteriemi v průměru 200 kg/ha dusíku). Vojtěška, která se primárně sklízí ve fázi butonizace (nižší výnos sušiny, ale kvalitnější píce) s cílem získat píci pro krmění zvířat, prokázala tak i svoji schopnost být vhodným doplňkem v osevním postupu pro bioplynové stanice.

klíčová slova: vojtěška, bioplyn, bioplynová stanice, anaerobní fermentace

Summary

Diploma thesis "Application of alfalfa to produce biogas" summarizes the results of an experiment biogas production from alfalfa substrate to be used for BPS. A review of literature describes the basic properties of alfalfa and acquaints us with current knowledge on biogas production (BPS). The main objective of this work was to assess whether the change of the harvest alfalfa does not affect the yield and production of biogas

For the purpose of the experiment was in the years 2009 - 2010 crop alfalfa evaluated based on the experimental plot FAPPZ ČZU in Prague Suchbát. Sampling took place in vegetative and flowering stage butonizace. Laboratory tests yield were tested in bottles of 120 ml in five repetitions for each variant. Cultivation was carried out in thermoboxes at 40 ° C for 40 days. Biogas production was evaluated in laboratory tests biomass measured on day 1 plynoměrné Bureau. The data were entered into tables and graphs describing eg yield, yield and profit dynamics of biogas by phase.

Experiments have shown that the dynamics of biogas yield of alfalfa forage substrate is dependent on the stage and the old crop (flowering phase has slower dynamics of biogas). The main result of the experiment, the overall average yield of methane in the flowering phase is 23.2% more than in phase butonizace. Growing alfalfa also allows enrichment of soil nitrogen (the ability to deliver through symbiosis with soil bacteria on average 200 kg / ha nitrogen). Alfalfa, which is primarily harvested in phase butonizace (lower dry matter yield, but higher quality forage) to obtain forage for animals and demonstrated its ability to be a good complement to the rotation of crops for biogas

key words: alfalfa, biogas, biogas station, anaerobic fermentation

Obsah

1	Úvod.....	1
2	Cíl práce, vědecká hypotéza	2
3	Přehled literatury.....	3
3.1.	Bioplyn a jeho využití	3
3.2.	Anaerobní fermentace	8
3.3.	Bioplynová stanice	13
3.4.	Bioplynové technologie	15
3.5.	Digestát a jeho využití.....	- 18 -
3.6.	<i>Medicago sativa</i> (Vojtěška setá)	- 19 -
4	Materiály a metodika	- 22 -
5	Výsledky	- 24 -
5.1.	Ekonomické zhodnocení uplatnění vojtěšky pro výrobu bioplynu.....	- 30 -
5.2.	SWOT analýza uplatnění vojtěšky pro produkci bioplynu	- 35 -
6	Diskuze	- 36 -
7	Závěr	- 41 -
8	Seznam literatury	- 42 -
9	Seznam použitých zkratk a symbolů.....	- 46 -
10	Seznam použitých tabulek a grafů	- 47 -
	Samostatné přílohy	- 49 -

1 Úvod

Aktuální vývoj cen pohonných hmot a ostatních energetických vstupních surovin, spolu s přeměnou zemědělského sektoru po vstupu ČR do EU, vede zemědělce k hledání možností zlepšení své ekonomické situace a možnosti dalšího rozvoje.

Opomineme-li nevýrobní možnosti spojené s udržitelností a rozvojem zemědělství a venkova, můžeme označit pěstování energetických plodin jako významný zdroj financí pro zemědělské podniky. Od r. 2005 kdy byl přijat zákon č. 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů, zažívá území ČR velký růst počtu bioplynových stanic. Čeští zemědělci vycházejí ze zkušeností z okolních států, zejména z německy mluvících zemí, kde BPS tvoří významný zdroj financí a přispívají i větší měrou k samozásobení energií a tvorbě kvalitního hnojiva (digestát) jako sekundárního produktu.

Substráty pro BPS můžeme získávat z cíleně pěstovaných plodin (např. konopí seté, chrastice rákosovitá) nebo z tradičně pěstovaných plodin jakými jsou kukuřice, řepka olejná či zbytky rostlinné výroby. Odpady z živočišné výroby jsou také využívány, ale ve spojení s produkty rostlinné výroby, aby zlepšili poměr mezi C:N. Nejvíce využívanou kombinací substrátu pro BPS je směs kukuřice a kejdy.

Limitovaná plocha půdy vhodná pro pěstování kukuřice a také konkurence pro výrobu krmiv pro zvířata vede zemědělce k hledání možností využití ostatních plodin jako základu pro BPS. Pozice kukuřice je patrně nenahraditelná, ale může být vhodně doplňována i jinou pícní plodinou např. vojtěškou.

Vojtěška neposkytuje tak velké výnosy, ale vyprodukovaná píče je stabilní a rozložena do více sečí i let. Spolu s pozitivním vlivem na půdní úrodnost a možností snížení nákladů pro výrobu (není potřeba hnojení dusíkem) je vojtěška aktuálně významným adeptem, aby doplnila kukuřici jako hlavní plodinu pro BPS.

Diplomová práce seznamuje s aspekty výroby bioplynu a posoudí možnosti uplatnění vojtěšky pro produkci bioplynu.

2 Cíl práce, vědecká hypotéza

Cíl práce

Cílem práce je posoudit možnosti uplatnění vojtěšky pro produkci bioplynu ve vztahu k termínu sklizně. Výsledky budou využitelné v zemědělské praxi i pro další výzkum.

Stanovení vědecké hypotézy

Vědecká hypotéza: „Termín sklizně vojtěšky nemá vliv na výtěžnost a produkci bioplynu.“

3 Přehled literatury

3.1. Bioplyn a jeho využití

Jak už jméno samé nechá tušit, vzniká bioplyn v biologickém procesu. Při něm dochází bez přístupu kyslíku k vytvoření směsice plynů – bioplynů – z organické hmoty. Tento v přírodě velice rozšířený proces se nachází například v rašeliništích, na dně jezer, v jímcích s kejdou či v bachoru přežvýkavců. Zde je přítomná organická masa téměř úplně přeměněna na bioplyn a jen nepatrné množství na novou biomasu nebo na teplo (Kratochvílová a kol., 2010).

I když je tento proces v přírodě běžný a lidstvu je nám již několik desítek let, tak Marchaim (1992) uvádí, že hlavní zájem o bioplyn nastal po roce 1973 příchodem energetické krize a nutnosti hledání náhrady fosilních paliv.

V hledání náhrady fosilních paliv, označil El Bassam (2010) Čínu a Indii za hlavní lídry z důvodu propracovanosti v oblasti BPS. V Číně je více než 7,5 milion domácností napojeno na kvalitně rozmístěnou síť bioplynových stanic.

Biologický proces pro rozklad organických látek bez přístupu kyslíku za vzniku bioplynu je literatuře nejčastěji označován jako anaerobní fermentace, anaerobní metanová a anaerobní digesce. Samotný proces vzniku bioplynu probíhá v bioplynových stanicích.

Ust'ak (2006) označil tři základní produkty, které jsou výsledkem procesu anaerobní fermentace:

- 1) bioplyn – směs metanu, oxidu uhličitého, dusíku, vodíku a dalších plynů, která je schopna hoření a využití pro produkci tepla a elektřiny. Je využitelný jako energeticky bohaté palivo
- 2) digestát- vyhnílý kal, tuhá, nerozložená frakce organických látek vláknité povahy. Využitelná jako organické hnojivo, která je před aplikací na půdu obvykle upravována na kompost tj. aerobní stabilizace

- 3) perkolát- procesní tekutina, obsahuje základní živiny pro rostliny dostupné formě. Přebytky jsou použitelné v zemědělství jako tekuté hnojivo

Kvalita a množství vyprodukovaných produktů se odvíjí od vlastností substrátu a průběhu anaerobní fermentace.

3.1.1. Charakteristika a vlastnosti bioplynu

Bioplyn je svým chemickým složením jednoduchým i komplikovaným systémem současně. Jednoduché je vždy majoritní složení bioplynu, tedy zastoupení složek v jednotkách objemových procent a výše. Reaktorové bioplyny jsou prakticky tvořeny pouze binární směsí metanu a oxidu uhličitého v různých poměrech podle podmínek fermentace a podle kvality substrátu (Straka, 2010).

Jeho fyzikální a chemické vlastnosti závisí na materiálových a procesních parametrech. V ideálním případě by bioplyn obsahoval pouze dva majoritní plyny, a to metan (CH_4) a oxid uhličitý (CO_2). Koncentrace metanu se obvykle pohybuje od 50 do 75 %. V ideálním případě jej doplní 25 – 50 % oxidu uhličitého. V praxi je však surový bioplyn tvořen příměsí dalších minoritních plynů, které mohou signalizovat přítomnost některých chemických prvků v materiálu nebo poruch průběhu anaerobní fermentace (Kára, 2007).

Tabulka 3.1: Skladba bioplynu a vlastnosti komponentů

Komponent	Účinky
Metan	Hořlavý komponent
Oxid uhličitý	Snižuje výhřevnost Zvyšuje metanové číslo Tvoří s vlhkostí slabou kyselinu
Sírovodík	Způsobuje korozi Zhoršuje po spálení emise
Amoniak	Zhoršuje po spálení emise
Vodní pára	Způsobuje korozi Způsobuje nebezpečí zamrznutí
Prach	Ucpává trysky

Dusík	Snižuje výhřevnost
Siloxany	Tvoří abrazivní materiál

Zdroj dat: Možnosti výroby a využití bioplynu v České republice (Kajan, Lhotský, 2005)

Tabulka 3.2: Základní vlastnosti bioplynu a jednotlivých složek

Základní vlastnost		Bioplyn (60% CH ₄)	Metan	Oxid uhličitý	Vodík	Sirovodík	Amoniak	Dusík
Objemový podíl	%	100	45-75	25-48	0-3	0,1-1	stopy	1-3
Výhřevnost	MJ.m ⁻³	21,5	35,84		10,8	22,8		
Práh vzplanutí	obj. %	6-12	5-15		4-80	4-45	16	
Teplota zapálení	°C	650-750	650- 750		585			
Měrná hmotnost	kg.m ⁻³	1,2	0,714	1,977	0,09	1,54	0,771	1,25

Zdroj dat: Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů (Ust'ak, 2006)

3.1.2. Využití bioplynu

Bioplyn je možné využívat jako jiná plynná paliva. Mezi nejčastější způsoby využití bioplynu patří:

- přímé spalování (topení, chlazení, sušení, ohřev užitkové vody apod.)
- výroba elektrické energie a ohřev teplotnosného média (kogenerace)
- výroba elektrické energie, ohřev teplotnosného média a výroba chladu (trigenerace)
- pohon spalovacích motorů nebo turbín pro získání mechanické energie
- využití bioplynu v palivových člancích (Pastorek a kol., 2004)

Za nejefektivnější se v současné době považuje využití bioplynu pro pohon spalovacích motorů spojených s agregátem na výrobu elektrické energie, tj. kogenerační výroba elektrické energie a tepla (Brandejsová, 2009).

3.1.3. Substráty pro výrobu bioplynu v zemědělské činnosti

Dle definice, kterou popsal Švec (2010), můžeme označit biomasu jako hlavní zdroj pro výrobu bioplynu v zemědělské činnosti.

Samu biomasu definujeme jako substanci biologického původu (pěstování rostlin v půdě nebo ve vodě, chov živočichů, produkce organického původu, organické odpady). Může být získávána buď záměrně (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 (Pastorek a kol., 2004).

Opomineme-li komunální hospodářství jako zdroj odpadů pro výrobu, můžeme rozdělit zdrojové suroviny v zemědělské činnosti na dvě základní skupiny- živočišného a rostlinného charakteru. Sofer a Zaborsky (1981) myslí, že hlavní podíl na zisku energie z biomasy by měly zajistit cíleně pěstované energetické plodiny.

Živočišnou skupinu nejlépe reprezentují kejda, hnůj, podestýlka. Rostlinný charakter má největší zastoupení v podobě plodin kukuřice, řepy a siláže.

- Hovězí i prasečí kejda se dají díky relativně nízkému obsahu sušiny dobře kombinovat s ostatními substráty. Obtížnější je situace u slamnatého 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 (Kratochvílová a kol., 2009).
- Pastorek (2004) považuje kejdu jako základní složku směsných materiálů pro výrobu bioplynu. Anaerobní fermentace kejdy je označována jako kofermentace (Schulz a Eder, 2004).

Tabulka 3.3: Obsah živin zemědělských hnojiv

substrát	sušina [%]	org. sušina [% sušiny]	dušik [% sušiny]	amonium [% sušiny]	oxid fosforečný [% sušiny]	oxid draselný [% sušiny]	hořčík [% sušiny]
kejda skotu	8–11	75–82	2,6–6,7	1–4	0,5–3,3	5,5–10	0,3–0,7
kejda prasat	cca 7	75–86	6–18	3,17	2–10	3–7,5	0,6–1,5
hnůj skotu	cca 25	68–76	1,1–3,4	0,22–2	1–1,5	2–5	1,3
hnůj prasat	20–25	75–80	2,6–5,2	0,9–1,8	2,3–2,8	2,5–3	n.a.
hnůj kuřat a slepic	cca 32	63–80	5,4	0,39	n.a.	n.a.	n.a.

Zdroj dat: Průvodce výrobou a využitím bioplynu (Kratochvílová a kol., 2009)

- Kukuřice se pro výrobu bioplynu hodí svým vysokým výnosem energie na hektar. V podnicích, zaměřených na chov dobytka, však může znamenat využití kukuřičné siláže zatížení osevních postupů. Některé bioplynové stanice umí zpracovat kukuřičnou siláž a podobné materiály bez dalších substrátů, přesto se doporučuje fermentovat kukuřičnou siláž jako přídavný substrát s kejdou, neboť je tu přitom průběh procesu stabilnější a při kofermentaci nastávají synergické efekty, které mohou zvýšit rozložitelnost, popřípadě mohou zvýšit výnos metanu (Kratochvílová a kol., 2009).

Tabulka 3.4: Vlastnosti kukuřičné siláže

substrát	sušina [%]	org. sušina [% sušiny]	dušik	amonný dušik	fosfor	výťažnost bioplynu		obsah metanu [objem. %]
						[m ³ /t čerstvé hmoty]	[m ³ /t sušiny]	
kukuřičná siláž	20–35	85–95	1,1–2	0,15–0,3	0,2–0,3	170–200	450–700	50–55
žito-siláž z celých rostlin	30–35	92–98	4,0	0,57	0,71	170–220	550–680	cca 55

Zdroj dat: Průvodce výrobou a využitím bioplynu (Kratochvílová a kol., 2009)

Tabulka 3.5: Porovnání výnosu bioplynu z čerstvé zelené píce, retenční perioda 20 dní

Rostlinný materiál	Produkce bioplynu [$\text{m}^3 \cdot \text{t}^{-1}$]
vojtěška	440-630
jetel	430-450
tráva	520-640
topinambur	480-590
kukuřice	530-750
listy cukrové řepy	490-510
čirok	640-670

Zdroj: Výroba a energ. využití bioplynu z energetických plodin a odpadů (Weiland, 2003)

Z hodnot jednotlivých tabulek je možno snadno usoudit, proč je kukuřice spolu s kejdou nejdůležitější vstupní surovinou do BPS.

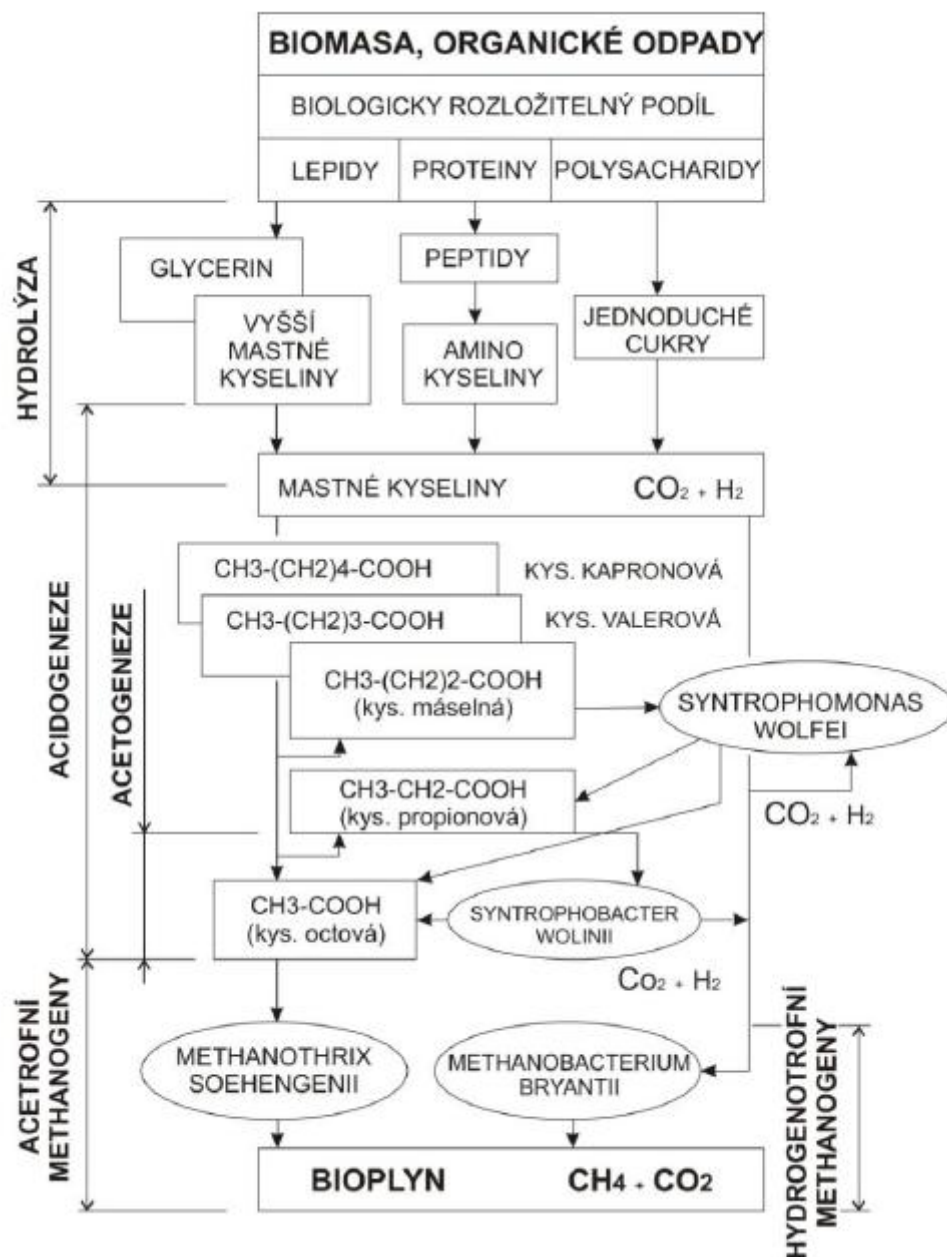
Tato plodina je nedílnou součástí osevních postupů a má vysoký nárůstu biomasy při technologicky poměrně nenáročném pěstování. Kukuřici vyhovují hlavně teplejší oblasti České republiky. Kukuřice skýtá vysoký energetický potenciál, a to přibližně 324 000 Mj/ha (Leština, 2011).

Kukuřice dále splňuje i rozhodující ukazatel efektivnosti produkce bioplynu, kterou je dle Prochnow et al. (2009) produkce bioplynu na hektar.

3.2. Anaerobní fermentace

Jedná se o složitý biochemický proces, který se skládá z několika dílčích, na sebe navazujících fyzikálních, fyzikálně-chemických a biologických procesů. Celý proces popisuje zjednodušené schéma anaerobní fermentace vlhkých organických materiálů, které rozděluje proces do čtyř základních fází (Pastorek a kol., 2004).

Pro lepší představu provázanosti jednotlivých fází využijeme následující schéma 3.6



Zdroj dat: Bioplyn (Straka, 2010)

Ze schématu jsme schopni vyčíst provázanost jednotlivých fází, hlavně acidogeneze a acetogeneze. Pro vysvětlení biochemických procesů jednotlivých fází anaerobní digestace využijeme popis Al Seadi (2008). Z popisu je patrné, že

- Hydrolýza je první krok anaerobní digestace, během které se složité organické hmoty (polymery) rozpadají na menší jednotky (mono- a oligomery). Během hydrolýzy jsou polymery sacharidů, tuků, nukleových kyselin a proteinů převedeny na glukózu,

glycerol, puriny a pyrimidiny. Hydrolytické mikroorganismy vylučují hydrolytické enzymy, kterými převádějí složité polymery na jednodušší a rozpustné sloučeniny. Mikroorganismy za pomoci exoenzymů tyto látky rozpustné ve vodě dále zapracovávají do svých metabolických procesů.

- Během acidogeneze, se produkty hydrolýzy mění za pomoci acidogenních bakterií na metanogenní substráty. Jednoduché cukry, aminokyseliny a mastné kyseliny jsou degradovány na acetát, oxid uhličitý a vodík (70%), stejně jako na těkavé mastné kyseliny a alkohol (30%).
- Metanogenní organismy nemohou produkty z acidogeneze přeměnit přímo na methan. Je zapotřebí dalšího mezikroku a tím je autogeneze. Mastné kyseliny a alkoholy jsou oxidovány další na látky např. acetát, vodík a oxid uhličitý. Mastné kyseliny s uhlíkovými řetězci delšími než dvě jednotky a alkoholy, s uhlíkovými řetězci delší než jeden celek, se oxidují na acetát a vodík. Vznik vodíku v této fázi, působí jako inhibitor na metabolismus bakterií.
- Posledním krokem je metanogeneze. Výroba metanu a oxidu uhličitého z meziproduktů provádí metanogenní bakterie. 70% z vytvořeného metanu pochází z acetátu, zatímco zbývajících 30% se pochází z přeměny vodíku a oxidu uhličitý. Metanogeneze je nejpomalejší a nejvíce ohroženou biochemickou reakcí procesu anaerobní fermentace. Je silně ovlivněna provozními podmínkami.

Nejdůležitější faktory, které ovlivňují anaerobní rozklad organických látek (provozní podmínky), popsal Mužík, Kára (2009). Změny životního prostředí mikroorganismů mají zásadní vliv na průběh celého procesu. Jedná se zejména o tyto faktory:

- vlhkost prostředí – metanové bakterie mohou pracovat a množit se pouze ve vlhkém prostředí (vlhkost minimálně 50 %)
- anaerobní prostředí – metanové bakterie jsou striktně anaerobní
- přítomnost světla – světlo bakterie neničí, ale brzdí jejich množení
- teplota prostředí – tvorba metanu probíhá v širokém rozmezí teplot (4 - 90 °C). Pro udržení stability procesu je rovněž nutné zajistit konstantní teplotu

- hodnota pH – optimální pH pro růst metanogenních mikroorganismů je 6,5 - 7,5
- přísun živin – metanové bakterie potřebují pro svou buněčnou stavbu rozpustné dusíkaté sloučeniny, minerální látky a stopové prvky
- velké kontaktní plochy – organické látka nerozpustné ve vodě musejí být rozdrobeny tak, aby vznikaly velké dotykové plochy
- přítomnost toxických a inhibujících látek – za toxické nebo inhibující látky pokládáme látky, které nepříznivě ovlivňují biologický proces. Nejčastěji se setkáváme s inhibičním působením mastných kyselin a amoniaku
- zatížení vyhnívacího prostoru – udává, jaké maximální množství organické sušiny na m³ a den může být dodáváno do fermentoru, aby nedošlo k jeho přetížení
- rovnoměrný přísun substrátu – aby nedošlo k nadměrnému zatížení fermentoru, je třeba zajistit rovnoměrný přísun substrátu
- odplynování substrátu – není-li plyn z vyhnívací nádrže odváděn, může v nádrži dojít k velkému nárůstu tlaku plynu. Odplynování substrátu lze zajistit pravidelným mícháním.

Dalším (nepřímým) faktorem, který působí na samotný průběh anaerobní fermentace, můžeme označit kvalitu a dlouhodobost dodávek vstupních surovin.

Dlouhodobé zajištění dostatečného množství kvalitních surovin je klíčové pro životaschopnost zařízení. Základním pravidlem je, že záměr BPS je nezbytné lokalizovat tam, kde je dostatek vhodných surovin, nikoliv tam, kde by si to přál investor (Anonym, 2007)

Ruppert et al. (2010) uvádí, že do budoucna vzroste důležitost genetické inženýrství, jako metody pro zajištění vhodného a kvalitního rostlinného materiálu pro BPS.

3.2.1. Možnosti zvýšení výtěžnosti bioplynu

Dohányos (2009) rozdělil metody zvýšení anaerobní fermentace:

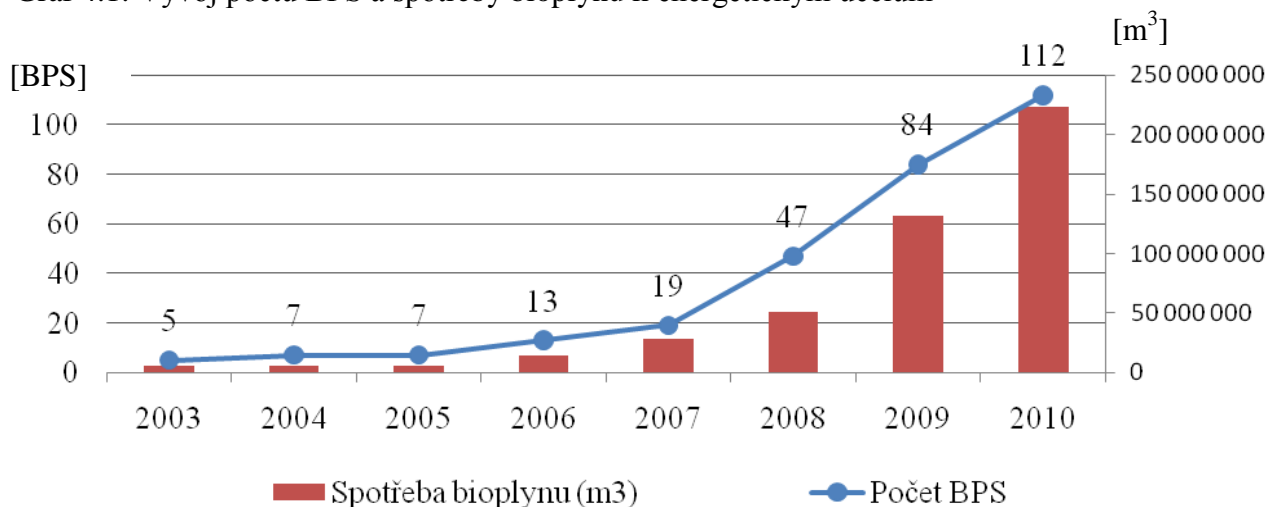
- Mechanické – sem patří různé způsoby dezintegrace tuhých složek substrátu – mletí, drcení apod. Zmenšením velikosti částic dochází ke zvětšení celkového povrchu a ke zlepšení přístupnosti organických látek v substrátu enzymatickému rozkladu.
- Chemické – mezi chemické metody patří například působení alkálií, kyselin, nebo oxidačních činidel (např. ozon), které vede k destrukci složitých organických látek – hydrolyze. Přídavkem chemikálií (např. H_2SO_4) se ale do systému mohou vnášet nežádoucí složky (síra).
- Fyzikální – na příklad termická hydrolyza, ionizující záření, působení ultrazvuku. Dochází k destrukci složitých organických látek. Termická předúprava požadovaná legislativou může být pasterizace při 70 °C nebo hygienizace při 130 °C podle druhu suroviny, obě metody vedle sanitačního efektu fungují jako termická hydrolyza a zvyšují výtěžnost bioplynu.
- Biotechnologické - enzymová nebo mikrobiální předúprava – použití čistých komerčně vyráběných enzymů – např. celuláz, přímé použití mikroorganismů s vysokou celulázovou aktivitou - bacherové kultury, anaerobní houby. Dotování fermentační směsi mikronutrienty jako například Co, Ni, Mo může v případě průmyslových jedno-druhových substrátů podstatně vylepšit proces

Schulz a Eder (2004) popisují další možné procesy, kterými optimalizovat anaerobní fermentaci např. nepoužívat velké množství studeného substrátu, promíchávat často a dlouho, rovnoměrný regulovatelný ohřev, úroveň teploty, pomalu zavádět změny ve složení substrátu.

3.3. Bioplynová stanice

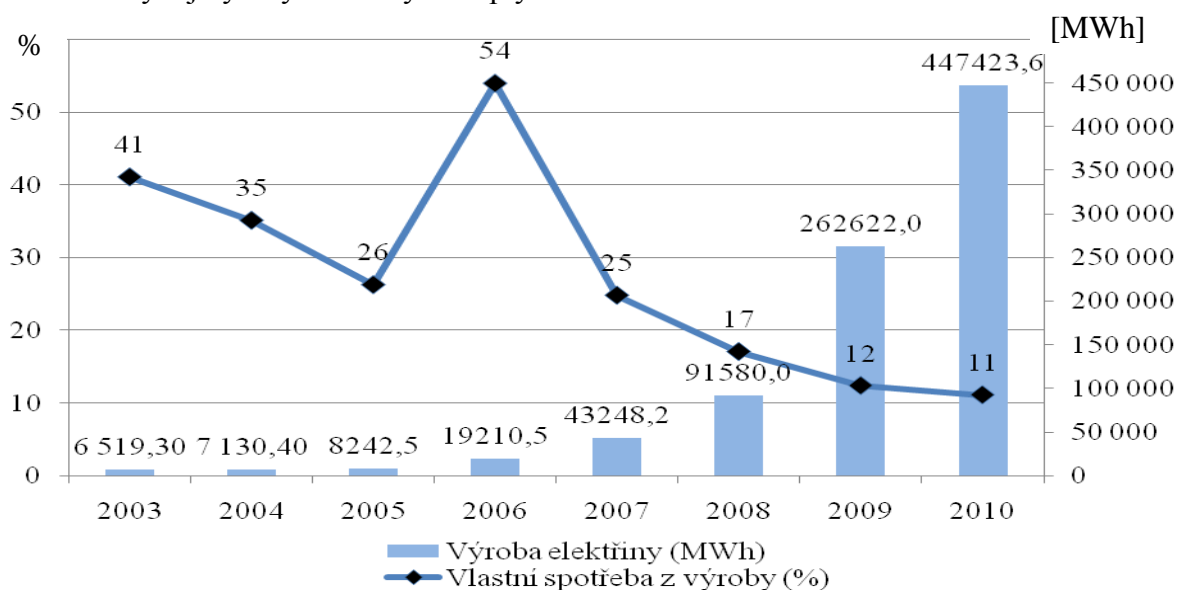
Podle Zprávy o využívání obnovitelných zdrojů energie v roce 2010, kterou vydalo MPO, je v současnosti u nás v provozu cca 113 BPS. Od r. 2005 kdy byl přijat zákon č. 180/2005 Sb. na podporu výroby elektřiny z obnovitelných zdrojů se zvýšil počet BPS více jak 9 krát (Graf 4.1). Nově vznikající BPS již neslouží převážně k vlastní spotřebě, ale jsou určovány z větší části pro přeměnu vzniklého plynu pomocí spalování na elektřinu (Graf 4.2).

Graf 4.1: Vývoj počtu BPS a spotřeby bioplynu k energetickým účelům



Zdroj dat: Zpráva o využívání obnovitelných zdrojů energie v roce 2010 (MPO, 2010)

Graf 4.2: Vývoj výroby elektřiny z bioplynu



Zdroj dat: Zpráva o využívání obnovitelných zdrojů energie v roce 2010 (MPO, 2010)

Tento trend podpořilo i cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011 ze dne 23. listopadu 2011, které stanovilo pro letošní rok výkupní cenu a zelené bonusy pro spalování bioplynu (Tabulka 4.3)

Tabulka 4.3: Výkupní ceny a zelené bonusy pro spalování bioplynu

Druh obnovitelného zdroje	Výkupní ceny elektřiny dodané do sítě v Kč/MWh	Zelené bonusy v Kč/MWh
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF1	4120	3070
Spalování bioplynu v bioplynových stanicích kategorie AF2	3550	2500

Zdroj: Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011

Podíváme-li se k našim sousedům, můžeme hned označit dva z nich za vzorové, jsou to Německo a Rakousko. Tyto dva státy patří k předním výrobcům elektrické energie z biomasy v rámci EU.

Celkový počet BPS v roce 2006 byl v Německu odhadován na 3.500 zařízení. Jejich souhrnný instalovaný elektrický výkon dosáhl již 1.100 MW_{el} s produkcí více než 5 TWh elektřiny. Po uvedení zařízení z roku 2006 do plného výkonu a s novými instalacemi byla celková produkce pro rok 2007 prognózována na více než 10 TWh (Bačík, 2008).

Podle zprávy MH SR (2006) je využívání bioplynu na Slovensku vůči značnému potenciálu zanedbatelné. Slovenská republika se tak řadí v počtu BPS až na samý konec států EU27 mezi státy jako je Kypr, Litva a Estonsko.

3.4. Bioplynové technologie

Jednotlivé BPS můžeme rozlišovat na základě počtu stupňů, rozeznáváme jednostupňový a vícestupňový. U jednostupňové technologie probíhají všechny fermentační fáze v jednom fermentoru. Podle způsobu plnění a vyprazdňování je diskontinuální, semikontinuální, kontinuální. Podle fermentační teploty je mezofilní (30 – 40 °C), nebo termofilní (50 – 60 °C). Podle konzistence vsázky je mokrá (čerpatelný substrát), nebo suchý (nad 18 % sušiny) (Váňa, 2007).

Bačík (2008) např. rozdělil BPS podle druhu vstupů do tří základních skupin

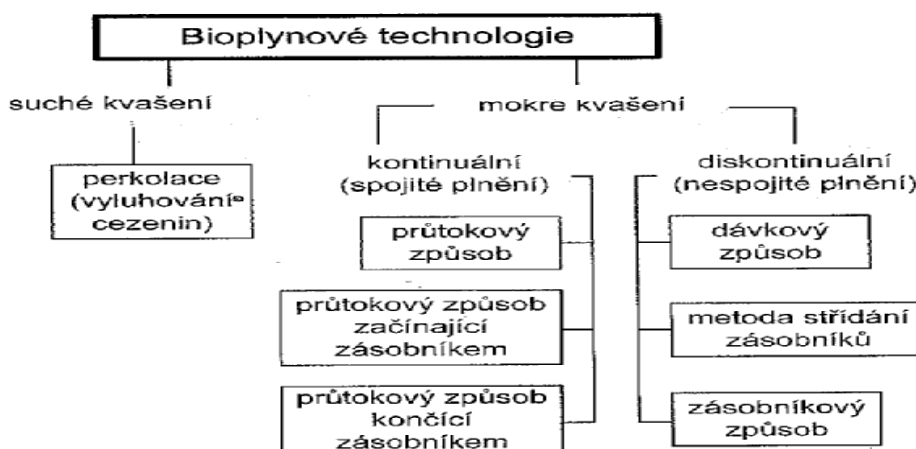
- Zemědělské BPS (také farmářské BPS), jejichž vstupy lze hodnotit jako nejméně problematické. Zpracovávají pouze vstupy ze zemědělské prvovýroby, zejména statková hnojiva (kejda, hnůj apod.) a cíleně pěstované plodiny (např. kukuřice) k energetickému využití. Jsou většinou situovány v areálech stávajících zemědělských provozů a zpracováním a stabilizací statkových hnojiv výrazně snižují dosavadní zatížení oblasti pachovými látkami. Právě tato zařízení se stala typickými představiteli BPS v Německu a Rakousku a proces jejich schvalování by měl být co nejjednodušší.
- Kofermentační BPS (také průmyslové BPS), které zpracovávají výhradně nebo v určitém podílu rizikové vstupy, např. jateční odpady, kaly ze specifických provozů, kaly z ČOV, tuky, masokostní moučku, krev z jatek apod. Pro fermentaci těchto vstupů je nezbytné pečlivě zvolit technologii zařízení a zpracovat kvalitní provozní řád zařízení. Povolovací proces by měl být v těchto případech přísnější. Zejména je třeba vyžadovat důsledné plnění požadavků z nařízení EP a Rady č. 1774/2002, které stanovuje hygienická pravidla na nakládání s vedlejšími živočišnými produkty.
- Komunální BPS, které jsou speciálně zaměřeny na zpracování komunálních bioodpadů, zejména z údržby zeleně, vytríděných bioodpadů z domácností a restaurací a jídelen. Vlastnický podíl v těchto zařízeních by měly mít často přímo obce. Požadavky pro provoz komunálních BPS, ostatně i pro provoz stejně zaměřených kompostáren, by měly ideálně obsahovat určitá

zjednodušení a měly by být řešeny samostatným národním předpisem, obdobně jako v Rakousku a Německu.

Podobné rozlišení BPS, ale tentokrát dle sušiny vstupního substrátu (Anonym 2007)

- mokrá fermentace - využívá obvykle fermentoru s vertikální osou a materiál ve fermentoru má sušinu do 12 %. Materiály s vyšším obsahem sušiny (hnůj, podestýlka, různé druhy siláží a senáží) se před vstupem do fermentoru ředí na odpovídající obsah sušiny kejdou/procesní vodou. Větší obsah slámy nebo dokonce podestýlka na bázi pilin může u mokrých technologií působit vážné provozní problémy. Je tedy nutné pečlivě vážit použitou technologii, systémy míchání, přípravy suroviny tak, aby celý proces mohl bezproblémově fungovat.
- Suchá fermentace - je vývojově mladší než mokrá fermentace, nicméně některé její typy již našly perspektivní uplatnění v praxi. Suchou fermentaci lze navíc dle obsahu sušiny substrátu rozdělit:
 - suchý proces (25 – 45 % sušiny)
 - proces s vysokým obsahem sušiny (nad 40 % sušiny)

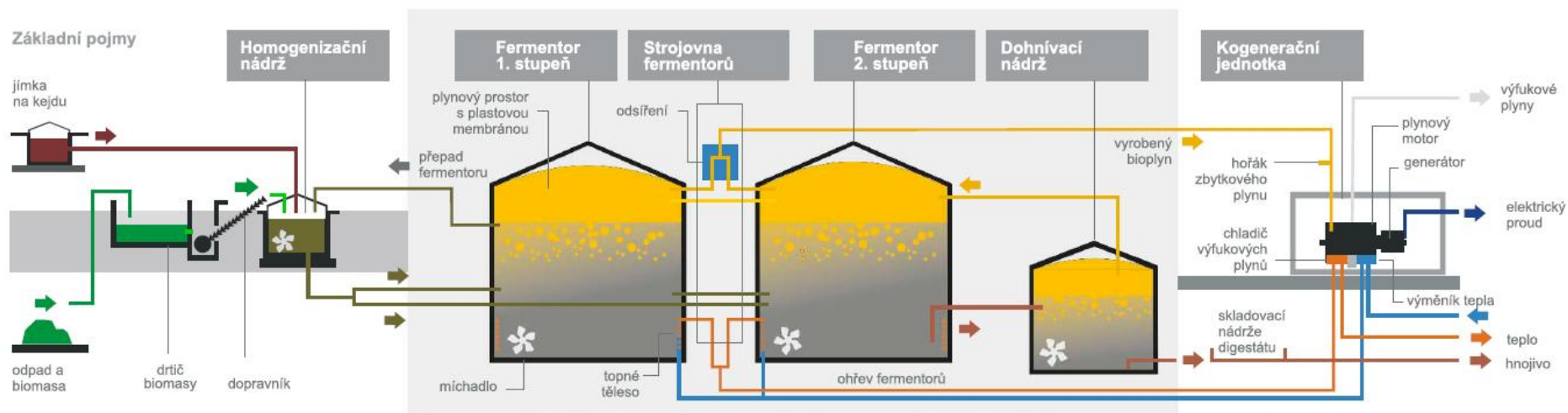
Obrázek 4.4: Souhrn bioplynových technologií



Zdroj dat: Bioplyn v praxi (Schulz a Eder., 2004)

3.4.1. Funkční schéma bioplynové stanice

Obrázek 4.5: Funkční schéma bioplynové stanice zemědělského typu, dodavatel Vítkovice Power Engineering a.s.



Zdroj dat: Vítkovice Power Engineering a.s.

Homogenizační nádrž- dočasné uskladnění substrátů před fermentační nádrží. Slouží pro homogenizaci směsi substrátů a stálosti obsahu sušiny.

Fermentační nádrž- systém nádrží, ve kterých probíhá samotný proces fermentace.

Kogenerační jednotka- slouží k přeměně (spalování) bioplynu na vzniku tepla a elektrického proudu.

3.5. Digestát a jeho využití

Podle vyhlášky Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva příloha č. 3 je digestát zařazen mezi organická a organominerální hnojiva. Zvláštní ustanovení říká, že se jedná o organické hnojivo vzniklé anaerobní fermentací při výrobě bioplynu, jehož zdrojem pro výrobu jsou výhradně statková hnojiva a objemová krmiva. Minimální obsah živin je 0,6 % N a 25 % spalitelných látek.

Pro další zpracování může být digestát odvodněním převeden do tuhé formy. Ve srovnání s klasickými stájovými hnojivými (surová kejda) má digestát následující přednosti:

- Dochází k redukci zápachu při manipulaci a hnojení
- Koncentrace patogenů je významně redukována
- Snižuje se žravý účinek surové kejdy na plodiny
- Je omezena klíčivost semen plevelů
- Obsah snadno rozložitelného uhlíku je redukován, ale žádoucí formy organického uhlíku (prekurzory humusových látek) v digestátu zůstávají
- Obsah žádoucích živin (P, K, N apod.) je zachován
- Celkově tak přispívá ke zlepšení odolnosti plodin a nižší spotřebě pesticidů

Používáním digestátu znamená pro zemědělce finanční úsporu z hlediska náhrady minerálních hnojiv (CZ Biom - České sdružení pro biomasu, 2007).

Způsob nakládání s digestátem se liší v závislosti na konkrétních podmínkách a měl by být důsledně řešen před realizací projektu bioplynové stanice ve „Studii proveditelnosti“. Při uvádění BPS do provozu se v minulosti požadovalo, aby minimální plocha zemědělské půdy ke hnojení 1t digestátu byla 0,1ha (Krčalová a kol., 2008).

Podle Pospíšila a Režoa (2011) je kvalifikovaná dávka digestátu rovnocenná s dodávkou živin ve formě chlévského hnoje a zajišťuje udržení až mírné zvýšení úrodnosti půdy. Je vhodné jej aplikovat na posklizňové zbytky nebo i během vegetace.

3.6. *Medicago sativa* (Vojtěška setá)

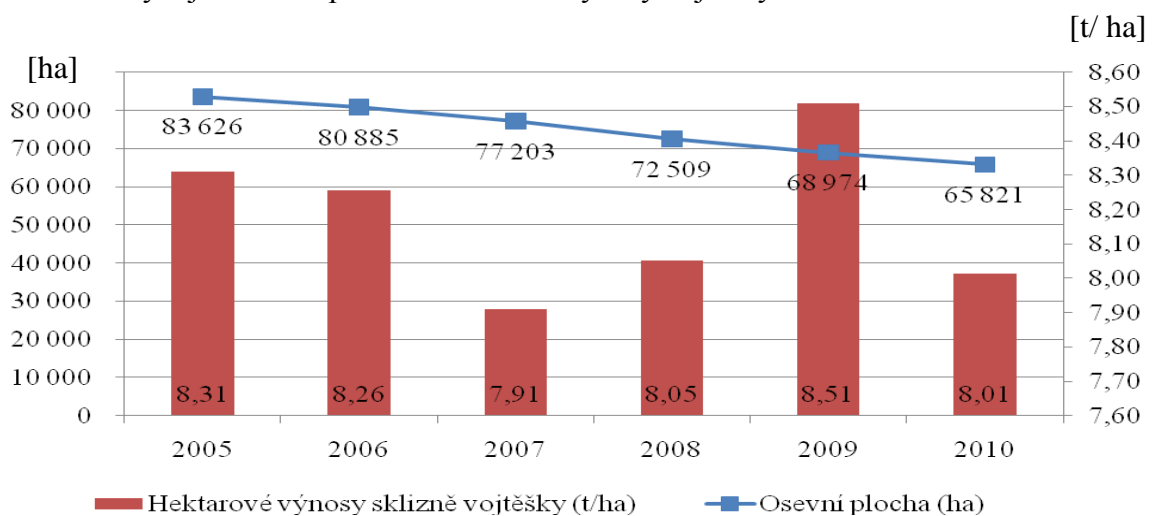
Vojtěška setá je vikvovitá víceletá hluboko kořenící pícnina s cennými hospodářskými vlastnostmi, pro které je široce využívána jako krmná, ale také meliorační plodina, plodina zlepšující strukturu a celkovou úrodnost půdy (Šantrůček, 2003). Předností, pro kterou je vojtěška velmi ceněna, je možnost fixace vzdušného dusíku s rhizobiálními bakteriemi. Tento proces se uskutečňuje ve specializovaných strukturách označovaných jako nody (YOUNG, 2011).

Ve výrobní oblasti kukuřičné a řepařské je pro produkci kvalitní píce vedle kukuřice rozhodující pícninou. Menší uplatnění má vojtěška v příznivých podmínkách bramborářské výrobní oblasti. V ČR je poměrně mladou pícninou (17. století), nejrychleji začaly osevňovací plochy stoupat teprve počátkem 20. století (Šantrůček, 2003).

Při běžné agrotechnice zařazujeme vojtěšku hlavně po obilovinách, směskách apod. Po vojtěšce zařazujeme ozimy i jařiny. Tyto rostliny následně mohou čerpat dusík (získaný symbiózou) z odumřelých hlíz, kořenů a listového spadu (Sprent, 1979). V osevňovacích postupech následuje vojtěška po sobě až pět roků a déle (Šantrůček, 2003).

V ČR se výnosy suché píce vojtěšky pohybovaly do roku 1990 kolem 9 t/ha, v současné době kolem 7,5 t/ha. Výnosový potenciál vojtěšky je však podstatně vyšší a je v praxi využíván pouze z 50-60 % (Hrabě, 2004).

Graf 6.1: Vývoj osevňovacích ploch a hektarové výnosy vojtěšky



Zdroj dat: Statistická ročenka České republiky 2011 (ČSÚ)

Porosty vojtěšky v užitkových letech využíváme zpravidla na tři a více sečí. Pro udržení vytrvalosti vojtěšky je třeba, aby jedna seč zakvetla (50-60% porostu plně kvete) a aby interval mezi předposlední a poslední sečí byl alespoň 6 týdnů. Zakvést zpravidla necháváme druhou seč (Anonym, 1996)

Kvalita píce vojtěšky je dána především poměrem listů a lodyh. Ve fázi květních poupat (butonizace) jsou v pici lodyhy a listy zastoupeny zhruba stejným dílem, postupně však dochází k rychlému žluknutí, opadu spodních pater lístků a změně tohoto poměru. Listy obsahují až 70% proteinu z jeho celkového obsahu v rostlině a také převážnou část karotenu (Hrabě, 2004).

Sklizeň vojtěšky je nutné uskutečnit v období, kdy se tvoří květní hrozny, tedy ve stádiu butonizace. Vegetační stadium je pro sklizeň spolehlivější ukazatelem než obsah sušiny. S postupující vegetací probíhá stárnutí vojtěšky poměrně rychle. Během něj se snižuje obsah dusíkatých látek (což by mohlo být pro silážovatelnou příznivější), ale neúměrně narůstá obsah vlákniny a náchylnost k opadávání lístků při sušení (což je nepříznivé z hlediska výživy zvířat a výši ztrát). Na průběh i výsledek fermentačního procesu mají velký vliv nejen změny sušiny (zavadáním, lisováním, sušením), ale i mechanické změny substrátu způsobené řezáním, stíráním, drcením a podobně. K dosažení rychlého a rovnoměrného zavadání je účelné píci, rovnou při sečení nebo ihned po něm, mechanicky narušit (mačkat, stírat), načechrat, popřípadě rozhodit do tenké vrstvy (Loučka, 1996).

Kvalitní parametry siláží z vojtěšky, dosahované v letech 1997- 2001 v ČR (hodnoty souboru 89- 256 vzorků), jsou následující: obsah sušiny 36,8- 42,1 %, dusíkaté látky 19,3- 21,5 %, vláknina 22,37- 26,42 % (Hrabě, 2004).

Tabulka 6.2: Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci

Podíl organické hmoty (% sušiny)	Sušina (%)	Poměr C:N	pH
nad 60	7-25	20-30:1	6,5-7,5

Zdroj dat: Mužík, O. Slejška, A. (2003)

Poměr uhlíku k dusíku (neboli C:N) je používán jako indikátor množství uhlíku ve vztahu k obsahu dusíku v organickém materiálu. Je to zcela standardní vztah; v lodyhách kukuřice to je 60:1, u vojtěšky 13:1, u pšenice 80:1 (Vondrášková, 2003).

3.6.1. Požadavky vojtěšky na pěstování

Ke klimatickým podmínkám při pěstování na píci je vojtěška značně přizpůsobivá, rozhodujícím faktorem jsou půdní podmínky tzv. „stará půdní síla“, obsah přijatelných živin nejen v ornici, ale i ve spodině a pH. Reakce půdy nejlépe vyhovuje v rozmezí pH 6,5- 7,2 i v hlubších půdních vrstvách. Hladina spodní vody má být nejméně 1,5 m pod povrchem, jinak kořeny zahnívají (Šantrůček, 2003).

Vojtěška pěstovaná na píci má vysokou potřebu živin. Na 10 tun sena je potřeba až 35 kg P, 150 kg až 160 kg K a 200 až 240 kg Ca (Anonym, 1996).

Vojtěška žije v symbióze s půdními bakteriemi, které jsou schopny poutat vzdušný dusík. Bakterie *Rhizobium meliloti*, poutají vzdušný dusík v rozmezí 50 až 463 kg/ha, průměrná hodnota je 200 kg/ha (El Bassam, 2010).

Takto osvojený dusík tvoří až 90 % potřeb pro růst rostliny. V prvním roce se sice používá „startovací dávka“ dusíku (do 35kg/ ha), ale ta nemá vliv na výnos v budoucích sečích.

Z agrotechnických opatření je doporučována hluboká podzimní orba, do hloubky 250-300 mm, nejčastěji jarní smykování, s následným i několikanásobným vláčením a před setím válením – rozdrobením hrud (Šantrůček, 2003).

Výsevek vojtěšky může být založen ze začátku jara nebo na přelomu pozdního léta a podzimu. Jarní výsevek dovolí první sklizení již v tentýž rok (El Bassam, 2010).

V ČR je vojtěška v myslích zemědělců brána hlavně jako krmná plodina, její pěstování má však další řadu výhod např. fixací vzdušného dusíku, zlepšení půdních vlastností, lze ji pěstovat na půdách s vyšší svažitostí a suchých oblastí. I přes všechny přednosti se osevní plochy každý rok snižují. Jinak je tomu ovšem zahraničí (hlavně USA), kde začali využívat potenciál vojtěšky jako energetické plodiny a v rotaci spolu s kukuřicí.

V ČR je zatím minimum informací a výsledků o jejím uplatnění jako energetické plodiny např. jako substrátu pro BPS, a proto je cílem práce tyto vztahy objasnit.

4 Materiály a metodika

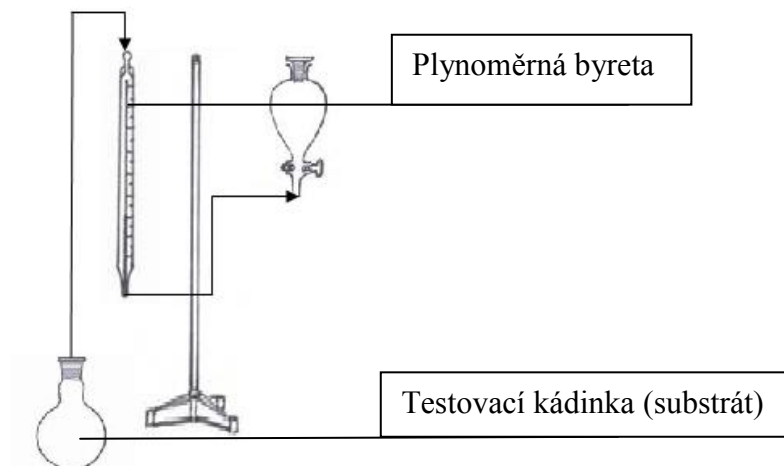
Polní pokus

Vojtěška byla založena letním výsevem v roce 2004 na pokusném pozemku FAPPZ ČZU Praha v Suchdolu (281 m. n. m., 50°08's.š. A 14°24'v.d.). Lokalita náleží do řepařské výrobní oblasti. Dlouhodobý úhrn srážek činí 510 mm, za vegetační období 378 mm. Průměrná roční teplota dosahuje 9,3 °C, za vegetační období 14,7 °C. Odběr vzorku se uskutečnil ve vegetačních fází butonizace a kvetení (čtyři opakování, první a druhá seč) z plochy 30x 30 cm.

Laboratorní testy výtěžnosti

Laboratorní testy výtěžnosti byly testovány v lahvích o objemu 120 ml v pěti opakováních pro každou variantu. Do fermentorů byly nadávkovány 2 g testované biomasy a 80 ml inokula. Kultivace probíhala v termoboxu při 40 °C po dobu 40 dnů. Produkce bioplynu byla u laboratorních testů biomasy zjišťována 1x denně na plynoměrné byretě. Kromě testů produkce bioplynu se substráty byla zároveň provedena kultivace samotného inokula za stejných podmínek, která byla následně odečítána od produkce v testovacích lahvích se substráty. Takto byla získána čistá substrátová produkce bioplynu. Jako inokulum byl použit aktivní mezofilní anaerobní kal z bioplynové stanice.

Schéma 1m: Jednorázový kádinkový test “batch test”



Ekonomika výroby píce

Pro ekonomiku technologie pěstování vojtěšky seté na píci byl využit expertní systém VÚZT [online] dostupný z www: <<http://svt.pi.gin.cz/vuzt/code.htm>>. Základem kalkulace nákladů a výnosů jsou modelové technologické postupy pěstování jednotlivých plodin, tj doporučený sled výrobních operací (hnojení a příprava půdy, setí, ošetřování během vegetace, ochrana rostlin proti chorobám a škůdcům, sklizeň, odvoz produkce a úprava pole po sklizni). Při jejich zpracování se vychází z průměrných podmínek a intenzity výroby.

Výsledky této kalkulace jsou zpracovány do tabulkové formy. Pro vojtěšku, plodinu bez tržní produkce, se uvádí v tabulkách jen tyto údaje:

- variabilní, fixní a celkové náklady na 1 ha
- výnos hlavního produktu
- náklady na jednotku hlavního produktu

Ekonomika výroby bioplynu

Pro ekonomiku výroby bioplynu byl využit expertní systém nevládní nezisková a profesní organizace CZ Biom [online] dostupný z www: <<http://expertni-system.zavetri.cz>>. Modul expertního systému je primárně vyvíjen k utvoření prvotního názoru na možnosti využití konkrétních lokálních disponibilních surovin kontinuální technologií anaerobní fermentace mokrou cestou za standardních podmínek. Aplikace vychází velkou měrou z matematického modelování již fungujících bioplynových stanic.

Příliš nízké vstupní hodnoty mohou podávat výsledky, které nekorelují s laboratorními výstupy, proto bylo pro výpočet využito zadávání kvantity v hmotnostních jednotkách tuny. Nejnižší provozní výkon uvažované kogenerační jednotky je 81kW.

5 Výsledky

Z tabulky 8.1 je patrné, že maximální délka stonku se významně mění v jednotlivých sečích a fázích růstu, přičemž vyšších hodnot dosahuje v první seči a ve fázi kvetení.

Průměrná hodnota obsahu sušiny má meziroční sestupnou tendenci. Zatím co mezi jednotlivými sečemi dochází také poklesu hodnot, rozdíl ve fázích je ale opačný. Ve fázi kvetení dochází k nárůstu obsahu sušiny. Tento fakt lze přičíst ke zvýšení obsahu vlákniny v rostlinách, která způsobuje dřevnatění a horší stravitelnost pro hospodářská zvířata.

Tabulka 8.1: Průměrná hodnota obsahu sušiny (OS) a maximální délka stonku (MDS)

rok	seč	fáze	datum sklizně	OS (%)	MDS (cm)
2009	1	butonizace	15. V	20.5 ^b	92 ^a
		kvetení	4. VI	26.2 ^c	123 ^c
	2	butonizace	3. VII	16.9 ^a	76 ^b
		kvetení	15. VII	17.5 ^a	96 ^a
P				<0.000	<0.000
2010	1	butonizace	20. V	15.7 ^b	89 ^a
		kvetení	7. VI	23.1 ^a	127 ^b
	2	butonizace	15. VII	20.4 ^a	98 ^a
		kvetení	4. VIII	23.0 ^a	124 ^b
P				<0.000	<0.000

Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), písmenné indexy dokumentují statisticky průkazné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (Tukey HSD).

Tabulka 8.2: Relativní kumulativní dynamika výnosu bioplynu ze substrátu píce vojtěšky v průběhu 40 dnů (n = 5; 40. den = 100% produkce bioplynu ze substrátu)

rok	seč	fáze	5. den	10. den	15. den	20. den	30. den	40. den
			(%)					
2009	1	butonizace	60 ^{ab}	78 ^a	84	88	94	100
		kvetení	16 ^c	60 ^b	85	91	98	100
	2	butonizace	63 ^b	82 ^a	86	89	95	100
		kvetení	51 ^a	73 ^a	82	88	95	100
P			<0.000	0.001	0.831	0.926	0.793	-
2010	1	butonizace	71 ^b	86 ^a	92 ^a	96 ^a	99 ^a	100
		kvetení	61 ^{ab}	82 ^{ab}	91 ^a	95 ^a	98 ^a	100
	2	butonizace	53 ^a	69 ^{bc}	71 ^b	82 ^b	92 ^b	100
		kvetení	51 ^b	66 ^c	75 ^b	81 ^b	95 ^{ab}	100
P			<0.000	0.001	0.000	0.001	0.014	-

Jednofaktorová analýza rozptylu (ANOVA), písmenné indexy dokumentují statisticky průkazné rozdíly na hladině významnosti 0,05 (Tukey HSD)

Podíváme-li se do tabulky 8.2 na průběh dynamiky výnosu bioplynu ve fázi butonizace, můžeme konstatovat, že u píce sklizené ve fázi butonizace je významně rychlejší než ve fázi kvetení. První seč r. 2009, 2010 má rychlejší průběh, než druhá seč.

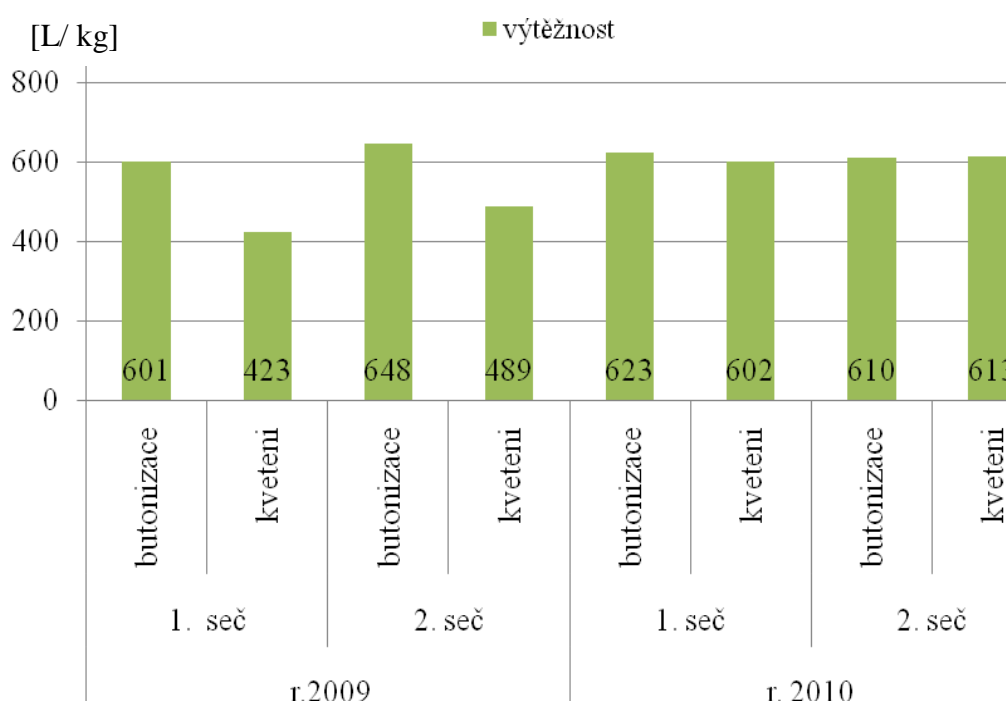
Rozdíl dynamiky mezi roky 2009 a 2010 není tak výrazný jako rozdíl mezi fázemi stejné seče. Rozdíl je největší v první seči fáze kvetení r. 2009, kdy začátek procesu anaerobní fermentace je velmi pomalý a výnos bioplynu začíná být významný až od patnáctého dne procesu. Tento fakt lze připsat k vyššímu obsahu sušiny a možné větší délce stonku. Tyto dva parametry spolu s vyšším obsahem vlákniny brání k rychlejšímu nástupu fermentačního procesu.

S rostoucím stárnutím píce vojtěšky klesá dynamika tvorby bioplynu a proces anaerobní fermentace pokračuje pomaleji.

Tabulka 8.3: Výtěžnost v jednotlivých letech a její relativní snížení v závislosti na postupující fázi růstu (fáze butonizace = 100 %)

fáze	rok 2009		rok 2010	
	výtěžnost (t)			
butonizace	601	648	623	610
kvetení	423	489	602	613
relativní hodnota (%)	70	75	97	100

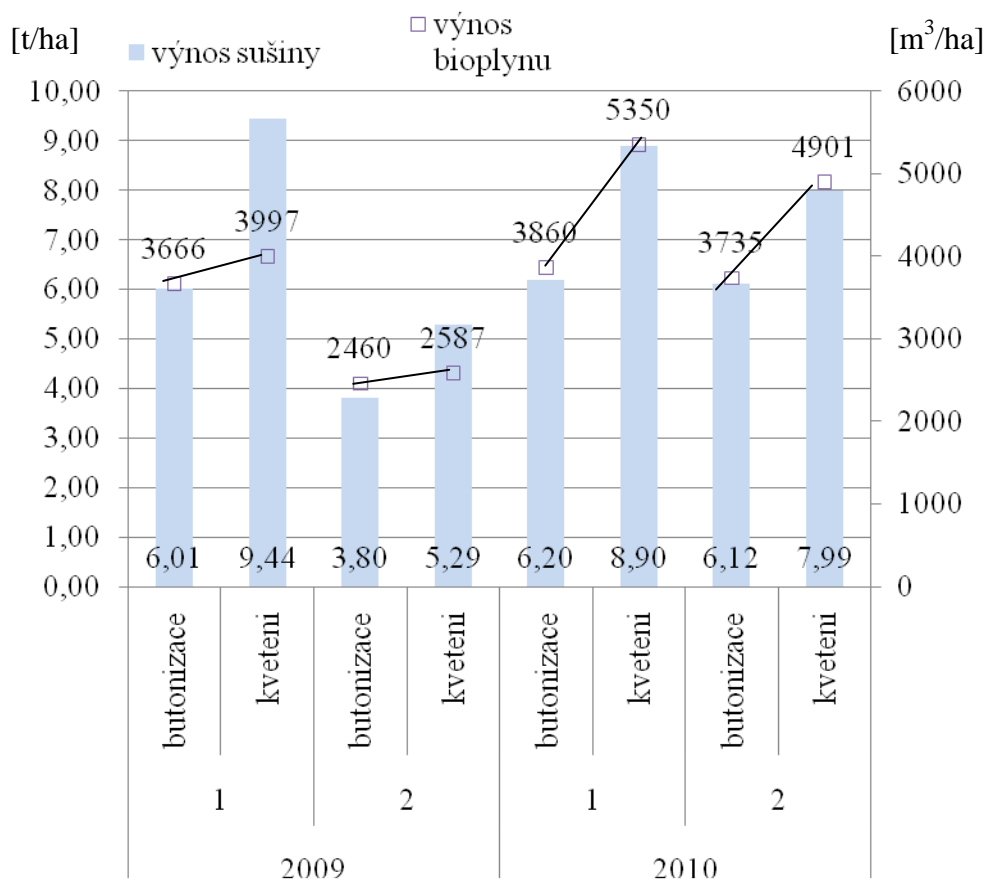
Graf 8.4: Výtěžnost bioplynu (L/ kg sušiny) z píce vojtěšky z jednotlivých fází a sečí



Z tabulky 8.3 je patrný pokles výtěžnosti mezi fázemi. V prvním roce dosahuje výtěžnost ve fázi kvetení v průměru o 27,5 % menší hodnoty než je tomu ve fázi butonizace.

Z Grafu 8.4 si můžeme uceleně představit, jaké jsou rozdíly mezi fázemi a sečí. Výtěžnost je vyšší ve fázi butonizace. Mezi sečemi ve fázi kvetení v prvním roce 2009 je nárůst výtěžnosti o 15,6 %. V roce 2010 je rozdíl již menší a nárůst výtěžnosti se zvýšil jen o 2 %. Fáze butonizace v roce 2009 měla zvýšení mezi první a druhou sečí o 7,8 % naproti ale v roce 2010 vykázala snížení výtěžnosti o 2,1 %.

Graf 8.5: Výnos sušiny a výnos bioplynu z jednotlivých fází a sečí vojtěšky



Z grafu 8. 5. můžeme vyčíst stoupající trend výnosu sušiny a bioplynu mezi roky 2009 a 2010. První seče v obou letech mají vždy vyšší výnos než následující druhá seč. V tabulce 8. 6. máme pro lepší upřesnění spočteny realitní hodnoty výnosu sušiny.

Tabulka 8.6 Relativní nárůst výnosu mezi jednotlivými fázemi a její relativní zvýšení v závislosti na postupující fázi růstu (fáze butonizace = 100 %)

Fáze	Rok 2009		Rok 2010	
	Výnos sušiny vojtěšky (t)			
Butonizace	6,01	3,80	6,20	6,12
Kvetení	9,44	5,29	8,90	7,99
Relativní hodnota (%)	157	139	144	131
	1. seč		2. seč	
r. 2009	57		39	
r. 2010	44		31	
Průměrná hodnota (%)	50,5		35	

Sečteme-li první seče za roky 2009 a 2010 zjistíme, že první seč dosahuje v průměru o 15 % vyšších hodnot. V roce 2010 byl rozdíl relativních hodnot menší o 5 % než v předchozím roce a docházelo k vyrovnávání poměru hodnot. Seče v dalších rocích budou stále vyrovnanější v důsledku stárnutí porostu. Vojtěška se zařazuje do osevního postupu na 3- 4 roky.

Získaný bioplyn musíme přepočítat na hodnotu čistého metanu, který je hlavním kvalitativním hodnotícím prvkem.

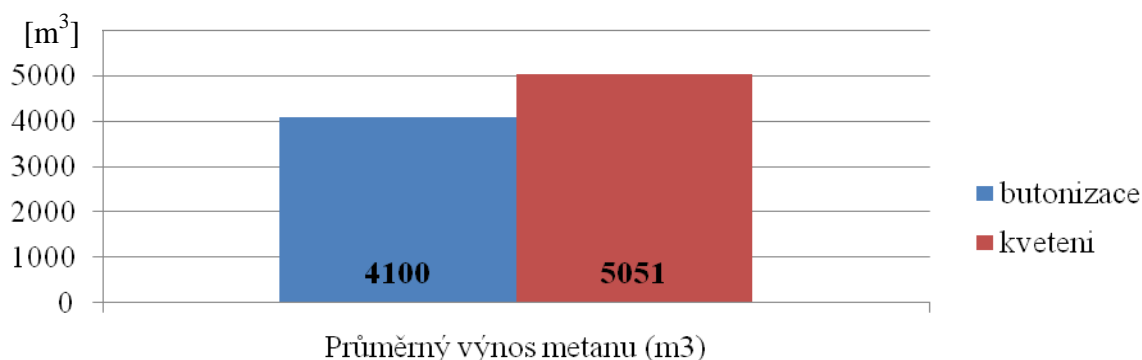
Tabulka 8.7: Přepočet výnosu bioplynu na čistý metan (uvažovaný obsah methanu v bioplynu = 60%)

Rok	seč	fáze	Bioplyn (m ³)	Metan (m ³)	Výnos sušiny (t)	Výnos metanu (m ³)
2009	1	butonizace	601	361	6,01	2166
		kvetení	423	254	9,44	2398
	2	butonizace	648	389	3,80	1476
		kvetení	489	293	5,29	1551
2010	1	butonizace	623	374	6,20	2318
		kvetení	602	361	8,90	3215
	2	butonizace	610	366	6,12	2240
		kvetení	613	368	7,99	2939

Vojtěška ve fázi butonizace se sklízí z důvodu kvalitnější píce pro stravování zvířat, pakliže budeme sklízet vojtěšku ve fázi kvetení, získáme tak více sušiny (více substrátu pro BPS), ze které následně jsme schopni zvýšit produkci bioplynu (čistého metanu).

V tabulce 8. 7. jsem přepočtl získaný bioplyn na hodnotu metanu. I když je ve fázi kvetení výtěžnost bioplynu (graf 8.4) menší, celkový nárůst získaného bioplynu je vyšší právě díky možnosti získání více hmoty pro substrát do BPS. Sečteme-li seče za oba roky, dostaneme výsledek Graf 8.8, ve kterém je hodnota získaného metanu vyšší o 951 m³. Celkový průměrný výnos metanu je ve fázi kvetení o 23,2% větší než ve fázi butonizace.

Graf 8.8: Celkový průměrný výnos metanu dle fáze



5.1. Ekonomické zhodnocení uplatnění vojtěšky pro výrobu bioplynu

5.1.1. Ekonomika výroby píce

Tabulka 9.1: Ekonomika plodiny vojtěška setá (K+Ř, konvenční technologie)

Ukazatel	Měrná jednotka	Výnos MJ/ha	Hodnota produkce Kč / MJ	Celkem Kč / ha
Vojtěška na seno (tři seče)	t	7,5 / 5 / 2,5	1245	18676
Variabilní náklady celkem	Kč/ha			13415
Fixní náklady	Kč/ha			4000
Náklady celkem	Kč/ha			17415
Náklady na MJ produktu	Kč/t			2322
Dotace celkem	Kč/ha			4686
Po odpočtu dotací - náklady celkem	Kč/ha			12729
- náklady celkem na MJ produkce	Kč/t			1697
- zisk (+) resp. ztráta (-)	Kč/ha			5947
- zisk (+) resp. ztráta (-)	Kč/t			793
Výnos produktu pro nulovou rentabilitu	t/ha	10,2		

Tabulka 9.2: Ekonomika plodiny kukuřice (K+Ř, konvenční technologie)

Ukazatel	Měrná jednotka	Výnos MJ/ha	Hodnota produkce Kč/MJ	Celkem Kč/ha
Kukuřice na siláž	t	32	835	26720
Variabilní náklady celkem	Kč/ha			20242
Fixní náklady	Kč/ha			4000
Náklady celkem	Kč/ha			24242
Náklady na MJ produktu	Kč/t			758
Dotace celkem	Kč/ha			4686
Po odpočtu dotací - náklady celkem	Kč/ha			19556
- náklady celkem na MJ produkce	Kč/t			611
- zisk (+) resp. ztráta (-)	Kč/ha			7164
- zisk (+) resp. ztráta (-)	Kč/t			24
Výnos produktu pro nulovou rentabilitu	t/ha	23,4		

Tabulky 9.1 a 9.2 představují ekonomiku výroby plodin vojtěšky a kukuřice. Je zde patrné, že kukuřice s vyšším výnosem a nižšími vstupy je rentabilnější plodinou. Musíme si však uvědomit, že vojtěška je plodina, která svými vlastnostmi mnohem více přispívá k půdní úrodnosti a její vliv je znát i pro následující plodiny.

5.1.2. Ekonomika výroby bioplynu

Tabulce 9.3 ukazuje kombinace možností využití konkrétních surovin pro BPS. Byly použity ekonomické (např. doba návratnosti investice) i zemědělské ukazatele (např. poměr C:N, produkce bioplynu), tak aby byl utvořen celistvý přehled při používání konkrétních plodin jako substrátu pro BPS. Začátek a konec tabulky tvoří protipóly (kukuřice a vojtěška), střed pak poměry mezi jednotlivými plodinami s možností využití kejdy dojnic jako možného doplňkového substrátu.

Porovnáme-li vojtěšku a kukuřici zjistíme, že v produkci bioplynu jsou rozdíly zanedbatelné, ale díky zvýšeným nákladům na vstupní substrát má vojtěška delší dobu rentability. Ve spojení s poměrem C:N, který je nejnižší a vytváří tak další náklady na zlepšení substrátu, můžeme vyloučit vojtěšku jako hlavní plodinu pro BPS.

Kukuřice s vyššími výnosy a lepším poměrem C:N je mnohem rentabilnějším a vhodnější plodinou pro BPS. Její pěstování ve větší míře brání špatné agrotechnické vlastnosti a fakt, že je pěstována také pro krmné účely. Proto se k substrátu kukuřice nejčastěji přidává kejda jako odpad z živočišné výroby.

Z tabulky 9.3 vyplývá, že zaměníme-li zcela či poměrnou část kejdy za vojtěšku, získáme tak větší množství bioplynu než je tomu je v kombinaci kukuřice kejda. Nejlepší poměr vstupních surovin je kombinace kukuřice 70% a vojtěška 30%.

Tato kombinace dosahuje podobné produkce bioplynu, čímž je zachována kontinuita tvorby bioplynu, doba návratnosti se zvýší o poměrnou část (3 roky), ale se stálostí příjmů z produkce bioplynu. Substráty obsahující vojtěšku mají vždy nižší poměr C:N, ale je zachována stálost produkce bioplynu se zvýšením digestátu určeného pro hnojení či další prodej.

Tabulka 9.3: Kombinace možností využití konkrétních surovin pro BPS

Ukazatel	Poměr vstupních surovin (100 %= 1000 t / 1 rok)							
	Kukuřice 100%	Kukuřice 70% Kejda 30%	Kukuřice 50% Vojtěška 20% Kejda 30%	Kukuřice 70% Vojtěška 30%	Kukuřice 50% Vojtěška 50%	Kukuřice 30% Vojtěška 70%	Vojtěška 70% Kejda 30%	Vojtěška 100%
Poměr C:N	25:1	26:1	22:1	20:1	18:1	16:1	14:1	13:1
Produkce bioplynu (m ³ /h)	21,6	16	16,2	21,3	21,02	20,78	15,2	20,42
Výměra na hnojení digestátem (ha)	81,9	57,6	74	97,8	108,4	119,1	94,77	135
Obsah dusíku v sušině digestátu (%)	2,6	2	2,7	2,99	3,27	3,53	3,17	3,09
Celkové roční příjmy z prodeje elektriny a tepla (*10 ⁶ Kč)	1,68	1,2	1,26	1,65	1,6	,62	1,19	1,6
Roční náklady na provoz BPS (*10 ⁶ Kč)	0,9	0,68	0,75	1,02	1,1	1,2	0,97	1,31

Tabulka 9.3a: Příklad produkce bioplynu (m³/h) vybraných plodin pro BPS

Ukazatel	Poměr vstupních surovin (100 %= 1000 t / 1 rok)							
	Slunečnice	Šťovík	Řepka	Jetel	Pšenice ozimá	Ječmen jarní	Travní hmota z golfového trávníku	Vojtěška 100%
Poměr C:N	15:1	16:1	29:1	16:1	14:1	11:1	15:1	13:1
Produkce bioplynu (m ³ /h)	13,22	4,81	25,23	22,23	55,28	27,64	10,21	20,42
Výměra na hnojení digestátem (ha)	90	81	90	117	180	180	90	135
Obsah dusíku v sušině digestátu (%)	0,99	0,89	0,99	1,29	1,98	1,98	2,54	3,09

Tabulka 9.3a porovnává schopnosti produkce bioplynu u ostatních plodin. Podíváme-li se na vypočtená data, je produkce bioplynu, vyjma krmného šťovíku a pšenice, srovnatelná. Právě pšenice vykázala vyšší hodnoty produkce bioplynu. V tabulce nejsou zohledněny náklady na vypěstování plodiny (hmotnost substrátu 100 %= 1000 t / 1 rok), doba pěstování plodiny, ani její ekologické přínosy či negativa vyplývající z pěstování dané plodiny.

Z tabulky 9.4 můžeme usoudit, že díky nižším vstupním nákladům vojtěšky, která je sklízena ve fázi kvetení, je ekonomika poměru s kukuřicí příznivější a svými parametry se vyrovná substrátu skládajícího se výhradně jen z kukuřice.

Tabulka 9.4: Kombinace možností využití konkrétních surovin pro BPS (vojtěška, zvýšení výnos plodiny o 30% - sklizen plodiny ve fázi kvetení)

	Poměr vstupních substrátů (100 %= 1000 t)	
	Kukuřice 50% Vojtěška 20% Kejda 30%	Kukuřice 70% Vojtěška 30%
Poměr C:N	22:1	20:1
Produkce bioplynu (m ³ /h)	16,2	21,3
Výměra na hnojení digestátem (ha)	74	97,8
Obsah dusíku v sušině digestátu (%)	2,7	2,99
Celkové roční příjmy z prodeje elektřiny a tepla (*10 ⁶ Kč)	1,23	1,65
Roční náklady na provoz BPS (*10 ⁶ Kč)	0,67	0,89

5.2. SWOT analýza uplatnění vojtěšky pro produkci bioplynu

SILNÉ STRÁNKY	SLABÉ STRÁNKY
- zlepšení půdní úrodnosti	- špatný poměr C:N
- fixace vzdušného dusíku	- možnost pěstování až po 5 letech po sobě
- stabilita výnosu	- obsahuje více dusičnanů
- více sečí v jednom roce	- vnímána jako krmná plodina
- produkce bioplynu srovnatelná s kukuřicí	- malá různorodost mezi odrůdami
- přizpůsobivost klimatickým podmínkám	- zakládání do krycí plodiny
- možnost založení a sklizen porostu v témže roce	- dynamika produkce bioplynu
- zisk kvalitního digestátu jako vedlejšího produktu z BPS	- obsah stravitelných živin
	- polehání porostu
	- stárnutí píce vojtěšky
PŘÍLEŽITOSTI	HROZBY
- zvýšení výnosu vojtěšky	- náklady na pěstování plodiny
- využití jako substrátu pro BPS	- snižující se osevní plochy
- odrůdové a šlechtitelské cíle	- intenzita zemědělské výroby
- (částečné) nahrazení odpadů ze živočišné výroby	- snížení dotací pro BPS
- kvalita píce	- náročnost technologických postupů
- změna technologie pěstování	- choroby a škůdci
- využití jako energetické plodiny	- ERÚ změny výkupní ceny pro elektřinu z bioplynu

6 Diskuze

6.1. Optimalizace pěstování vojtěšky

Statisticky se potvrdilo, že modifikace technologie pěstování vojtěšky s posunutím termínu sklizně vede ke zvýšení tvorby bioplynu (Graf 8.7). Sklidíme-li vojtěšku určenou pro BPS až ve fázi kvetení jsme prokazatelně schopni získat až o 22,3% více bioplynu než je tomu tak ve fázi butonizace.

Údaj mohl být i daleko vyšší, ale výtěžnost z r. 2010 byla skoro stejná v obou fázích, a tudíž jsou údaje zkresleny. Poměr mezi sušinou a vzniklým bioplynem byl zachován (Graf 8.5).

6.2. Možnosti využití jednotlivých sečí

Vojtěška poskytuje tentýž rok vždy stabilní výnos z minimálně dvou sečí. Budeme-li tedy používat vojtěšku jako vedlejší plodinu pro BPS spolu s kukuřicí, můžeme využít její vlastností a první seč sklízet ve fázi butonizace na píci určenou pro zvířata. Ve druhé seči se zaměříme na kvalitu pro produkci bioplynu a sklidíme vojtěšku až ve fázi kvetení. Získáme tak kvalitní produkt pro BPS při dodržení minimálního odstupu (8- 9 týdnů) mezi oběma sečemi. Graf 8.5 potvrzuje, že výnos bioplynu ve fázi kvetení v druhé seči je srovnatelný s výnosem z fáze butonizace v první seči.

6.3. Dynamika tvorby bioplynu

Podíváme-li se do tabulky 8.2 na relativní kumulativní dynamiku výnosu bioplynu ze substrátu, napadne nás otázka: „Bude mít pomalejší dynamika substrátu sklizeného ve fázi kvetení vliv na samotnou kvalitu anaerobní fermentace? Je možné, že špatný poměr C:N naruší při větším množství substrátu vojtěšky kvalitu složení společenství bakterií.

Z teoretického výpočtu (Tabulka 9.3) je koneční výnos stabilní, ale není znám celkový průběh a vliv vstupního substrátu. Je tedy potřeba se v dalších zkoumání zaměřit podrobněji na procesy, které se probíhají v jednotlivých fázích anaerobní fermentace.

6.4. Ekonomické zhodnocení

Na ekonomické zhodnocení je třeba nahlížet z různých úhlů např., jedná-li se o konvenční či ekologicky zaměřeného zemědělce, který může využívat BPS jako jeden z hlavních příjmů podniku či jen doplněk pro odstranění přebytečných odpadů a samozásobení vzniklou energií.

Pro oba typy je BPS určitě zajímavou investicí, jelikož MZe pro letošní rok zvýšilo investiční podporu ve formě dotace pro BPS na 61 614 Kč/ha. Výše dotace může zmírnit rozdíly mezi použitím vedlejší plodiny pro BPS a kukuřicí. Avšak domnívám se, že spíše nejdříve přispěje k ještě většímu zatížení osevního postupu plochami kukuřice, jako možností rychlejší návratnosti investic spojené s výstavbou BPS. Otázkou zůstává, zdali podpora pro BPS ze strany Mze zůstane stejná a jestli po návratnosti investice bude zemědělec nadále využívat velmi intenzivní výrobu či přejde k mírnější s využitím alternativních plodin.

Vojtěška je plodina, která má vlastnosti částečně nahradit kukuřici jako substrát pro BPS. Její ekonomika je náročnější na výrobu hlavního produktu (píce), než je tomu u kukuřice, ale připočteme-li její zlepšující vlastnosti (fixace vzdušného dusíku, využívání živin z hlubších vrstev atd.) můžeme říci, že její ekonomický přínos pro podnik je srovnatelný či vyšší než přináší kukuřice.

Pro ekologické hospodářství je vojtěška vhodnou plodinou, která zabraňuje zbytečným ztrátám živin a udržuje koloběh látek.

Použití vojtěšky místo kejdy ve směsi s kukuřicí sníží přímé vstupní náklady na hnojení, protože umožní odpady (hnůj, kejda) z živočišné výroby opět navracet zpět do půdy.

Substrát (poměr: kukuřice 70%, vojtěška 30%) je nejvíce rentabilní pro použití BPS. Přináší stabilní výnos v podobě bioplynu, velký výnos kvalitního digestátu, možnost použít kejdu k dalšímu zpracování a zároveň díky vojtěšce snížení nákladů na dusíkatá hnojiva.

6.5. Porovnání vojtěšky s dalšími plodinami pro výrobu bioplynu

Produkce bioplynu musí být ustálená po celý rok, a tak majitel BPS má mít zajištěno průběžné zásobování substrátem. U zemědělských podniků je hlavní plodinou kukuřice s poměrným množstvím ostatních surovin (nejčastěji kejda). Hlavním výhodou kukuřice vůči ostatním plodinám je velmi dobrá konzervace a možnosti využití různých hybridů pro danou oblast pěstování. Nevýhodou jsou stoupající náklady na její pěstování. Proto se z ekonomických důvodů hledají nové suroviny, které by byly schopny svými vlastnostmi částečně nahradit kukuřici v substrátu BPS.

Se stále snižováním stavu skotu budou plodiny, které sloužily primárně pro krmení zvířat, využívány pro potřeby BPS. Kromě již zmíněné kukuřice např. vojtěška, trvale travních porosty, šťovík.

Využití trvale travních porostů pro BPS zpracoval ve své práci Chroust (2012). Jeho zjištěná výtěžnost byla závislá na botanickém složení TTP a dávce hnojení. Hodnoty se pohybovaly v rozmezí od 536 do 641 l.kg⁻¹ v první seči. Nejméně hnojený TTP dosáhl nejmenší výtěžnosti. Porovnáme-li data s vojtěškou, zjistíme, že dynamika produkce bioplynu je z velké části podobná a spolu s výtěžností jsou si oba substráty podobné. Vojtěška však není závislá na dávkách hnojení dusíkem a může poskytovat stabilní výnos po dobu 3-4 let. Výtěžnost TTP se může měnit dle aktuální skladky porostu.

Hakl a kol. (2013) dále potvrzuje, že výnos sušiny u jetelovin roste při posunutí termínu sklizně (s posunem termínu seče klesá výtěžnost). Využití změny sklizně, která může ovlivnit zisk bioplynu, popisuje ve své práci i Petříková (porovnává kukuřici s krmným šťovíkem). Petříková (2012) doporučuje sklízet jej později než na krmení, tj. zpravidla do poloviny června a to také proto, že se začíná snižovat původně vysoký obsah N látek, což je pro výrobu bioplynu vhodné. Výhodou pozdějšího termínu sklizně je rovněž dosažení nejvyšší hmotnosti, a tudíž dostatečný výnos šťovíkové biomasy.

Lamb et al. (2007) docílil významného zvýšení výnosu sušiny při snížení počtu sečí vojtěšky. S delší periodou (sklizení ve fázi kvetení) mezi jednotlivými sečemi jsme tak schopni docílit vyššího zisku sušiny díky zvýšenému obsahu vlákniny.

Změnou termínu seče se zhoršuje kvalita lodyh vojtěšky (zvyšuje se koncentrace ligninu), ale průkazně stoupá absolutní výnos všech využitelných sacharidů (celulóza, hemicelulóza) na hektar (Lamb et al., 2007). Dusík, který v celé rostlině není konstantní, je také významně ovlivněn právě počtem sečí i fází růstu. Ve fázi kvetení je obsah dusíkatých látek stabilnější (Tupá, 2012).

Je prokazatelné, že u vojtěšky je změna termínu sklizně faktorem, který ovlivňuje použitelnost rostliny pro BPS. Dodržíme-li další agrotechnické opatření pro zkvalitnění růstu vojtěšky, produkce metanu bude schopna dosáhnout střední hodnoty 400 m³ metanu na tunu organické hmoty, kterou uvádí u testů s kukuřicí Amon et al. (2007).

6.6. Posouzení ekologických aspektů

Ekologické aspekty vojtěšky byly popsány ve SWOT analýze, ze které vyplívá pozitivní vliv zařazení vojtěšky do osevního postupu a její využití pro BPS.

Technologie pro BPS zažívají v dnešní době velký rozvoj ať z ekonomického tak i ekologického důvodu. BPS přináší možnost zpracování (likvidace) biologicky rozložitelných odpadů ze zemědělské výroby s podporou dotací za vzniku dalších zdrojů energie (bioplyn, teplo, elektřina). Weiland (2009) dále vyzdvihuje možné využití „odpadu“ z BPS jako hnojiva se snáze přístupným dusíkem.

V tabulce 9.3 zjistíme, že hodnota obsahu dusíku v sušině digestátu (%) je z vybraných plodin nejvyšší.

6.7. Návrh dalšího zkoumání

Diplomová práce se zabývá možností uplatnění vojtěšky jako plodiny vhodné pro BPS ve vztahu termínu sklizně k produkci bioplynu. Samotné téma je velmi obsáhlé a úzce zvolený cíl dává prostor pro další zkoumání, které pomohou více objasnit možnosti a technologie pro BPS.

Návrh témat pro další zkoumání:

- vliv délky stonku vojtěšky na produkci bioplynu
- možnosti zlepšení technologie pro zkvalitnění vstupního substrátu vojtěšky
- optimální poměrné zastoupení plodin v substrátu pro BPS ve spojení s vojtěškou
- vliv odrůdy vojtěšky na kvalitu substrátu pro BPS
- dynamika tvorby bioplynu v závislosti na vlastnostech jednotlivých substrátů

7 Závěr

Diplomová práce shrnula aktuální poznatky k tématu bioplynových stanic a posoudila možnosti vojtěšky, jako substrátu, pro produkci bioplynu. Na základě získaných výsledků můžeme říci:

- Termín sklizně vojtěšky má vliv na produkci bioplynu.
- Celkový průměrný výnos metanu je vyšší ve fázi kvetení.
- Dynamika výnosu bioplynu ze substrátu píce vojtěšky je závislá na fázi a staří píce. Anaerobní fermentace ve fázi kvetení má pomalejší dynamiku tvorby bioplynu.
- Substrát pro BPS skládající se 100% z vojtěšky není vhodný pro tvorbu bioplynu z důvodu velmi nízkého poměru C:N.

Vojtěška, která se primárně sklízí ve fázi butonizace s cílem získat kvalitní píci pro krmení zvířat, prokázala tak i svoji schopnost být vhodným doplňkem pro bioplynové stanice. Přičteme-li dále ekologické schopnosti vojtěšky, dodávat pomocí symbiózy s půdními bakteriemi v průměru 200 kg/ha dusíku do půdy, k vlastnostem pro produkci bioplynu, můžeme říci, že vojtěška je plodina, která má stále nezastupitelné místo v osevním postup.

8 Seznam literatury

Al Seadi, T. 2008. Bioplyn. University of Southern Denmark Esbjerg. Esbjerg. 125s. ISBN: 978-87-992962-0-0

Amon, T., Amon, B., Kryvoruchko, V., Machmüller, A., Hopfner-Sixt, K., Bodiroza, V., Hrbek, R., Friedel, J., Pasch, E., Wagentristl, H., Schreiner, M., Zollitsch, W. (2007): Methane production through anaerobic digestion of various energy crops grown in sustainable crop rotations. *Bioresource Technology*, 98, 3204 – 3212.

Anonym. CZ Biom - České sdružení pro biomasu. 2007. Desatero bioplynových stanic, aneb, Zásady efektivní výstavby a provozu bioplynových stanic v zemědělství. Ministerstvo zemědělství, odbor Řídící orgán EAFRD. Praha. 24s. ISBN: 978-80-7084-618-6

Anonym. 1996. Speciální příloha k pěstování, sklizni a využití jetele, vojtěšky a trav. Zemědělec . ZN-1. zemská a.s.. Praha. 47s.

Bačík, Ondřej: Bioplynové stanice: technologie celonárodního významu. *Biom.cz* [online]. 2008-01-14 [cit. 2012-04-03]. dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/bioplynovе-stanice-technologie-celonarodniho-vyznamu). ISSN: 1801-2655.

Brandejsová, E. 2009. Bioplynové stanice. GAS. Praha. 118s. ISBN: 978-80-7328-192-2

Dohányos, Michal: Zvyšování efektivity fermentace - nejnovější poznatky ve výzkumu a praxi. *Biom.cz* [online]. 2009-02-25 [cit. 2012-04-08]. Dostupné z WWW: <<http://biom.cz/cz/odborne-clanky/zvysovani-efektivity-fermentace-nejnovejsi-poznatky-ve-vyzkumu-a-praxi>>. ISSN: 1801-2655

El Bassam, N. 2010. Handbook of bioenergy crops. Earthscan. Londýn. 516s. ISBN: 978-1-84407-854-7

Energetický regulační úřad ČR. Cenové rozhodnutí Energetického regulačního úřadu č. 7/2011 ze dne 23. listopadu 2011. Praha [online]. dostupné z [www: <http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207_2011OZEKVETDZ.pdf>](http://www.eru.cz/user_data/files/cenova%20rozhodnuti/CR%20elektro/2011/ER%20CR%207_2011OZEKVETDZ.pdf)

Hakl, J., Fuksa, P., Šantrůček, J., Habart, J. (2013): Možnosti produkce bioplynu z píce jetelovin. Úroda, 61, (4), 82 - 85.

Hrabě, F. 2004. Trávy a jetelovino trávy v zemědělské praxi. Petr Baštan. Olomouc. 121s. ISBN: 80-903275-1-6.

Chroust, J. 2012. Využití trvalých travních porostů pro produkci bioplynu. [online]. Praha. ČZU Praze. 2012. [11. 4. 2013] dostupné z <<http://vskp.czu.cz/>>

Kajan, M. Lhotský, R. 2002. Možnosti výroby a využití bioplynu v České republice (2002 : Třeboň, Česko). CZ Biom. Praha. 98s. ISBN: 80-238-9402-1

Kára, J. 2007. Výroba a využití bioplynu v zemědělství. VÚT. Praha. 120s. ISBN: 978-80-86884-28-8

Kratochvílová, Z. a kol. 2009. Průvodce výrobou a využitím bioplynu. CZ Biom. Praha. 160s. ISBN: 978-80-903777-5-2, 3

Krčalová, Eva a kol. 2008. Příručka pro nakládání s digestátem a fugátem. Ministerstva zemědělství zpráva č. MZe/MZLU/IPPC/25092008 [online]. dostupné z [www: <http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf>](http://eagri.cz/public/web/file/32326/ETAPA_IV_Metodika_digestt_FV.pdf)

Lamb, J.F.S., Jung, H.G., Sheaffer, C.C., Deborah, A.S. (2007): Alfalfa leaf protein and stem cell wall polysaccharide yields under hay and biomass management systems. Crop Science, 47, 1407 – 1415.

Leština, Jan: Některé aspekty pěstování plodin pro výrobu bioplynu. *Biom.cz* [online]. 2011-04-27 [cit. 2012-04-05]. dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nektere-aspekty-pestovani-plodin-pro-vyrobu-bioplynu>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/nektere-aspekty-pestovani-plodin-pro-vyrobu-bioplynu). ISSN: 1801-2655.

Loučka, R. 1996. Silážování vojtěšky. Výzk. ústav živoč. výroby VÚŽV. Praha. 4s.

Marchaim, U. 1992. Biogas processes for sustainable development. Food and agriculture organization. Rome. 232 p. ISBN: 92-5-103126-6

Ministerstvo hospodářství SR. Strategie vyššího využití obnovitelných zdrojů energie v SR [online]. 2006 dostupné z [www: <http://www.hospodarstvo.sk/index/go.php?id=2255>](http://www.hospodarstvo.sk/index/go.php?id=2255)

Mužík, O. Slejška, A.: Možnosti využití anaerobní fermentace pro zpracování zbytkové biomasy. *Biom.cz* [online]. 2003-07-14 [cit. 2012-04-09]. dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznosti-vyuziti-anaerobni-fermentace-pro-zpracovani-zbytkove-biomasy). ISSN: 1801-2655.

Mužík, Oldřich, Kára, Jaroslav: Možnosti výroby a využití bioplynu v ČR. *Biom.cz* [online]. 2009-03-04 [cit. 2012-04-03]. dostupné z [www: <http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr>](http://biom.cz/cz/odborne-clanky/moznost-vyroby-a-vyuziti-bioplynu-v-cr). ISSN: 1801-2655.

Pastorek, Z. Kára, J. Jevič, P. Biomasa: Obnovitelný zdroj energie. Praha: FCC PUBLIC, 2004. 288s. ISBN: 80-86534-06-5

PETŘÍKOVÁ, Vlasta: Bioplyn – kukuřice – krmný šťovík. *Biom.cz* [online]. 2012-03-19 [cit. 2013-04-11]. Dostupné z [www: <http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/bioplyn-kukurice-krmny-stovik>](http://biom.cz/cz-bioplyn/odborne-clanky/bioplyn-kukurice-krmny-stovik). ISSN: 1801-2655.

Pospišil, R., Režo, L. 2011. Vplyv hnojenia digestátom po výrobe bioplynu na produkciu sušiny fytohmoty. In: Pospišil, R. (ed.). Pestovanie a využitie láskavca (*Amaranthus L.*) a iných plodín na energetické účely. Slovenská poľnohospodárska univerzita v Nitre. Nitra. s. 169-173. ISBN: 978-80-552-0561-8

Prochnow, A., Heiermann, M., Plöchl, M., Linke, B., Idler, C., Amon, T., Hobbs, P.J. (2009): Bioenergy from permanent grassland – A review: 1. Biogas. *Bioresource Technology*, 100, 4931 – 4944.

Ruppert, H., Thiel, S., Girschner, W., Machan, M., Roland, F., Ruwisch, V., Sauer, B., Schmuck, P. 2010. Wege zum Bioenergieort. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e. V. Gülzow-Prüzen. 120 s. ISBN: 978-3-9803927-3-0.

Schulz, H., Eder, B. 2004. Biogas-Praxis. Ökobuch Verlag GmbH, Staufen bei Freiburg/Breisgau. 168 p. ISBN: 80-86167-21-6

Sofer, S., Zaborsky, O. 1981. Biomass conversion processes for energy and fuels. Plenum Press. New York. 420 p. ISBN: 0-306-40663-2

Sprent, J. I., (1979): The biology on nitrogen-fixing Organisms. Mc Graw-Hill Book Company (UK) Limited, 196s. ISBN: 0-07-084087-3

Straka, F. 2010. Bioplyn. GAS, Praha. 305s. ISBN: 978-80-7328-235-6

Šantrůček, J. 2003. Encyklopedie pěstování víceletých píceňin na orné půdě. Ústav zemědělských a potravinářských informací. Praha. 60s. ISBN: 80-7271-132-6

Švec, J. 2010. Využití obnovitelných zdrojů energie v zemědělství - zemědělské bioplynové stanice. Vodní zdroje Ekomonitor. Chrudim. 69s. ISBN: 978-80-86832-49-4

Tupá, T. 2012. Obsah bílkovin v píceňi vojtěšky seté v závislosti na struktuře porostu. [online]. Praha. ČZU Praze. 2012. [11. 4. 2013] dostupné z <<http://vskp.czu.cz/>>

Ust'ak, S. 2006. Bioplynová fermentace biomasy a biologicky rozložitelných odpadů. CZ Biom - České sdružení pro biomasu. Praha. 180s. ISBN: 80-903777-0-7

Váňa, J. 2009. Biodpad, bioplyn, energie. České ekologické manažerské centrum. Praha. 18s. ISBN: 978-80-85990-14-0

Vondrášková, Š.: Význam poměru C:N v organické hmotě. Top Crop Manager, 29. [online]. 2003. dostupné z [www: <http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=12101&ids=113>](http://www.agronavigator.cz/default.asp?ch=1&typ=1&val=12101&ids=113). ISSN: 1488-4313

Vyhláška Ministerstva zemědělství č. 474/2000 Sb. o stanovení požadavků na hnojiva příloha č. 3

Weiland, P. 2003. Výroba a energetické využití bioplynu z energetických plodin a odpadů v Německu. Aplikovaná biochemie a biotechnologie. vol 109. s.263-274

Weiland, P., 2009: Biogas production: current state and perspectives, Applied Mikrobiology an Biotechnology, 85, (4), 849-860.

Young, N. D. at. al.. 2011. The Medicago genome provides insight into the evolution of rhizobial symbioses. Nature 480. 520 – 524. ISSN: 0028-0836

9 Seznam použitých zkratek a symbolů

ANOVA	- jednofaktorová analýza rozptylu
BPS	- bioplynová stanice
ČOV	- čistička odpadních vod
ČR	- Česká republika
ČSÚ	- Český statistický úřad
EP	- Evropský parlament
ERÚ	- Energetický regulační úřad
MDS	- maximální délka stonku
MH SR	- Ministerstvo Hospodářství Slovenské republiky
OS	- obsah sušiny
VÚZT	- Výzkumný ústav zemědělské techniky Praha
K+Ř	- kukuřičná a řepařská výrobní oblast

10 Seznam použitých tabulek a grafů

Schéma 1m: Jednorázový kádinkový test “batch test”

Tabulka 3.1: Skladba bioplynu a vlastnosti komponentů

Tabulka 3.2: Základní vlastnosti bioplynu a jednotlivých složek

Tabulka 3.3: Obsah živin zemědělských hnojiv

Tabulka 3.4: Vlastnosti kukuřičné siláže

Tabulka 3.5: Porovnání výnosu bioplynu z čerstvé zelené píce, retenční perioda 20 dní

Graf 4.1: Vývoj počtu BPS a spotřeby bioplynu k energetickým účelům

Graf 4.2: Vývoj výroby elektřiny z bioplynu

Tabulka 4.3: Výkupní ceny a zelené bonusy pro spalování bioplynu

Graf 6.1: Vývoj osevních ploch a hektarové výnosy vojtěšky

Tabulka 6.2: Základní vlastnosti materiálů vhodných pro anaerobní fermentaci

Tabulka 8.1: Průměrná hodnota obsahu sušiny (OS) a maximální délka stonku (MDS)

Tabulka 8.2: Relativní kumulativní dynamika výnosu bioplynu ze substrátu píce vojtěšky v průběhu 40 dnů (n = 5; 40. den = 100% produkce bioplynu ze substrátu)

Tabulka 8.3: Výtěžnost v jednotlivých letech a její relativní snížení v závislosti na postupující fázi růstu (fáze butonizace = 100 %)

Graf 8.4: Výtěžnost bioplynu (L/ kg sušiny) z píce vojtěšky z jednotlivých fází a sečí

Graf 8.5: Výnos sušiny a výnos bioplynu z jednotlivých fází a sečí vojtěšky

Tabulka: 8.6 Relativní nárůst výnosu mezi jednotlivými fázemi

Tabulka 8.7: Přepočet výnosu bioplynu na čistý metan

Graf 8.8: Celkový průměrný výnos metanu dle fáze

Tabulka 9.1: Ekonomika plodiny vojtěška setá (K+Ř, konvenční technologie)

Tabulka 9.2: Ekonomika plodiny kukuřice (K+Ř, konvenční technologie)

Tabulka 9.3: Kombinace možností využití konkrétních surovin pro BPS

Tabulka 9.3a: Příklad produkce bioplynu (m^3/h) vybraných plodin pro BPS

Tabulka 9.4: Kombinace možností využití konkrétních surovin pro BPS (vojtěška, zvýšení výnos plodiny o 30% - sklizen plodiny ve fázi kvetení)

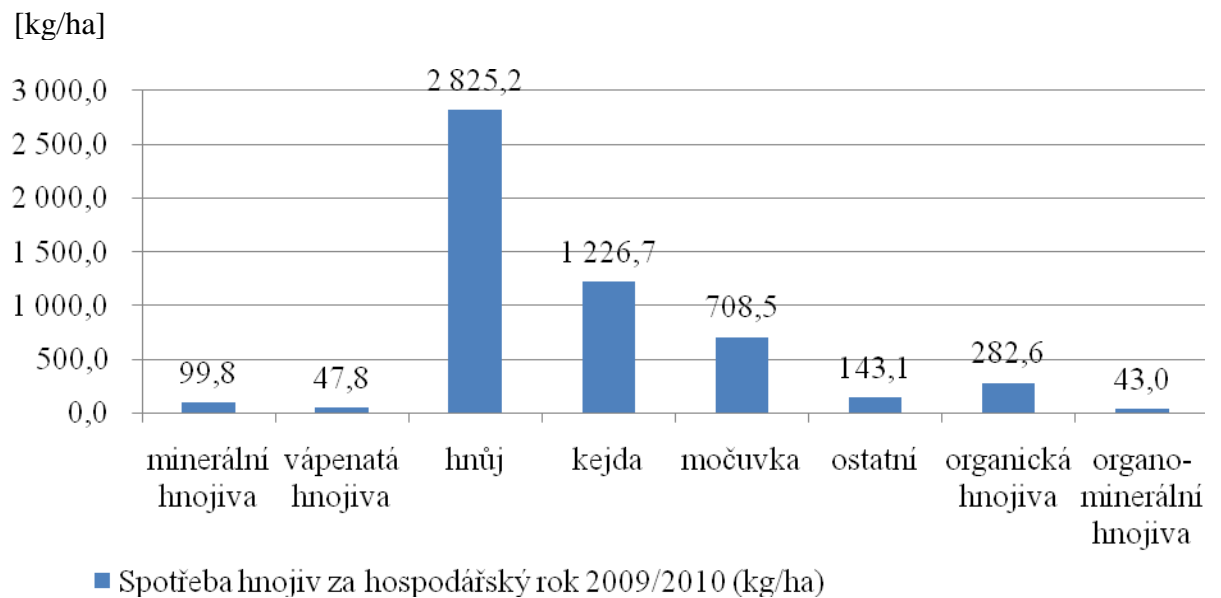
Schéma 3.6: Jednotlivé fáze anaerobní fermentace

Obrázek 4.4: Souhrn bioplynových technologií

Obrázek 4.5: Funkční schéma bioplynové stanice zemědělského typu

Samostatné přílohy

Graf: Spotřeba hnojiv za hospodářský rok (kg/ha)



Zdroj dat: ČSÚ

Obrázek: Vojtěška setá



Zdroj dat: ČZU [online]. dostupné z www:

<http://etext.czu.cz/php/skripta/kapitola.php?titul_key=4&idkapitola=224>